



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

**DOCUMENTO SOBRE INCLUSIONES FLUIDAS V:
EXPLORACIÓN PARA DEPÓSITOS PÓRFIDO CUPRÍFERO BASADA EN PETROGRAFÍA
DE INCLUSIONES FLUIDAS EN EL DISTRITO MINERO COLLAHUASI, CHILE.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

NICOLÁS IGNACIO ÁVALOS SOTOMAYOR

**PROFESOR GUÍA:
JORGE DANIEL MONCADA DE LA ROSA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
KATJA DECKART**

**SANTIAGO DE CHILE
2018**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL

TÍTULO DE: Geólogo

POR: Nicolás I. Ávalos S.

FECHA: 3- 9 - 2018

PROF. GUÍA: Jorge Daniel Moncada, PhD

DOCUMENTO SOBRE INCLUSIONES FLUIDAS V:

EXOPLORACIÓN PARA DEPÓSITOS PÓRFIDO CUPRÍFERO BASADA EN PETROGRAFÍA DE INCLUSIONES FLUIDAS EN EL DISTRITO MINERO COLLAHUASI, CHILE.

En depósitos pórfidos cupríferos se han desarrollado varias técnicas de exploración debido a la importancia que tienen estos como fuente de metales. Varios estudios se han enfocado en comprender los procesos de los fluidos hidrotermales y el rol sobre la mineralización. Es común explorar caracterizando la geología y las alteraciones para saber dónde y como ocurre la precipitación de los minerales. En este estudio presentamos una nueva técnica en exploración basa en las propiedades de los fluidos PVTX para encontrar pórfidos cupríferos.

El distrito Collahuasi ubicado en el Norte de Chile presenta 2 pórfidos actualmente explotados y conocidos: pórfido Rosario y Ujina. La investigación se realizó en torno al pórfido Rosario, el cual posee reservas estimadas en 2,18 BTon (0.91% Cu). En esta área se han identificado alteración potásica, propílica, cuarzo-sericita, argílica y argílica avanzada. Esta última asociada a vetas de alta sulfuración, posiblemente relacionada a una segunda intrusión no conocida, nombrando la zona “Rosario Oeste”.

El estudio petrográfico de Inclusiones Fluidas (I.F.) fue realizado en más de 300 muestras de sondaje de Rosario y Rosario Oeste. Se establecieron 7 clasificaciones de los tipos de I.F. que se presentan, estas son: inclusiones fluidas ricas en líquido, I.F. ricas en vapor, I.F. con una coexistencia de líquido y vapor, I.F. ricas en líquido con halita, I.F. ricas en líquido con halita coexistiendo con vapor, I.F. ricas en líquido con calcopirita e I.F. con sólidos. Las vetillas se clasificaron con apoyo del equipo de geología de Collahuasi, como vetillas tipo A, B, C, D, E, TES y solo cuarzo. Las alteraciones principales definidas para utilizar fueron: propílica y argílica. Con esta información se genera un modelo para exploración llamado índice de Probabilidad de Pórfido Cuprífero (IPPC).

Toda esta información se integró a un modelo 2D y 3D para estudiar la distribución espacial de estos parámetros. Se concluye que la ebullición está presente en todo el sistema en zonas superiores e inferiores. Se reconoce mayor salinidad y contenido de metales en el fluido, correlacionándose positivamente con la presencia de vetillas tipo B, D y con valores altos de IPPC, mostrándose estas en dirección a Rosario Oeste. Estas similitudes en partes someras y profundas, que se correlacionan con dos zonas de alta ley de Cu-Mo, sugieren la presencia de dos centros mineralizadores simultáneos o que exista una repetición de la mineralización por un proceso estructural de bajo ángulo.

Dedicado a mi padre y a mi madre, las personas que más amo y seguiré amando y, a mi hermano mayor y menor, las personas con las que más he aprendido y con las que seguiré aprendiendo.

AGRADECIMIENTOS

Esta memoria fue apoyada por FCFM-U Chile concedida a Moncada D., en el marco de los Proyectos Fondecip EQM140009, FONDECYT N° 11170210 y Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

La dificultad de confeccionar algo de manera personal no es solo tiempo, es más bien historia y ante este proceso histórico considero un profundo agradecimiento a los cimientos que permitieron que esto ocurriera, se desarrollase y estableciera. No hay cimiento más importante que la familia y todo lo entregado por ella, por lo que doy muchas gracias por la entrega de apoyo y enseñanzas necesarias y siempre accesibles que mi familia nuclear y global me ha entregado o puesto a disposición, sin su existir la persona presente que recibe el título de geólogo, no sería quien es. Y como estudiante, geólogo, doy las gracias a la institución y sus profesores que me formaron, en particular a mi profesor guía, ya que bajo su tutela y preocupación de velar por buenos resultados en mi como profesional me vi obligado a enfrentar al peor enemigo, uno mismo, y superarlo en cada etapa, para poder avanzar y aprender, proceso que fue posible realizar de manera amena con el apoyo brindado de la guía de él.

En toda construcción es necesario tener material para construir, material que en este caso considero que fue entregado generosamente y confiado a mi persona por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, a quien le estoy muy agradecido por lo brindado y la manera brindada, ya que sin ellos este estudio no podría haber sido posible.

Queda agradecer a las herramientas que son necesarias para desarrollar un trabajo, herramientas que en lo que concierne a esta memoria fueron entregadas, aprendidas y utilizadas para poder desarrollar el objetivo. Sin estas el proceso de construcción hubiera sido diferente, los resultados probablemente no serían los mismos o del mismo calibre y el proceso en si hubiera sido más complicado y difícil, por todo ello le doy un gran agradecimiento a todas las personas cercanas y lejanas con quienes al compartir me entregaban y me enseñaban la instrumentación precisa para realizar mi historia y que por lo tanto las vuelve parte de ella.

Gracias por la base, el material, las herramientas y la guía, que me permitieron vivir y aprender esta historia.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Motivación de usar las inclusiones fluidas para exploración de pórfidos cupríferos	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Alcances	2
1.4	Hipótesis de investigación	2
1.5	Ubicación, accesibilidad y fisiografía	3
2	MARCO TEÓRICO	5
2.1	Resumen informativo de la teórica en la que se basa la investigación	5
3	GEOLOGIA DISTRITAL Y LOCAL	7
3.1	Geología Distrital.....	7
3.1.1	Rocas estratificadas	7
3.1.2	Rocas intrusivas	10
3.1.3	Estructura de escala distrital	10
3.1.4	Geología económica del Distrito Collahuasi	11
3.2	Geología Local, pórfido Rosario.....	15
3.2.1	Litofacies principales	15
3.2.2	Intrusivos	16
3.2.3	Estructura y mineralización	17
4	METODOLOGÍA.....	19
4.1	Preparación de las muestras	19
4.2	Descripción de muestra de mano – rechazo.....	20
4.3	Petrografía de Inclusiones fluidas	20
4.4	Aplicación de los datos y análisis de resultados	21
5	TRABAJO DE DATOS Y OBSERVACIONES	23
5.1	Previo al uso de los datos	23
5.2	Análisis considerando un solo parámetro	25
5.2.1	Tipos de inclusiones fluidas versus profundidad	26
5.2.2	Tipos de vetillas versus profundidad	33
5.2.3	Índice Probabilidad Pórfido Cuprífero (IPPC) vs Profundidad	40
5.3	Análisis combinando parámetro específico u observaciones previas	42
5.3.1	Tipos de vetillas en función a los intervalos de IPPC	42

5.3.2	Esquemática representación espacio-temporal de tipos de vetillas e inclusiones fluidas.	43
5.3.3	Distribución espacial de las observaciones previas vistas en perfiles geológicos.	47
5.3.4	Distribución espacial de I.F. que evidencia ebullición, saturación de NaCl y saturación de Cu, en los perfiles AA' y BB'.	48
5.3.5	Distribución espacial de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero.	52
5.3.6	Inclusiones parte central vs parte periférica profunda al Suroeste del área de estudio	55
6	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	60
7	CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	64
8	BIBLIOGRAFÍA	66
9	ANEXO	70
9.1	Depósitos tipo pórfido	70
9.1.1	Configuración tectónica	70
9.1.2	Escala del depósito	71
9.1.3	Alteración y mineralización	73
9.1.4	Transporte de cobre y tipos de ligantes en sistema magmático-hidrotermal	75
9.1.5	Transporte del cobre en sistemas pórfido cuprífero: líquido versus vapor	81
9.1.6	Clasificación de vetas	83
9.1.7	Exploración de pórfidos cupríferos	86
9.2	Estudio de inclusiones fluidas	87
9.2.1	Clasificación de las inclusiones fluidas	88
9.2.2	Petrografía de inclusiones fluidas	90
9.3	Presión, volumen y temperatura del sistema H ₂ O-NaCl	91
9.4	Las inclusiones fluidas y los yacimiento tipo pórfido cuprífero	98
9.4.1	Distribución temporal-espacial de las inclusiones fluidas con respecto al pórfido cuprífero	99
9.4.2	Relación entre inclusiones fluidas y las alteraciones de un pórfido cuprífero	103
9.4.3	Relación entre inclusiones fluidas y tipos de vetillas presentes en un pórfido cuprífero	104
9.4.4	Trabajos previos en el distrito minero Collahuasi utilizando inclusiones fluidas	105
9.4.5	Método de exploración de pórfidos cupríferos cuantificando inclusiones fluidas	106

ÍDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa esquemático que muestra la distribución espacial de los pórfidos y venas epitermales en el distrito de Collahuasi. Tomado y modificado de Dick et al. (1994).	1
Figura 1.2 Ilustración de la intrusión escondida para la zona profunda del pórfido Rosario. La figura izquierda indica un movimiento normal de la Falla Rosario que estaría coincidiendo con el emplazamiento de una segunda intrusión magmática. La figura del lado derecho, mostraría un rejuvenecimiento de esta intrusión magmática generándose por ambos procesos, generándose un segundo sistema pórfido cuprífero entre el pórfido Rosario y Cerro La Grande. (Tomado y modificado de Masterman et al., 2005).....	3
Figura 1.3 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi. Se pueden ver los distintos depósitos pórfido cuprífero del sector. Tomado y modificado de Sillitoe (2010).....	4
Figura 3.1 Descripción y ubicación de las unidades informales pertenecientes a la formación Collahuasi definidas por Munchmeyer et al. (1984) y Vergara y Thomas, (1984). Tomado de Masterman (2003).....	8
Figura 3.2 Mapa distrital donde se resaltan las orientaciones de las principales fallas presentes en el área del distrito estudiado. Se pueden notar tres grandes dominio en las orientaciones: NE-SW, NW-SE y N-S, y las orientaciones NNW-SSE de las fallas mayores Oeste (Domeyko) y Loa. Tomado de Ireland (2010).	11
Figura 3.3 Sección cruzada a través de una sección del depósito Rosario. Se muestra la relación de leyes de cobre y la disposición de las estructuras presente. Tomado de Masterman (2003), basado en Munchmeyer et al. (1984).	14
Figura 3.4 Sección cruzada en dirección noreste-suroeste del depósito Rosario. Ilustrativo para ver distribución litológica, estructural y leyes de cobres más cerca del deposito, mostrandose en el perfil los sondajes realizados del sector. Tomado y modificado de Masterman (2003).....	17
Figura 4.1 Maquinas del Laboratorios de Corte de rocas del Departamento de Geología, FCFM, Universidad de Chile; utilizada en la fabricación de las quick plates: (izquierda) Sierra de corte diamantada, usada para realizar las calugas. (Derecha) Desbastadora consistente en dos discos rotatorios, cada uno para diferente nivel y grado de desbaste.....	20
Figura 5.1 Tipos de inclusiones fluidas vistas y definidas en el presente trabajo. (a) familia de inclusiones ricas en líquido. (b) familia de inclusiones ricas en líquido con precipitación de halita. (c) familia de inclusiones ricas en líquido, con saturación de sales y metales, precipitando halita y calcopirita. (d) inclusiones ricas en líquido con precipitación de solidos opacos difíciles de distinguirse como calcopirita, indicando saturación de metales o metales en el fluido. (e) coexistencia de inclusiones ricas en vapor e inclusiones con presencia de halita. (f) coexistencia de inclusiones ricas en vapor con inclusiones ricas en líquido, característico de ebullición. (g) familia de inclusiones fluidas ricas en vapor o de baja densidad, característica ebullición. V: vapor, L: liquido, ccp: calcopirita, S: solido, H: halita. Se clasifican como: (a) Tipo 0 (b) tipo 1 (c) tipo 2 (d) tipo 3 (e) tipo 4 (f) tipo 5 (g) tipo 6.	24
Figura 5.2 Grafica general de la distribución de las muestras tipo histograma en función de la profundidad. Alrededor de 170 muestras se distribuyen entre los 4,400 y 3,900 m s.n.m. En segmento rojo se marca el nivel de separación entre zona profunda y zona central y somera del área de estudio.	25
Figura 5.3 Relación de las inclusiones ricas en líquido (tipo 0) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se presentan en gran cantidad de las muestras estudiadas y siguen un patrón similar a la distribución vista en la figura 5.2. Se destaca presencia continua a lo largo de toda la vertical, hallándose incluso en las zonas profundas destacado con rojo. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.	27
Figura 5.4 Relación de las inclusiones con precipitación de halita, de alta salinidad (tipo 1), con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destacan en óvalos rojos dos sectores donde abundan estas inclusiones considerando el patrón de distribución y la cantidad de muestra en cada sector. Esto indica zona alta y zona profunda con saturación de salinidad. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.	28
Figura 5.5 Relación de las inclusiones con calcopirita precipitada del fluido atrapado (tipo 2) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destaca un intervalo sobre los 4.300 m s.n.m. sin presencia, concentrándose principalmente entre los 4,300 y 3800, como la toma de muestra. Presencia en sector profundo y no somero. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.	29
Figura 5.6 Relación de las inclusiones ricas en líquido con atrapamiento o precipitación de metales (tipo 3) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Distribución casi continúa y de abundancia proporcional a la distribución de la toma de muestras, en toda la vertical. Intervalo entre los 3700 y 3550 sin presencia de esta inclusión. Saturación de metales en zona bien profunda (3,500 m s.n.m.). Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.	30
Figura 5.7 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones saturadas en halita y ricas en vapor (tipo 4) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destaca la presencia de estas inclusiones en profundidad a pesar de que la	

<i>cantidad de muestras en esos niveles es pequeña, indicando separación de fase y formación de salmueras con concentraciones de elementos en profundidad, sin embargo existe un intervalo donde aquello no ocurre: 3,700 – 3,550 m s.n.m. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5.8 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 5) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Muy abundante en el área estudiada y distribuye similar a la toma de muestra, presentándose en casi todas, hallándose esta coexistencia de fases distribuida en toda la vertical, incluso en los intervalos 3,700 – 3,550 m s.n.m. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5.9 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones ricas en vapor (tipo 6) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). No presentes en la parte somera sobre los 4,450 ni bajo los 3,700 m s.n.m. Esto resalta la coexistencia de fases ilustrada en profundidad de las figuras 5.6, 5.7 y 5.8. Esto indica que la zona de transición entre profundo y centro-somero, 3,700-3,800 m s.n.m. del sistema, se halla caracterizada por abundante presencia de inclusiones ricas en vapor.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5.10 Relación de las vetillas tipo A con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasa abundancia de vetilla temprana tipo A el sector profundo ilustrado por la barras color rojo ubicada a 3,850 m s.n.m. Zona de no presencia bajo este nivel y sobre él entre los 3,850 y 4,050 m s.n.m.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.11 Relación de las vetillas tipo B con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Alta abundancia en el sector profundo ilustrado por las barras color rojo. Zona de no presencia en esta continuidad entre los 3,950 y 3,800 m s.n.m.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5.12 Relación de las vetillas tipo C con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasa abundancia de vetilla intermedia tipo C en la muestras tomadas, y más aún en el sector profundo ilustrado por la barras color rojo ubicada a 3,800 m s.n.m.. Zona de no presencia bajo este nivel y sobre él entre los 3,800 y 4,100 m s.n.m.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5.13 Relación de las vetillas tipo D con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Relativamente abundante en el área de estudio, distribuyendo levemente similar a la toma de muestra. Se destaca su concentración en la parte somera-central del sector, siendo escasa a nivel profundo, bajo los 3,800 m s.n.m. Hallándose 2 a una profundidad de 3,700. Existe un intervalo entre las muestras profunda y las otras sin vetillas tipo D. Esto es entre los 3,850 y 3,700.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5.14 Relación de las vetillas tipo E con respecto a la profundidad (m s.n.m.). No es muy escasa ni muy abundante comparada con los otros tipos de vetillas. Se concentra entre las profundidades de 4,450 y 4,050 m s.n.m. Existen discretamente en profundidad 2 muestras, a los 3,800 y a los 3,700 m s.n.m.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5.15 Relación de las vetillas tipo TES con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasas y muy concentradas, hallándose solo 6 muestras con este tipo de vetillas entre los 4,350 y 4,200 m s.n.m. Indicando la no presencia a nivel central o profundo.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 5.16 Relación de muestras con cruzamiento, sobreimposición, de vetillas en función a la profundidad (m s.n.m.). Abundancia considerable de muestras con más de un tipo de vetilla, sin embargo esto es sobre los 3,850 m s.n.m. Bajo este nivel, ya en el sector profundo, no abundan, indicando el predominio de muestras con un solo tipo de vetilla.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5.17 Relación de las muestras que presentan solo alteración, por ejemplo: vetilla de cuarzo hidrotermal con leve precipitación de pirita o calcopirita, o rocas con vetillas representantes de una alteración, por ejemplo: propilítica, distribuidas en función a la profundidad (m s.n.m.). Puede agruparse en 2 intervalos principales: 4,500-4,150 m s.n.m., nivel superficial, 4,000-4850 m s.n.m., nivel central. Sin muestras a nivel profundo.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.18 Dispersión de todos los datos sobre los valores de IPPC y su relación con la profundidad. No hay valores mayores a 14.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 5.19 Dada la dificultad de encontrar patrones en la dispersión se busca algún patrón entre cantidad de muestras la frecuencia de valores de IPPC. Obteniéndose 3 intervalos de valores IPPC que entre ellos engloban casi la totalidad de las muestras.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.20 Representación gráfica del tipo y cantidad de vetillas presente en cada intervalos de valores IPPC. Se puede apreciar como solo las vetillas tipo B y tipo D se presentan en los valores más altos de índice de probabilidad de pórfido cuprífero, a su vez, predominan en los valores entre 8 y 12.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.21 Distribución vertical de la presencia de inclusiones que indican separación de fase y coexistencia. Gráfica izquierda coexiste salmuera y vapor, gráfica derecha, fase líquido con vapor. Segmento amarillo indica separación de nivel profundo y nivel somero.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 5.22 Presencia de inclusiones fluidas que evidencian separación de fases. En la gráfica izquierda se tiene una fases que está saturada en calcopirita representada por la presencia de I.F. tipo 3, junto con presencia de ebullición. En la gráfica derecha se tiene presencia de dos ebulliciones distintas, una origina salmuera, representado por I.F.</i>	

tipo 4 y otra simplemente fase líquida coexistiendo con fase vapor (tipo 5). Segmento amarillo indica separación de nivel profundo y nivel somero.	46
Figura 5.23 Distribución espacial vista en planta de los sondajes, representados por puntos negros, muestreados en la presente investigación. Se indican además la ubicación de los perfiles AA' y BB' con los que se trabajaron. Flecha indica la dirección donde se prolonga la litología del pórfido Rosario.	48
Figura 5.24 Distribución gráfica en 2D en el perfil AA' de las inclusiones que evidencian ebullición (tipo 5), inclusiones que presentan calcopirita (tipo 2 y 3) e inclusiones con halita, calcopirita coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor (tipo 1 y tipo 4).	50
Figura 5.25 Distribución gráfica en 2D en el perfil BB' de las inclusiones que evidencian ebullición (tipo 5), inclusiones que presentan calcopirita (tipo 2 y 3) e inclusiones con halita, calcopirita coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor (tipo 1 y tipo 4).	51
Figura 5.26 Distribución gráfica en el perfiles AA' de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC) en el área pórfido Rosario. Destacan valores bajos en los sectores más lejanos a la litología del pórfido Rosario, sin embargo en estos sectores lejanos resaltan valores altos que podrían estar relacionados a la presencia de estructuras en su cercanía.	53
Figura 5.27 Distribución gráfica en el perfiles BB' de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC) en el área pórfido Rosario. Flecha indica dirección de la distribución de los valores altos.	54
Figura 5.28 Distribución gráfica de la toma de muestra presentadas en la tabla 5.3. Cada muestra con el tipo de inclusión fluida más predominante, ilustradas separadas por serie. Serie 1, corresponde a la parte somera-central del sistema pórfido rosario, la serie 2 representa la parte profunda dirección suroeste. Línea roja segmentada horizonte actual a una altura de 4.500 m s.n.m.	59
Figura 6.1 Análisis de ubicación porfídica mediante petrografía de inclusiones fluidas. Cada escenario es apoyado con las observaciones y los análisis de las 10 muestras expuestas en la tabla 12. El escenario 1 y 2 representa una discusión sin considerar el tiempo como variable fija para el desarrollo y la formación del yacimiento Rosario, el escenario 3 considera el tiempo fijo para desarrollar el sistema porfídico estudiado. El escenario 3 no genera una correcta asimilación de los datos obtenidos de la petrografía de inclusiones fluidas de la serie 2 de la tabla 5.3, descartando la prolongación del sistema. El escenario 1 y 2 correlacionan las series 1 y 2 de buena manera, tratando ambos sectores como sistema porfídicos aislados, indicando que la zona profunda es a la vez más joven.	63
Figura 9.1 Relación espacial entre stock porfídico de cobre, plutón subyacente, rocas volcánicas suprayacente y el lithocap. Tomado de Sillitoe (2010).	71
Figura 9.2 Patrón de zonación generalizado de la alteración en un sistema pórfido cuprífero que no ha sufrido telescopio- sobreimposición. Tomado de Sillitoe (2010).	72
Figura 9.3 Modelo esquemático del patrón de zonación de las alteraciones presentes en un sistema pórfido cuprífero que ha sufrido imposiciones de eventos –telescopio-. Tomado de Sillitoe (2010).	72
Figura 9.4 Representación esquemática de la secuencia temporal de la generación de alteración y mineralización en la formación de un sistema pórfido cuprífero relacionado con la paleoprofundidad. El incremento en la acidez es una consecuencia del decaimiento de la temperatura del sistema. Tomado de Sillitoe (2010).	73
Figura 9.5 Proyección T-X del sistema NaCl-H ₂ O, con las curvas de las presiones de 500 a 1,750 bares. Punto A, B, C representan la trayectoria de diferenciación con eventos de ebullición de un fluido inicialmente con porcentaje de salinidad total del 6% en peso de NaCl, estas ebulliciones suceden a los 600 bares en el punto A, 1,000 bares en el punto B. Tomada y modificada de Burnham (1997).	76
Figura 9.6 Concentraciones de cobre medidas en inclusiones fundidas sintéticas en olivino y clinopiroxeno en función de los valores de Rb, como representante del grado de diferenciación del magma y según el proceso que sufre el fundido. Tomada de Zajacz y Halter (2009).	77
Figura 9.7 Variación en la salinidad del fluido separado producto la cristalización de un magma de composición intermedia, a presiones 0.5 y 2kbar. Tomada de Bodnar (1995).	78
Figura 9.8 Gráfica del valor de coeficiente de partición del cobre (línea con círculo relleno) entre la fase líquida hiper salina (salmuera, "D ^b ") y la fase gaseosa ("D ^v "), separadas del fundido, en función de la actividad del azufre. A mayor actividad del azufre el cobre aumenta su preferencia hacia la fase gaseosa. Tomada de Frank, et al. (2011).	80
Figura 9.9 Gráfica del valor de coeficiente de partición del cobre entre la fase líquida hiper salina (salmuera, D ^b) y el fundido, línea con cuadrado relleno, y la fase gaseosa (D ^v) y el fundido, línea con círculo, ambos casos en función de la actividad del azufre. A mayor actividad del azufre el cobre aumenta su preferencia hacia el fundido en vez de la salmuera mientras que de igual manera aumenta su preferencia hacia la fase gaseosa en vez del fundido. Tomada de Frank et al. (2011).	80

Figura 9.10 Solubilidad aparente del cobre en fase líquida o en fase vapor graficado mediante su coeficiente de partición según el sistema considerado y bajo diferentes condiciones de temperatura. Rectángulos rojos son valores representativos de la partición hacia la fase vapor y rombos azules hacia líquida (salmuera). Tomada de Zajacz et al. (2017).	82
Figura 9.11 Esquemática secuencial temporal de entrecruzamiento de vetilla en un depósito pórfido Cu-Mo en (a) y Cu-Au en (b). Para el caso a se tiene un inicio de vetillas delgadas de biotita, cortadas luego por vetillas tipo A, que son cortadas por tipo B y tardíamente se presentarían las tipo D. Tipo de vetillas definidas por Gustafson y Hunt (1975). La zona entre vetillas suele presentar alteración potásica, predominando feldespato K. Tomado de Sillitoe (2010).	85
Figura 9.12 Muestra de un rechazo del presente estudio con presencia de vetillas entrecruzadas tipo B y D. La vetilla tipo B está rellena de cuarzo con bordes de molibdenita y la vetilla tipo D rellena de pirita y calcopirita. Para ver el rechazo sin modificación ir a Anexo H. Muestra: VD-09-03-10.	86
Figura 9.13 Representación visual de una petrografía de inclusiones fluidas basada en la clasificación temporal. En la imagen se muestra el desarrollo ideal de inclusiones primarias (P), y el desarrollo de inclusiones fluidas secundarias (S). Basado y modificado en Goldstein y Reynolds (1994).	88
Figura 9.14 Figura esquemática de la clasificación de inclusiones fluidas propuesta por Nash (1976). En la figura A encontramos inclusión fluida tipo 1, de moderada salinidad, rica en líquido con presencia de pequeñas burbujas de gas, la inclusión fluida tipo 2, de baja densidad, rica en vapor, la inclusión fluida tipo 3, de alta salinidad que presenta cubos de halita bien formados y la inclusión fluida tipo 4 que presenta una pequeña burbuja de gas inmersa en líquido de dióxido de carbono rodeado por líquido de baja salinidad. En la figura B se ilustra la asociación de inclusiones fluidas a temperatura ambiente que mediante petrografía representaría ebullición en un sistema pórfido cuprífero (coexistencia de inclusiones tipo 2 y 3). L: líquido; V: vapor; H: halita; dws: dawsonita; sil: silvita; hmt: hematita; anh: anhidrita; Lco2: dióxido de carbono líquido. Basado y modificado de Nash (1976).	90
Figura 9.15 Gráfica P-T del sistema NaCl-H ₂ O representando el espacio PTX del sistema donde se genera la coexistencia de fases líquidas altamente salinas y fases gaseosas de baja densidad. En la parte superior se ilustra ennegrecido el cómo esta zona de no mezcla y coexistencia se modifica según el porcentaje de salinidad (20wt% de NaCl). Los puntos importantes son: E: punto eutéctico (L + V + I + HH); P: punto peritectico (L + V + HH + H); TP H ₂ O: Punto triple del agua; CP H ₂ O: Punto crítico del agua; TP NaCl: punto triple de NaCl; CP NaCl: punto crítico de NaCl, junto con la curva de los puntos críticos del sistema H ₂ O-NaCl que une los puntos críticos de cada elemento. Tomada de Bodnar (2003).	92
Figura 9.16 Diagrama P-T del sistema H ₂ O-NaCl. La parte superior el fluido del sistema contiene 10 % en peso total de NaCl y en la parte inferior un 50%. Se ilustra gráficamente la dependencia con respecto a la salinidad de la zona de no mezcla (área amarilla); a bajas salinidades (10 wt% NaCl, diagrama superior) la separación de fase ocurre a temperaturas magmáticas pero a presiones más corticales-superficiales, mientras que a mayor salinidad se requiere mayor presión y temperatura (50 wt% NaCl, diagrama inferior). Las condiciones P-T a la cual se somete el fluido indicara en qué lugar del diagrama se encuentre y el consecuente escenario esperable.	94
Figura 9.17 En la parte izquierda se muestran tres comportamientos de homogenización de inclusiones fluidas con 40% de NaCl (homogenización caso A, B y C) y que reflejan condiciones de presión y temperatura en las cuales fueron atrapadas. Estas condiciones con sus isocoras definen zonas PT visualizadas en el gráfico de la derecha. Tomado y modificado de Bodnar (2003).	95
Figura 9.18 Esquema ilustrativo de cómo se verían petrográficamente coexistiendo inclusiones ricas en vapor y ricas en halita producto a la separación de fases que el fluido haya sufrido. Tomado de Bodnar (2003).	96
Figura 9.19 Ilustraciones esquemáticas de la apariencia observable a temperatura ambiente de inclusiones fluidas pertenecientes a sistemas tipo pórfido y como la proporción de fases u coexistencia de inclusiones indicarían condiciones de formación, atrapamiento, de estas, y por consiguiente, del fluido. Ejemplo de fluido con alto contenido de cobre que permite la precipitación y formación de calcopirita en la inclusión, con un contenido total del 10% wt de NaCl. Tomada y modificada de Bodnar (1995).	97
Figura 9.20 Esquema representativo de cómo la apariencia de una inclusión fluida a temperatura ambiente indica condiciones de atrapamiento y formación P-T e incluso de composición del fluido. Esquema realizado con fluido sin contenido alto de cobre que no facilita la precipitación o formación de calcopirita en la inclusión, en particular, considera un fundido granodiorítico con 10% wt NaCl total, caracterizando la zona de no mezcla. Tomada y modificada de Singer et al. (2002).	98
Figura 9.21 Distribución del tipo de fluido en tiempo y espacio al atravesar a lo largo desde el centro a la periferia y de superficie a zonas profundas de un sistema pórfido cuprífero. Lo encerrado en el rectángulo es la correlación de	

<i>las distribuciones relativas esperadas de las inclusiones según su relación temporal temporalmente, es decir, como en la zona central profunda de un sistema pórfido cuprífero las inclusiones se modifican según la edad del sistema. Tomado y modificado de Bodnar (1982).</i>	100
<i>Figura 9.22 Representación esquemática de la ubicación relativa de las inclusiones fluidas esperables según la edad del sistema. En la formación de un sistema pórfido cuprífero joven no se espera variación del centro a su periferia con respecto a las inclusiones fluidas, principalmente existe una variación en el tipo de las inclusiones en la dirección vertical, de la parte más somera a la más profunda por la zona central del sistema. Figura de modelo esquemático de sistema porfidico tomada y modificada de Sillitoe (2010).</i>	102
<i>Figura 9.23 Representación esquemática de la ubicación relativa de las inclusiones fluidas esperables según la edad del sistema. En la formación de un sistema pórfido cuprífero de mediana edad se espera una leve variación del centro a su periferia en las inclusiones fluidas a nivel intermedio con respecto a la vertical. Existe una variación de las inclusiones en la dirección vertical de la parte más somera a la más profunda por la zona central del sistema, y estas a su vez son diferentes a las de un sistema joven. Figura de modelo esquemático de sistema porfidico tomada y modificada de Sillitoe (2010).</i>	103
<i>Figura 9.24 Grafica en función de los valores de temperatura de homogenización y salinidad tomados en inclusiones fluidas ricas en líquido, ricas en vapor y saturadas en halita asociadas a una zona de alteración (potásica, fílica y argílica). Tomada de Bodnar et al. (2014).</i>	104
<i>Figura 9.25 Metodo de cuantificar características y distribución de inclusiones fluidas en depositos tipo pórfido cuprífero para establecer un indice para uso en la exploración. El valor maximo asignado a cada característica es proporcional a su relevancia. A mayores valores de "Indice de probabilidad de pórfido cuprífero" (IPPC) mayor probabilidad de encontrar mineralización cuprífera economicamente importante. Tomado y modificado de Bodnar (1982).</i>	107
<i>Ilustración C.1 Unión de los tipos de inclusiones fluidas distribuidas en función de la profundidad.</i>	118
<i>Ilustración D.1 Unión de los tipos de vetillas distribuidos en función de la profundidad.</i>	119
<i>Ilustración F.1 Perspectiva en 3D de muestras en las que se identificó la coexistencia de inclusiones ricas en líquido con ricas en vapor, representando así eventos de separación de fases en el área estudiada. Se puede notar una abundancia de ebullición cerca de los perfiles en los sondajes más verticales. La zona más cercana al eje vertical son muestras elevadas, las cercanas a los perfiles son muestras más profundas.</i>	121
<i>Ilustración F.2 Perspectiva en 3D de las muestras que presentan vetillas tipo B, tipo D y entrecruzamiento de ellas, B-D. Nótese como la parte más cercana al eje Z, que son muestras más superficiales, carecen de vetillas tipo B, mientras que en los sondajes cercanos a los perfiles abundan en muestras que son de mayor profundidad. En morado: vetillas tipo B, en rojo las tipo D y en café muestras con cruzamiento de ambas.</i>	122
<i>Ilustración F.3 Perspectiva en 3D de muestras con saturación de halita, indicando elevadas concentraciones de salinidad en el fluido. Se puede notar una preferente abundancia cercana a los perfiles. Esta zona está constituida, a su vez, por muestras profundas.</i>	123
<i>Ilustración F.4 Perspectiva en 3D de muestras con precipitación de calcopirita. A diferencia de todas las anteriores, se puede observar una mayor preferencia o una distribución más discreta de las muestras donde el fluido se encontraba saturado en calcopirita, Cu.</i>	124
<i>Ilustración F.5 Perspectiva 3D de la distribución de los valores Índice de Probabilidad de Pórfido Cuprífero (IPPC). Se puede notar como en las muestras más superficiales, cercanas al eje Z, presentan valores bajos vistos por los colores más cálidos, y que entorno a las cercanías de los perfiles en las zonas de pórfido Rosario, valores más altos.</i>	125
<i>Ilustración G.1 Perfil representativo efectuado en Leapfrog tras la construcción de un modelo geológico basado en las principales litologías. Sección Norte-Sur, se puede apreciar como en la zona norte domina el pórfido rosario en lugares más altos, en conjunto con pórfido Collahuasi. AND: andesita; TOB: toba; PCO: pórfido Collahuasi; POR: pórfido Rosario; PRO: pórfido Rosario Oeste; DAC: dacita; USED: unidad sedimentaria; Unknown: Otra litología.</i> .	126
<i>Ilustración G.2 Perfil representativo efectuado en Leapfrog tras la construcción de un modelo geológico basado en las principales litologías. Sección Suroeste-Noreste. En el extremo derecho de la imagen puede notarse una profundización del pórfido Rosario en dirección de Noreste hacia Suroeste. AND: andesita; TOB: toba; PCO: pórfido Collahuasi; POR: pórfido Rosario; PRO: Pórfido Rosario Oeste; DAC: dacita; USED: unidad sedimentaria; Unknown: Otra litología.</i>	127

Ilustración G.3 Perfil de distribución de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero en una sección Suroeste-Noreste, a partir de un modelo numérico generado por Leapfrog. Se puede destacar como se aumentan el valor de IPPC desde la parte Noreste alta hacia el Suroeste en profundidad. 128

ÍDICE DE TABLAS

<i>Tabla 3.1 Pre-, sin- y post-mineralización intrusivos de Quebrada Blanca. Tomado y traducido de Masterman (2003).</i>	12
<i>Tabla 3.2 Resumen de la paragénesis de vetilla y alteración en Quebrada Blanca. Tomado y traducido de Masterman (2003).</i>	13
<i>Tabla 3.3 Pre-, sin- y post- mineralización de los intrusivos en Rosario. Tomado y traducido de Masterman (2003).</i>	14
<i>Tabla 3.4 Paragénesis vetilla y alteración en Rosario. Tomado y traducido de Masterman (2003).</i>	15
<i>Tabla 3.5 Característica del sistema de fallas presentes en Rosario. Tomado y modificado de Masterman (2003).</i>	18
<i>Tabla 5.1 Cantidad de muestras que presentan un tipo de vetilla descritas.</i>	40
<i>Tabla 5.2 Conteo de muestras según el tipo de vetilla presente y la/las inclusiones fluidas que se observan en ellas.</i>	44
<i>Tabla 5.3 Muestras de sector central y profundo para estudiar hipótesis de manera más detallada.</i>	55
<i>Tabla 9.1 Resumen estadístico del tamaño de las áreas de mena, sulfuro y alteración en DPC (Singer et al., 2002).</i>	73
<i>Tabla 9.2 Típica concentración de metales en granito y depósitos tipo pórfido. Tomado y modificado de Hedenquist y Lowenstern (1994).</i>	77
<i>Tabla 9.3 Constante de equilibrio aparente para el intercambio de cobre-sodio entre la mezcla de fluidos gaseosos y líquidos (separados del fundido) y el fundido silicatado. Tomado y modificado de Williams et al. (1995).</i>	79
<i>Tabla 9.4 Valores de coeficiente de partición modelado para el cobre entre: salmuera y fundido silicatado y, salmuera y vapor diluido. Tomado y modificado de Williams et al. (1995).</i>	79
<i>Tabla 9.5 Explicación de las inclusiones del modelo de distribución espacio-temporal de Bodnar (1982), figura 2.21. (Bodnar, 1982; Roedder y Bodnar, 1997; Beane y Bodnar, 1995).</i>	101
<i>Catálogo B.1 Tabla base construida mediante las observaciones de cada muestra de la presente investigación. L: líquido; H: Halita; V: vapor; X: sólido opaco (en tipo 3 corresponde a calcopirita). Valor 1 indica presencia del tipo de inclusión y valor 0 ausencia.</i>	108
<i>Catálogo E.1 Tabla tipos de vetillas en función de intervalos de valor índice probabilidad pórfido cuprífero (IPPC).</i>	120
<i>Catálogo H.1 Rechazo de las muestras con un resumen de la/s vetilla/s, inclusión/es, profundidad y alteración como sus características.</i>	129

1 INTRODUCCIÓN

La exploración de depósitos minerales es un proceso importante en el rubro de la minería en el que se invierten grandes cantidades de recursos: tiempo, dinero, recursos humanos, etc. con altos índices de riesgos producto de la incertidumbre en los resultados.

Existen diversas técnicas y métodos de exploración para optimizar los recursos, disminuir el riesgo y definir zonas con alto potencial de mineralización y de bajo potencial. Entre estas técnicas se encuentran algunas basadas en el estudio petrográfico de inclusiones fluidas a temperatura ambiente para caracterizar eventos de ebullición, separaciones de fases, que hayan tomado lugar en la formación del yacimiento pórfido cuprífero. Serán estas técnicas las que se describirán, utilizarán y analizarán a lo largo de la presente memoria para realizar exploración de depósitos tipo pórfidos cupríferos.

El distrito Collahuasi ubicado en el Norte de Chile presenta 3 pórfidos actualmente explotados y conocidos (figura 1.1), a saber: pórfido Rosario, pórfido Ujina; pórfido Quebrada Blanca. El presente es un trabajo realizado en el área del pórfido Rosario, el cual posee reservas estimada en 2,18 BTon a 0.91% de cobre. Entorno a Rosario, hacia el noroeste y suroeste del cuerpo principal se han identificado alteraciones potásicas, epidota-clorita, cuarzo-sericita-pirita y vetillas epitermales de alta sulfuración sugiriendo una segunda intrusión no conocida, llamándose el área Rosario Oeste.

El estudio petrográfico de inclusiones fluidas fue llevado a cabo con más de 300 muestras recolectadas por sondaje del área del pórfido Rosario.

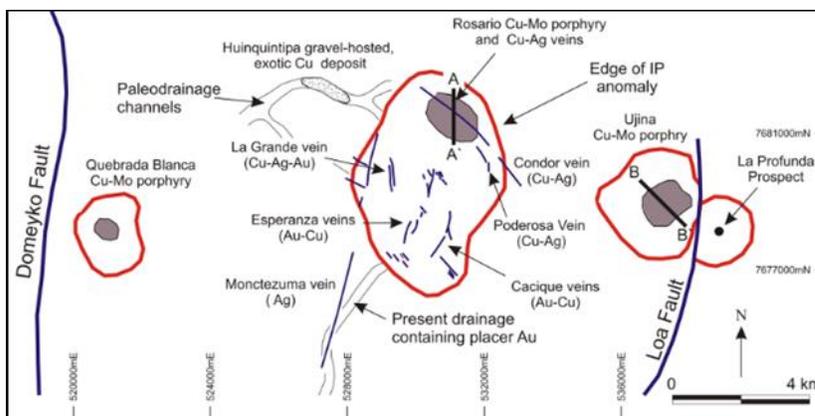


Figura 1.1 Mapa esquemático que muestra la distribución espacial de los pórfidos y venas epitermales en el distrito de Collahuasi. Tomado y modificado de Dick et al. (1994).

1.1 Motivación de usar las inclusiones fluidas para exploración de pórfidos cupríferos

Las ciencias tienen la facultad de impactar en diferentes aspectos tanto social, económico, académico, entre otros. En este marco la Geología inmersa en el ámbito minero tiene el potencial de repercutir varios aspectos de la sociedad. En particular, la presente investigación ahonda un estudio mediante la recopilación de muestra en terreno, observaciones e investigaciones previas, base de datos de sondajes facilitada por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. A partir de lo anterior se confeccionó una nueva base de datos que contiene las observaciones resultantes tras

desarrollar la petrografía de inclusiones fluidas. Esto con el interés de expresar y mostrar académicamente el potencial del uso de esta técnica como herramienta geológica en exploración de pórfidos, siendo una modalidad expedita y económica, ya que no utiliza costos geoquímicos o geofísico, y sin embargo entrega información valiosa, lo que se demostrara en este estudio.

1.2 Objetivos

La investigación busca establecer la efectividad de realizar exploración geológica en ambientes pórfidos cupríferos mediante la utilización de las inclusiones fluidas viendo su factibilidad como **vectores guías** de zonas de interés económico, para ello se establece un objetivo general junto con una serie de tareas específicas necesarias para lograr la finalidad de la presente investigación.

1.2.1 Objetivo general

Utilizar las propiedades de los fluidos dentro de las inclusiones fluidas para vectorizar el área y establecer guías de ubicación de zonas con mineralización importante en el sistema pórfido cuprífero perteneciente a la zona del pórfido Rosario, en el distrito minero Collahuasi.

1.2.2 Objetivos específicos

Caracterizar los tipos de inclusiones fluidas presentes en cada muestra mediante sus descripciones petrográficas. Correlacionar estas con leyes de cobre y alteración.

Establecer relaciones espaciales entre los fluidos caracterizados y la base de datos previamente existentes de alteración y mineralización de la zona, mediante la utilización de software tipo Leapfrog, Microsoft Office – Excel.

Proponer un modelo del área estudiada útil para la exploración minera en el sector.

1.3 Alcances

La investigación presente genera una caracterización de inclusiones fluidas presentadas en una tabla formato Excel la cual puede ser utilizada y/o mejorada para estudios posteriores. Si bien esta investigación consigue establecer una descripción tridimensional del área estudiada con una mirada exploratoria y descriptiva del sistema porfídico Rosario, la metodología de trabajo y/o los resultados mismos del trabajo no están restringidos a aplicarse solo a este depósito pórfido cuprífero, es decir, la metodología utilizada para desarrollar la exploración puede ser extrapolable a otros sistemas, depósitos, si y solo si se definen bien los parámetros, variables, y se conoce bien el contexto y todo lo que sea necesario para poder establecer con seguridad los vectores y/o modelos del sector usando las inclusiones fluidas de dichos sistemas.

Por otra parte, como la investigación construye una base de datos, es posible re utilizar, ya sea, la base de datos y/o las muestras para diversos trabajos y estudios. Esta reutilización podría ser ejemplificada en el desarrollo de una nueva investigación, la cual podría ser, por ejemplo: “*Ver la relación de las texturas de cuarzo y sus inclusiones fluidas en depósitos porfídicos*”. Además, se pueden usar los resultados y conclusiones como información para consultar, comparar, criticar o mejorar.

1.4 Hipótesis de investigación

Las tareas de exploración desarrolladas por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi entorno a su actual pórfido Rosario ha generado el levantamiento de mapas litológicos, de alteración,

mineralización y una visión más detallada de la geología estructural del sector. En esta recopilación de información se han establecido 3 hipótesis:

1. Prolongación de la mineralización cuprífera del pórfido Rosario en profundidad en dirección Suroeste.
2. Existe otro intrusivo mineralizado en profundidad al Suroeste, ajeno al pórfido Rosario.
3. El sistema del pórfido Rosario se extiende en profundidad.

Hipótesis que son abordadas en esta investigación usando las inclusiones fluidas. La figura 1.2 ilustra las hipótesis de un intrusivo aparte con su propio aporte magmático (figura 1.2, izquierda) o una mineralización producto a la prolongación del sistema formador de Rosario (figura 1.2, derecha), de ella también se extrapola la noción de extensión del sistema.

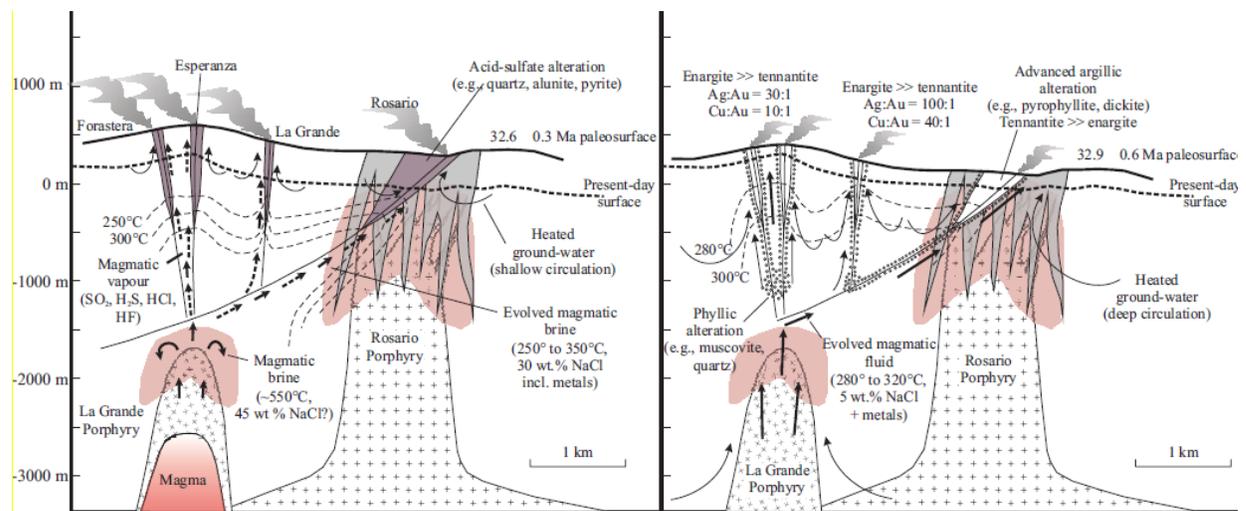


Figura 1.2 Ilustración de la intrusión escondida para la zona profunda del pórfido Rosario. La figura izquierda indica un movimiento normal de la Falla Rosario que estaría coincidiendo con el emplazamiento de una segunda intrusión magmática. La figura del lado derecho, mostraría un rejuvenecimiento de esta intrusión magmática generándose por ambos procesos, generándose un segundo sistema pórfido cuprífero entre el pórfido Rosario y Cerro La Grande. (Tomado y modificado de Masterman et al., 2005).

1.5 Ubicación, accesibilidad y fisiografía

El distrito Collahuasi se encuentra en las coordenadas 20°58' S y 68°43' W en el Altiplano de la primera región de Chile a unos aproximadamente 200-240 Km al SE de la ciudad de Iquique, accediendo al distrito desde Iquique siguiendo la ruta 16 la cual une la oficina Humberstone, pasando por Alto Hospicio. Desde la oficina se toma la ruta 5 Norte en dirección sur hasta llegar al poblado Pozo Almonte donde se continúa tomando la ruta A-65 para luego tomar la ruta A-687 que tras unos 170Km aproximadamente lleva a Collahuasi.

El distrito se encuentra enmarcado por una serie de fallas y se considera parte de la franja metalogénica del Eoceno tardío-Oligoceno temprano que sigue una distribución casi paralela al arco Andino, figura 1.3.

El sector posee una altura que varía entre los 4000 -5000 m s.n.m y un clima que se clasifica como “desierto marginal de altura” con “Estepa de altura” (Vergara, 1978) el cual sufre periodos del Invierno altiplánico.

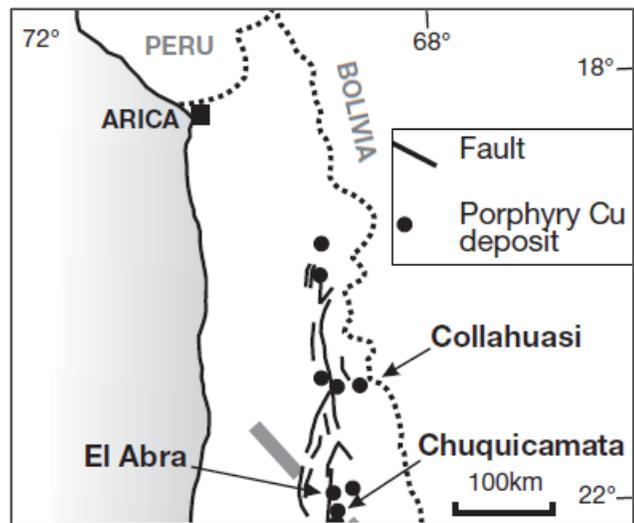


Figura 1.3 Mapa de ubicación del distrito Collahuasi. Se pueden ver los distintos depósitos pórfido cuprífero del sector. Tomado y modificado de Sillitoe (2010).

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Resumen informativo de la teórica en la que se basa la investigación

Los depósitos pórfidos cupríferos (D.P.C.) alcanzan hasta 100 Mt con bajo a moderado grado de mineralización de cobre, siendo los depósitos más abundantes e importantes de este metal a nivel mundial. El ambiente tectónico en el que se desarrollan tiene un rol importante, soliendo estar asociados a arcos magmáticos y cinturones orogénicos. Su formación afecta grandes cantidades de roca, alterándolas y/o mineralizándolas, alcanzando varios kilómetros cúbicos, llegando hasta 9 km^3 y 1.25 km^3 respectivamente. Estas rocas alteradas suelen presentar una distribución característica tanto vertical como horizontal bajo el modelo ideal de un D.P.C. El desarrollo de estos está ligado principalmente a la evolución magmática y su interacción con la roca caja, cuando estos fundidos-fluidos se emplazan, por lo que se desarrollan bajo condiciones magmáticas – hidrotermales. Una consecuencia importante de la evolución de los fluidos (mágmaticos-hidrotermal) en su ascenso y emplazamiento es que sufren eventos de separación de fase (ejemplo: ebullición) originando fases líquidas y fases gaseosas. Cuando este proceso toma lugar se particionan los elementos químicos que acarrea el fluido, modificando las composiciones de las fases resultantes, una consecuencia de esto es la formación de salmueras producto a la partición del sodio y cloro hacia la fase líquida resultante, aumentándole la salinidad. Si el sistema sigue evolucionando pueden originarse nuevas ebulliciones, por consiguiente, nuevas fases líquidas y gaseosas con enriquecimiento y empobrecimiento de elementos, en particular, de los metales. Si consideramos la formación de salmueras dada la partición del Na^+ y Cl^- , aparte de generar cloruro de sodio, se favorece la partición de metales como complejos clorurados, enriqueciéndose en ellos. En las fases gaseosas pasan procesos similares, enriqueciéndose esta en azufre y favoreciendo la partición de metales como complejos sulfurados. Esto es importante para considerar ubicaciones y/o transporte de los metales de interés, en función a los procesos que hayan ocurrido.

Las primeras ebulliciones que generan salmueras particionan el cobre como complejo clorurado y otra parte del Cu es particionado y transportado en la fase gaseosa (menos densa) para ascender como complejo sulfurado. Los procesos de emplazamiento y ebullición que sufre un pórfido cuprífero en su desarrollo conllevan a que la roca caja se fracture y se formen vetillas. La formación de las vetillas en un D.P.C. está temporalmente clasificada y entendida. Se reconoce que las vetillas de temporalidad intermedias., llamadas tipo B, son las principales aportadoras del Cu en estos yacimientos, y las vetillas tardías solo remueven y sectorizan la acumulación del cobre en el área afectada.

Fuera de las condiciones magmáticos, la mejor manera para entender los fluidos que toman lugar en la formación de los D.P.C. es mediante la comprensión del sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$. Bajo este sistema podemos saber las condiciones en las que el fluido, según su composición de salinidad, sufre procesos de ebullición y separación de fases, por lo tanto podemos saber bajo qué condiciones de presión-temperatura-composición (PTX) ocurren las principales particiones de metales. La manera más directa para obtener información de los fluidos que tomaron lugar y conocer estas condiciones es mediante el estudio de las inclusiones fluidas. Estas son una porción de un fluido atrapado en un cristal y representa las condiciones de PTX del fluido en dicho momento. Para asegurarnos de obtener un información representativa y fidedigna del fluido a partir de las inclusiones fluidas (I.F.) estas deben cumplir lo que se conoce como Regla de Roedder, que asegura que el fluido fue atrapado en una sola fase, que se mantuvo a volumen constante y sin cambio de masa (sistema cerrado). Las I.F. las podemos utilizar para interpretar

los fluidos mediante el uso del sistema $H_2O-NaCl$ al considerar que todos los fluidos hidrotermales que forman un D.P.C. pueden ser entendidos (representados) en su mínima expresión con este sistema.

Sabiendo esto, se utiliza la petrografía de las inclusiones fluidas para observar a temperatura ambiente las distintas fases que en ellas se presentan lo que da en primera instancia y de manera rápida una observación sobre la salinidad en caso de que exista o no halita precipitada, también una noción de si el fluido al ser atrapado era principalmente en fase densa o diluida (liquida, salmuera o gas). Y lo más importante es si existió un atrapamiento bajo condiciones de coexistencia de fases, lo que brinda la interpretación de hallarse frente a los procesos de separación de fases previamente hablados producto de las ebulliciones que sufren los fluidos que forman los D.P.C.

En vista a estas características observables al realizar petrografía de I.F. a temperatura ambiente y conociendo la distribución vertical de las alteraciones y la dependencia temporal de la formación ellas y las vetillas en los D.P.C., se han postulado relaciones de las inclusiones fluidas que debiesen ser observadas según una asociación temporal y espacial del desarrollo de un DPC, así como también el uso de las inclusiones fluidas para caracterizar a una zona como lugar potencial de mineralización económica de cobre, dándose su uso como una guía de exploración. Todo esto por la relación existente entre los fluidos y la formación de alteración, vetillas y mineralización.

Para comprender con más detalle toda esta teoría expuesta con sus argumentos científicos que respaldan la información presentada, se recomienda leer el Anexo A. Este expone en 4 subcapítulos la información teórica: 9.1 *Depósitos pórfidos cuprífero*, 9.2 *Estudio de inclusiones fluidas*, 9.3 *Presión, volumen y temperatura en sistema $H_2O-NaCl$* y, 9.4 *Las inclusiones fluidas y los yacimientos tipo pórfido cuprífero*.

3 GEOLOGIA DISTRITAL Y LOCAL

3.1 Geología Distrital

El distrito de Collahuasi presenta 3 dominios estratigráficos principales separados por un control estructural, teniéndose al oeste el sistema de falla Domeyko, al este la Falla Loa, y ubicándose entre ambas la Formación Collahuasi. Bajo esta distribución se tiene al oeste del sistema de falla Domeyko la Formación Cerro Empexa y Formación Quehuita, y tanto al este de la Falla Loa como sobre esta falla en dirección norte-sur se tiene una distribuyen de ignimbritas (Bisso et al., 1998). Dentro de estos dominios estratificados se hayan presenten estrato volcanes, depósitos no consolidados y depósitos aterrazados. Mas una serie de diversos intrusivos. Se pasa a definir con más detalle a continuación

3.1.1 Rocas estratificadas

3.1.1.1 Formación Collahuasi

Formación de edad Permo-Triásico compuesta de andesitas, dacitas, riolitas, tobas y cuerpos intrusivos porfídicos. Las rocas volcánicas representan dos o más ciclos andesíticos y riolíticas con intercalaciones sedimentarias pensado como producto a la topografía del Permo-Triásico tipo cuenca y lagos que favoreció que estas se depositaran entre ciclos de carácter continental (Vergara y Thomas, 1984; Bisso et al., 1998).

Sus límites geográficos son: el Sistema de Falla Domeyko hacia el oeste, el límite este no está expuesto y se tiene como tal a la Falla Loa que es claramente definible, hacia el norte esta pobremente definido y se presume que subyacente a la Ignimbrita Huasco considerándola como su límite norte, y hacia el sur se extiende hasta Chuquicamata pero ausente más allá de Calama (Vergara y Thomas, 1984; Bisso et al., 1998).

Munchmeyer et al. 1984 dividió en 3 unidades informales la Formación Collahuasi, las que se pueden observar en la figura 3.1 junto a las descripciones que se presentan a continuación:

- Unidad La Grande

Secuencia de al menos 3,000 metros de potencia compuesta por rocas efusivas riolíticas, dacíticas y andesíticas con intercalaciones de areniscas y brechas sedimentarias ubicado al sur del distrito. En su base se encuentra un batolito granodiorítico Permo-Triásico.

Subyace en discordancia angular con respecto a las unidades Capella y Cóndor.

- Unidad Capella

Secuencia de al menos 1,700 metros de potencia compuesta por coladas riolíticas alternadas con lentes y horizontes de areniscas y calizas. Se le asigna una edad Triásico y/o Jurásico aflorando al NW del distrito Collahuasi cerca de la localidad Capella.

- Unidad Cóndor

Secuencia de rocas efusivas con una potencia mínima de 1,050 metros compuesta por riolitas con un horizonte de areniscas y calizas en su base. Aflora entre Rosario y Ujina. Con edad y posición estratigráfica similar a la unidad Capella, diferenciada de esta última por las características de sus

riolitas y la distribución (discontinuidad) distrital. Características de sus riolitas y la distribución (discontinuidad) distrital.

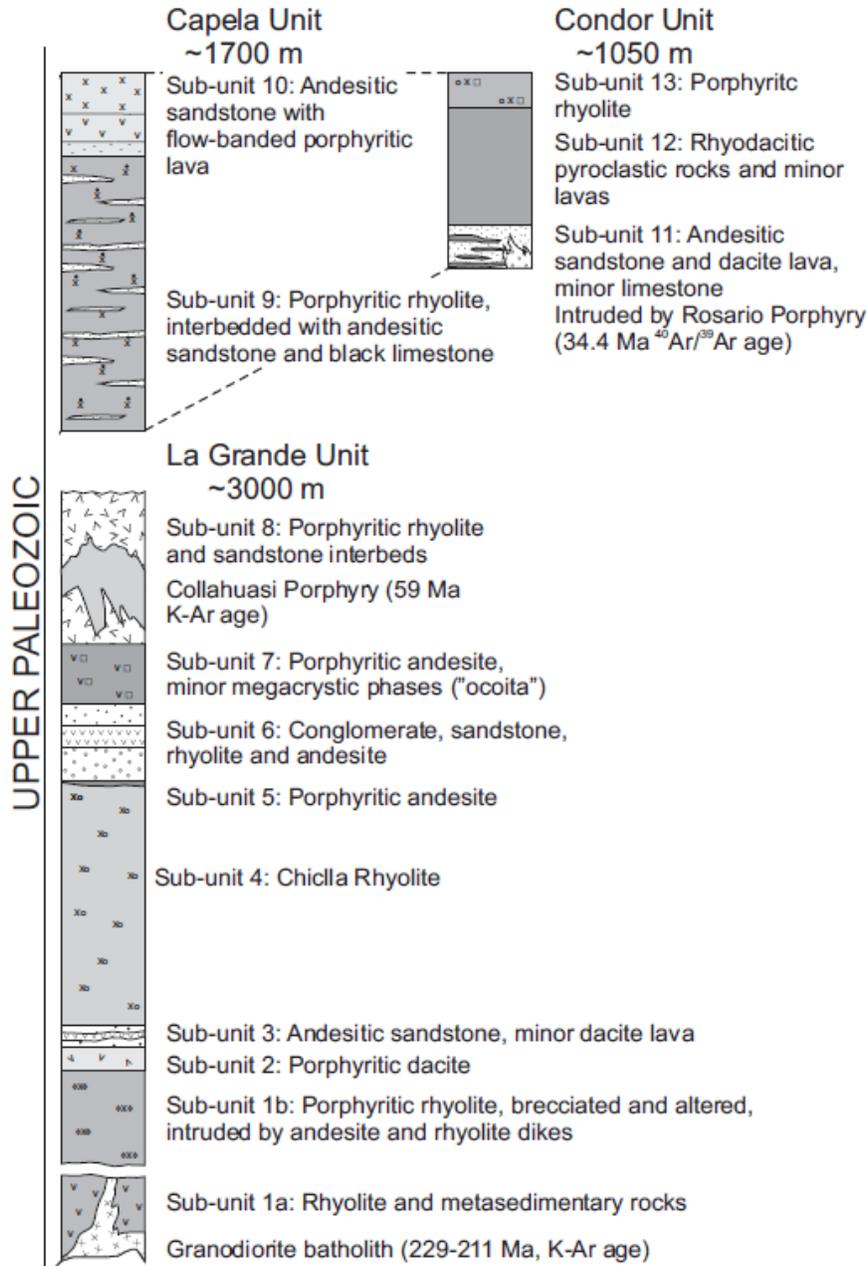


Figura 3.1 Descripción y ubicación de las unidades informales pertenecientes a la formación Collahuasi definidas por Munchmeyer et al. (1984) y Vergara y Thomas, (1984). Tomado de Masterman (2003).

3.1.1.2 Formación Quehuita

Rocas sedimentarias definidas por Vergara y Thomas (1984) como secuencia marino-continental depositada sobre la Formación Collahuasi en discordancia erosiva y angular. Estos definen 2 miembros; el inferior compuesto por fangolitas, calizas y limolitas marinas con una edad Jurásica dado por la presencia de fósiles en las calizas y, el superior compuesto por calizas, areniscas calcárea, areniscas y conglomerados. Expuesta principalmente al oeste de la Falla Domeyko y

representando depositación ocurrida en una cuenca extensional tras-arco durante el la formación del arco jurásico del norte de Chile pasando inicialmente por un ambiente marino profundo para luego pasar gradualmente a uno somero durante regresión marina (Vergara y Thomas, 1984; Munchmeyer et al., 1984; Masterman, 2003).

3.1.1.3 Formación Cerro Empexa

Secuencia elongada de andesitas, dacitas y brechas volcánicas con intercalaciones de areniscas rojas y conglomerados (Vergara y Thomas, 1984). Se encuentra limitada al este por el contacto con el sistema de falla Domeyko mientras que al oeste se delimita por contacto disconforme angulas sobre la Formación Quehuita. Subyace en discordancia angular a la Ignimbrita Huasco. Estos autores definen edades de 95 Ma basados en estudios sobre el stock granítico, Cretácico, considerado como una depositación en ambiente continental similar al arco actual de la Cordillera de los Andes.

3.1.1.4 Rocas cenozoicas (Ignimbritas)

Vergara y Thomas, definen 3 cuerpos de ignimbritas presentes en la parte norte y este del distrito Collahuasi, nombradas: Ignimbrita Huasco, Ignimbrita Ujina e Ignimbrita Pastillos con edades de 17.1, 9.3 y 0.75 Ma respectivamente obtenidas por K-Ar en biotita. Las tres son originadas por los estratovolcanes que marcan actualmente el arco moderno.

La ignimbrita Huasco son secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a erupciones con colapso de caldera del Mioceno inferior-medio, compuesta por tobas parcial o totalmente soldadas.

La ignimbrita Ujina corresponde a un depósito Mioceno superior constituido por tobas soldadas y material piroclástico y, ocasionalmente presenta estructuras de flujo.

La ignimbrita Pastillos presenta un miembro inferior de tobas parcialmente soldadas y depósitos laháricos, y un miembro superior de tobas cineríticas no soldadas con niveles de arcillolitas, limos y diatomitas en el sector del Salar Coposa.

3.1.1.5 Volcanes, depósitos aterrizados y no consolidados

Presencia en el distrito de flujos de lava, domos y estratovolcanes. Se constituyen de dacitas y andesitas principalmente. Se encuentran en distintos grados de conservación, siendo los más antiguos los que poseen conos fuertemente erosionados y núcleos expuestos, se destaca que la mayoría por lo general tienen su cono y caldera relativamente bien preservados, baja a moderada erosión (Vergara y Thomas, 1984).

Los depósitos no consolidados lo conforman depósitos salinos, aluviales, eólicos, otros con costras salinas y depósitos de ceniza y lapilli (Vergara y Thomas, 1984).

Los depósitos aterrizados se encuentran entre las unidades del Mioceno superior y bajo las unidades no consolidadas, con una litología mixta de gravas, areniscas polimictica y en menor proporción de tobas dacíticas, depositados principalmente horizontales. Cuando están cerca o asociados a zonas de alteración su litología se componen de rocas alteradas con mineralización de sulfuros, las que pueden poseer matriz cementada por silicatos de cobre y originar depósitos exóticos (Vergara y Thomas, 1984).

3.1.2 Rocas intrusivas

Los cuerpos intrusivos presentes en el distrito Collahuasi tienen un rango de composición hallándose dioritas, monzonitas, granodioritas y granitos (Munchmeyer et. al., 1984). Granitos y granodioritas del pre continental arco paleozoico intruye a la Formación Collahuasi, destacándose como un periodo de emplazamiento de intrusivos Permo-Triásico, se tiene a su vez como un segundo periodo de emplazamiento de intrusivo a dioritas cuarcíferas y granodioritas del Cretácico Superior-Terciario inferior las que intruye a las Formación Cerro Empexa, Quehuita y Collahuasi, y un último periodo del Eoceno tardío en el cual se emplazan intrusiones cuarzo-monzonita en la Formación Collahuasi, evento que se relaciona a la mineralización-formación de los pórfidos cupríferos (Munchmeyer et al.,1984; Vergara y Thomas, 1984).

3.1.3 Estructura de escala distrital

El distrito Collahuasi está localizado dentro de un horst de rocas mesozoicas y paleozoicas alzado en el Terciario superior con un bloque que tiene 30 km de elongación norte – sur y 40km de ancho limitado al Oeste por la Cordillera Domeyko junto con la Falla Domeyko y al Este por la Cordillera Occidental.

Mas al centro del distrito este ve influenciada su dinámica estructural por dos fallas mayores que presentan una orientación NNW-SSE, otras menores se presentan en dirección NE-SW, NW-SE Y N-S (Munchmeyer et al., 1984). Estas fallas mayores NNW-SSE con extensión regional son la Falla Oeste y Loa, representadas en la figura 3.2.

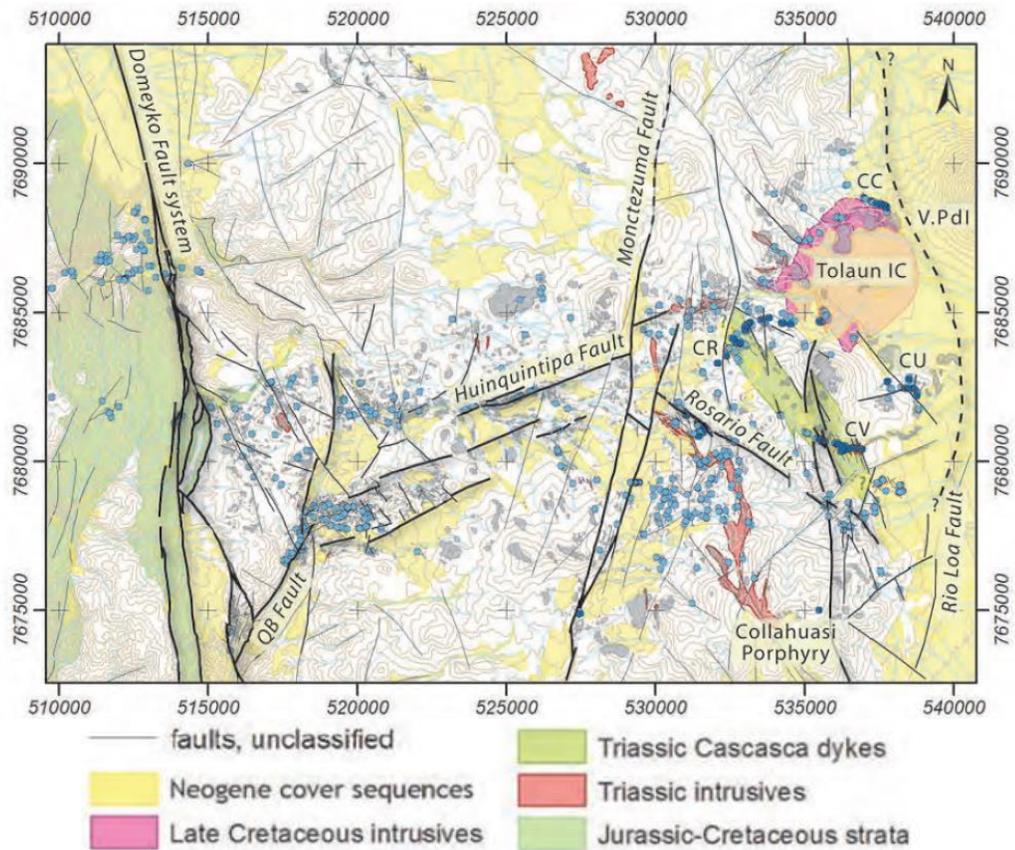


Figura 3.2 Mapa distrital donde se resaltan las orientaciones de las principales fallas presentes en el área del distrito estudiado. Se pueden notar tres grandes dominio en las orientaciones: NE-SW, NW-SE y N-S, y las orientaciones NNW-SSE de las fallas mayores Oeste (Domeyko) y Loa. Tomado de Ireland (2010).

La Falla Oeste esta por el flanco oeste del distrito, y puede ser considerada un límite de separación entre los sedimentos del Jurásico marino al oeste y depósitos volcánicos-graníticos del Permo-Triásico al este.

La Falla Loa forma el borde este del horst en el que se encuentra el distrito. Más al este de esta falla comienza morfología de graven siendo esta falla el borde oeste.

Las fallas menores con dirección NE-SW y NW-SE, consideradas como sistemas conjugado ubicados en los yacimiento Rosario y Ujina, se les han asignado desplazamientos de 1 a 1-5 km sinistral asociados a la actividad intrusiva Terciara influyendo en la formación de los pórfidos cupríferos Ujina, Quebrada Blanca y Rosario (Munchmeyer et al., 1984; Bisso et al., 1998).

3.1.4 Geología económica del Distrito Collahuasi

El distrito contiene recursos minerales metálicos y no metálicos representados principalmente por salares, depósitos de azufre, depósitos tipo pórfido y exóticos derivados de estos. Estos últimos son mena principal de cobre y en menor grado de molibdeno, plata y oro donde destacan los pórfidos cupríferos Quebrada Blanca, Ujina y Rosario. Los depósitos exóticos de cobre ocurren cementando gravas de paleocanales del Terciario Superior asociados a los pórfidos Ujina y Rosario (Bisso et al., 1998).

Sobre los depósitos tipo pórfido, estos presentan zonas de intenso fracturamiento y alteración hidrotermal, afectando a distintas rocas cajas y distribuyen la mineralización a lo largo de estructuras, micro vetillas o desimanación en las rocas huésped.

Cada uno de estos tres depósitos ha sido estudiados por diferentes autores y como visión general Clark et al. (1998) usando datos geocronológicos de Quebrada Blanca, Rosario y Ujina postula una actividad hidrotermal que migra hacia el este en el distrito Collahuasi tomándose un periodo de 3 a 4 millones de años, siendo más potente con el tiempo. Postulando además que Chuquicamata, La Escondida y Rosario se emplazaron simultáneamente en eventos a finales del Eoceno – inicios del Oligoceno.

3.1.4.1 Quebrada Blanca

Trabajos como los de Hunt (1983), Maksaev (1988), (1990) y Rowland and Wilkinson (1998) dan una desarrollada visión sobre Quebrada Blanca. Un resumen de esto se puede ver en las tablas 3.1 y 3.2.

Quebrada Blanca se hospeda en un batolito granítico del Pérmico que intruye y forma un anticlinal, con eje en dirección norte, en las rocas volcánicas de la Formación Collahuasi. La mineralización ocurre en dirección E-NE cruzando el eje axial del anticlinal y se asocia su depositación de cobre a varias actividades ígneas

En el pórfido Quebrada Blanca se han clasificado diferentes estadios que han formado localidades con características distintivas de alteración y mineralización en sus vetillas (tabla 3.2), estos estadios como conjunto forman el yacimiento pórfido cuprífero Quebrada Blanca.

Tabla 3.1 Pre-,sin- y post-mineralización intrusivos de Quebrada Blanca. Tomado y traducido de Masterman (2003).

Intrusivo	Composición	Relación mineralización
Dique andesíticos	Plagioclasa-hematita-magnetita	Post-mineralización
Brechas ígneas e hidrotermales	Ígnea: monzonita y clasto porfídicos en matriz cuarzo-biotita-feldespato K –sulfuro	Sin-mineralización
	Hidrotermal: clasto porfídico en matriz cuarzo-sericita-sulfuro	Sin-mineralización
Diques máficos	Plagioclasa-biotita-anfíbol, trazas de cuarzo	Sin-mineralización
Diques porfídicos	Cuarzo–feldespato con de biotita-anfíbol	Sin-mineralización
Stock cuarzo-monzonita	Cuarzo monzonita gradando a granodiorita en el centro de la intrusión	Pre/Sin-mineralización

Tabla 3.2 Resumen de la paragénesis de vetilla y alteración en Quebrada Blanca. Tomado y traducido de Masterman (2003).

Estadio	Mineralogía de la veta	Zona de alteración
Pre- mineralización	Biotita-magnetita	± halo potásico
Temprano	Cuarzo-feldespató K-anhidrita-magnetita-sulfuro	± halo potásico o sericitico
Brecha Hidrotermal	Cuarzo	± halo potásico/sericitico
	Cuarzo-molibdenita-calcopirita±anhidrita	± halo sericitico
Brecha de turmalina	Turmalina-calcopirita-bornita-molibdenita-pirita	Turmalina
Tardío	Pirita > cuarzo	Fuerte halo filico - argílico

3.1.4.2 Rosario

Una visión entregada por los autores Vergara (1978), Munchmeyer (1984), Lee (1994), Clark (1998), aclara el conocimiento sobre el pórfido Rosario.

El pórfido intruye la base de la Unidad Cóndor en la Formación Collahuasi, presentando un sistema de falla suroeste, Sistema de Falla Rosario, corta las rocas volcánicas y los intrusivos de la unidad La Grande y Cóndor, representado por la figura 3.3.

La mineralización y alteración ocurre en diferentes generaciones pudiéndose agrupar en 3 estados de eventos hidrotermales, temprano, intermedio y tardío (Lee, 1994). Sin embargo la ausencia de un hiato claro entre el evento hidrotermal temprano y tardío hace interpretar que el estallido tardío fue emplazado en un muy corto periodo de tiempo o este último reinicio las edades de los eventos anteriores (Clark et al., 1998). Las tablas 3.3 y 3.4 resumen la información sobre la relación entre las diferentes actividades ígneas y los diferentes eventos hidrotermales, con respecto a la mineralización.

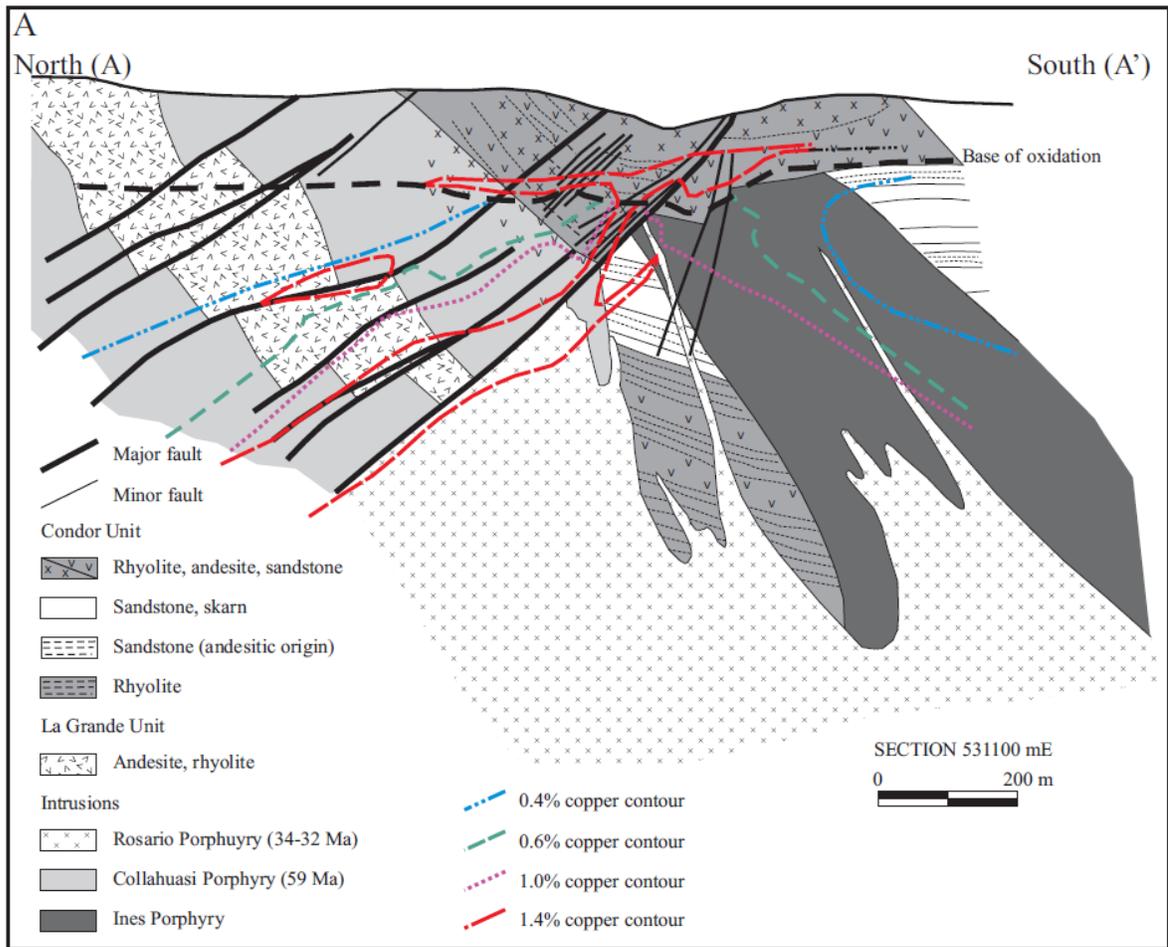


Figura 3.3 Sección cruzada a través de una sección del depósito Rosario. Se muestra la relación de leyes de cobre y la disposición de las estructuras presente. Tomado de Masterman (2003), basado en Munchmeyer et al. (1984).

Tabla 3.3 Pre-, sin- y post- mineralización de los intrusivos en Rosario. Tomado y traducido de Masterman (2003).

Intrusivo	Edad	Composición	Relación a la mineralización
Pórfido Rosario (PRO)	34.2-32.9 Ma	Cuarzo – monzonita	Sin – mineralización
Pórfido Collahuasi (PCO)	59 Ma	Cuarzo – monzonita	Pre – mineralización
Pórfido Inés (PIN)	Permo-Triásico	Dacita	Pre – mineralización

Tabla 3.4 Paragénesis vetilla y alteración en Rosario. Tomado y traducido de Masterman (2003).

Evento hidrotermal	Tipo de vetilla	Alteración en la roca caja
Temprano	Grupo 1: cuarzo-bornita-calcopirita-pirita	(1) Magnetita ± albita (2) Biotita ± albita ± feldespato K (3) Albita ± clorita (4) Feldespato K
Intermedio	Grupo 2: cuarzo-calcopirita-pirita-bornita Grupo 3: cuarzo-molibdenita ± pirita ± calcopirita	Cuarzo-sericita
Tardío	Grupo 4: cuarzo-pirita-calcopirita-bornita-tenantita-enargita	Cuarzo-sericita

3.1.4.3 Ujina

Bisso (1998) expone en su trabajo una clara visión sobre el pórfido Ujina, el cual se encuentra emplazado en rocas lateralmente equivalente a las facies volcánicas de Rosario, reconociéndose 2 principales intrusiones porfídicas, Inca y Ujina.

El diferente grado de mineralización presente en cada una de estas intrusiones, baja mineralización en pórfido Inca alta en pórfido Ujina, se han interpretado como el resultado de intruir después de que la actividad hidrotermal cesase.

3.2 Geología Local, pórfido Rosario.

La estratigrafía local del sistema hidrotermal del pórfido Rosario se encuentra dominada por el Miembro Cóndor de la Formación Collahuasi según Munchmeyer (1984). A continuación se presenta una re-evaluación de dicha propuesta estratigráfica realizada por Masterman (2003).

3.2.1 Litofacies principales

Tres principales litofacies se pueden encontrar; piroclásticas, volcánicas estratificadas y no estratificadas, y carbonatada. Estas litofacies tienen un manteo entre 30° a 50° dirección noreste con escasos contactos expuestos y otros contactos evidenciados por sondajes.

3.2.1.1 Litofacies volcánicas

Compuesta principalmente de andesita, brechas monomicticas no estratificadas (autoclásticas), arenitas líticas y limo, donde la andesita destaca por su distribución y por la abundancia de fenocristales y amígdalas, además de encontrarse separada de los flujos tufaceos y de las areniscas volcano sedimentarias.

Las arenitas líticas con fragmento de tefra o con cristales abundantes de plagioclasas soportados en una matriz clorítica se intercalan con limos generados luego del flujo volcánico turbidítico por una depositación de suspensión.

3.2.1.2 Litofacies piroclásticas

Consta de dacitas y riodacita, donde las dacitas se han interpretado como el resultado de diques y sill que han instruidos sobre la unidad Cóndor (Munchmeyer et al., 1984; Dick et al., 1994; Lee, 1994) como parte del pórfido Inés. Las dacitas presentan fiamas y una masa fundamental de vidrio desvitrificado mostrando textura eutaxítica (vitroclástica). Por dichas características se consideran estas dacitas porfídicas como parte de una ignimbritas soldada.

3.2.1.3 Litofacies sedimentaria-carbonatadas

Consiste en calizas que han sido alteradas a rocas calco-silicatadas con granate, diópsido, actinolita, epidota, clorita y magnetita en la zona de mina, mientras que en otro lugar se presentan de color grisáceo con lentes oscuros por su contenido fósil (estromatolitos), son típicamente masivas y raramente laminar con un 30% de contenido de cuarzo como grano fino.

3.2.2 Intrusivos

Dos intrusivos están presentes en la geología, a los que se les ha llamado pórfido Collahuasi y pórfido Rosario. Ambos intrusivos se introducen en la Formación Collahuasi cortando los miembros informales La Grande y Cóndor.

3.2.2.1 Pórfido Collahuasi

El intrusivo pórfido Collahuasi presenta variación de espesor entre 50 metros, exponiéndose en superficie, a más de 300 metros en profundidad. Intrusión con dirección preferencial noroeste y con una longitud estimada de 8 kilómetros, exponiéndose en el extremo sur del sistema hidrotermal Rosario a los 4 Km y sin exposición al norte (Munchmeyer et al., 1984).

Intrusivo de composición variable en la que domina la química diorítica y raramente va pasando a granítica y andesíticas, presentando fenocristales plagioclasas (An_0 - An_5) de tamaños entre 1 a 15 cm clasificándose la roca colocalmente en Chile como una Ocoita. Presenta en las zonas de alteración del sistema Rosario reemplazo en sus minerales ferromagnesianos por minerales hidrotermales de biotita, clorita y sericita, sin embargo se puede hallar en su masa fundamental minerales primarios de horblenda y biotita preservados (Munchmeyer et al., 1984; Vergara, 1978).

Muestras utilizadas en la memoria de Muñoz (2009), se puede observar “ojos de cuarzo” como mineral primario y suelen presentar proceso hidrotermal del tipo cuarzo-sericita observándose vetillas Tipo C definidas y rectas sin halo de alteración.

3.2.2.2 Pórfido Rosario

Intrusivo con forma de apósis a niveles superficiales que a profundidades entre los 400 y 600 metros se juntan de manera elongada con un stock de dirección noroeste de 300 a 500 metros de ancho con hasta 1,500 metros de largo.

A diferencia del pórfido Collahuasi, el pórfido Rosario presenta como mineral relicto de alteración principalmente biotita, con fenocristales de feldespatos cálcicos y sódicos alterados por

illita, viéndolos sucio macroscópicamente, aunque preservan su núcleo de composición oligoclasa-andesina ($An_{20}-An_{36}$). Microscópicamente la masa fundamental se ve más fanática que las rocas del pórfido Collahuasi.

3.2.3 Estructura y mineralización

Abundantes estudios estructurales en el sistema del pórfido Rosario se han llevado a cabo para reconstruir su historia de deformación, a su vez también se ha estudiado la relación entre la mineralización y la estructuras como también la influencia en el emplazamiento de los pórfidos. Esta relación entre estructuras y mineralización es esquematizada en las figuras 3.3 y 3.4, donde se puede observar que las leyes de cobre se distribuyen en el perfil siguiendo una direccionalidad similar a la distribución y dirección de las fallas mayores, notándose por tanto la influencia y la correlación positiva que tienen las estructuras en la mineralización de cobre. Una observación susceptible de realizar es notar el aumento de ley de manera cuasi paralela a medida que se profundiza en el perfil si se recorre en la vertical.

La tabla 3.5 extraída de Masterman (2003), muestra un resumen de las estructuras presentes en el área de interés.

Existe además una falla, La falla Mary, que limita Rosario con Rosario Oeste dejando este último en profundidad hacia el este. Este desplazamiento se piensa que es realizado mediante una traza listica profundizada hacia el Sur. Esta falla es post-mineralización en la zona de Rosario Oeste. (Oyarzún, 2010).

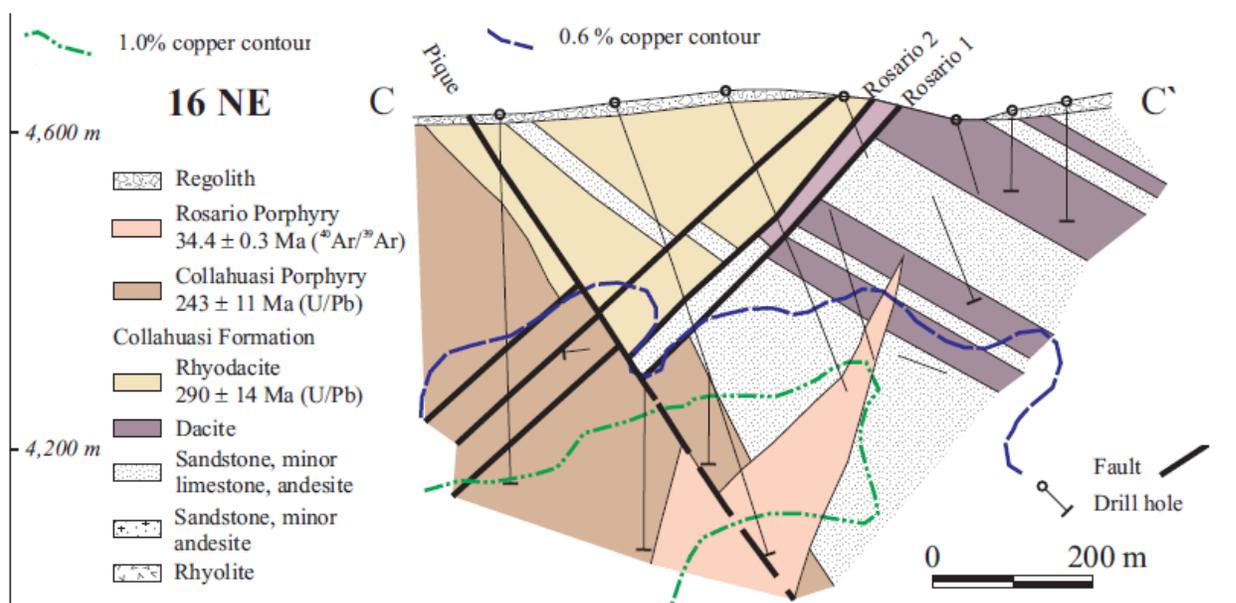


Figura 3.4 Sección cruzada en dirección noreste-suroeste del depósito Rosario. Ilustrativo para ver distribución litológica, estructural y leyes de cobres más cerca del depósito, mostrándose en el perfil los sondajes realizados del sector. Tomado y modificado de Masterman (2003).

Tabla 3.5 Característica del sistema de fallas presentes en Rosario. Tomado y modificado de Masterman (2003).

Nombre Falla	rumbo/manteo	Sentido Cinético	Desplazamiento aparente
Falla Rosario 1	319°/45° SW	Indicador normal y dextral	0.5 a 5 m
Falla Rosario 2	321°/40° SW	Indicador normal	0.5 a 2 m
Falla Jack	260/60° S	Sin indicadores	1 a 2 m
Falla Penúltima	325°/71° SW	Indicador dextral	1 – 5 m
Falla Ultima	325°/71° SW	Indicador dextral	1 – 5 m
Falla Pique	331°/63° NE	Indicador normal y dextral	0.5 – 2 m
Falla Lulú	337°/43° SW	Indicadores sinestral	1 – 5 m

4 METODOLOGÍA

Se recolectaron muestras de sondaje realizados por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, su selección fue realizada por el autor de este texto para representar el entorno del depósito pórfido cuprífero constituido por el pórfido Rosario. A estas muestras se les realizaron trabajo de gabinete como de laboratorio, en los que se incluyen: Preparación de las muestra para confeccionar cortes transparentes, realización de petrografía de inclusiones fluidas, recopilación información teórica sobre fluidos y yacimientos porfídicos y, uso y estudio de datos y análisis de resultados. Estas etapas se explican a continuación.

4.1 Preparación de las muestras

Las muestras recolectadas fueron enviadas al laboratorio de la Universidad de Chile para hacer láminas delgadas de espesores entre 75 y 100 μm que tienen como prioridad permitir visualizar inclusiones fluidas atrapadas en los minerales presentes en la muestra, las cuales en este trabajo son vistas principalmente en cuarzo. Por lo tanto suelen ser pulidos rápidos hasta llegar a hacer translucido los minerales de cuarzo. Vale decir que si bien no es una lámina delgada ni una lámina pulida o doble pulida se trata de dejar lo más parejo posible la lámina para evitar problemas de grosor a lo largo de un corte y así poder asegurar una visualización continua de las inclusiones fluidas ya que si una zona queda más gruesa puede que dificulte las observación y se podría perder información valiosa. Este trabajo fue efectuado con las maquinas del Laboratorio de corte de rocas de la Universidad de Chile (figura 4.1) por el personal encargado y por el autor del texto junto a su profesor guía, marcando las muestras para cortarlas con la maquina A de la figura 33 para generar las “calugas” de roca, calugas a las que con la maquina B se desgasta la cara que será pegada con la gotita en la placa de vidrio y, estando ya firme, son recortadas, generándose los rechazos, y nuevamente desbastados hasta el grosor requerido.

El criterio para definir el área de una muestra de sondaje que será trabajada como quick plate (lamina confeccionada como se explicó en el párrafo anterior) es utilizar la zona de la muestra que represente más directamente los procesos hidrotermales del sistema y por lo tanto suelen ser zonas que encierren las vetillas presentes en la muestra.

Una vez obtenida la sección delgada, se pasa a revestir cada quick plate con gotas de un aceite, que posee un índice de refracción similar al cuarzo, 1.51 (Goldstein, 2003), para luego sobre el colocar un cubreobjetos de vidrio de 24 x 40 (mm) para esparcir este aceite y lograr así generar una capa delgada entre la muestra y su cubreobjetos. Esto permite resaltar las inclusiones fluidas en cuarzo al homogenizar el relieve del mineral producido por el desbaste rápido, imitando una superficie pulida.

De manera general los pasos a seguir son: selección de área de corte, cortar la roca, desbastar y dejar pareja la cara que se pegara al portaobjeto de vidrio. Posteriormente, pegar la cara en la placa de vidrio, rebajar la roca (generando un rechazo). Finalmente, desbastar la roca que queda hasta un grosos donde el cuarzo sea translucido y útil para ver inclusiones fluidas, colocar gotas de aceite en la muestra, cubrir con porta objeto.



Figura 4.1 Maquinas del Laboratorios de Corte de rocas del Departamento de Geología, FCFM, Universidad de Chile; utilizada en la fabricación de las quick plates: (izquierda) Sierra de corte diamantada, usada para realizar las calugas. (Derecha) Desbastadora consistente en dos discos rotatorios, cada uno para diferente nivel y grado de desbaste.

4.2 Descripción de muestra de mano – rechazo

Como las quick plate tratan de encerrar las vetillas de la muestra se realiza una petrografía macroscópica identificando el tipo de vetilla presente, utilizando la clasificación de vetillas tempranas tipo A, vetillas intermedias tipo B, tipo C y vetillas tardías tipo D, E, estadios de tenanita-ennargita o alta sulfuración (TES). A demás se agregan dos categorías, una para englobar las muestras que presenten sobreimposición, cruzamiento, de tipos de vetillas, y otra para expresar rocas que representan principalmente alteración que han sufrido eventos de vetilleos y estas vetillas son de la misma índole.

4.3 Petrografía de Inclusiones fluidas

La petrografía de inclusiones fluidas es realizada en las “quick plate” describiendo las inclusiones atrapadas en cuarzo, este trabajo se realizó en el Laboratorio de Inclusiones Fluidas y Vítreas del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

La petrografía se focaliza en definir familias de inclusiones fluidas bajo las observaciones de las fases presentes en estas y sus proporciones a temperatura ambiente, ilustradas en la figura 34. No se pretende buscar y definir inclusiones primarias o secundarias dado el intenso trabajo que esto representaría producto a la multiplicidad de eventos que conlleva la formación de este depósito pórfido cuprífero, a la vez escapa de los objetivos de la presente investigación, no obstante, puede ser un trabajo complementario a futuro.

En la petrografía se establecieron y definieron 7 tipos de inclusiones fluidas a buscar en las muestras, a saber:

Tipo 0: Inclusiones fluidas ricas en líquido.

Tipo 1: Inclusiones fluidas con halita que indican fluidos de alta salinidad.

Tipo 2: Inclusiones fluidas con calcopirita como mineral accesorio y con o sin halita.

Tipo 3: Inclusiones fluidas ricas en líquidos con sólidos atrapados (opacos, translucidos).

Tipo 4: Coexistencia de inclusiones con halita e inclusiones ricas en vapor una razón líquido: vapor que indique separación de fase de fluido, ebullición.

Tipo 5: Coexistencia de inclusiones fluidas ricas en líquido y ricas en vapor que indican separación de fase de fluido (ebullición)

Tipo 6: Inclusiones fluidas ricas en vapor.

Se establecieron estos 7 tipos de inclusiones dado la multiplicidad de eventos que suelen presentar los depósitos pórfido cuprífero. Esto genera una gran variedad de inclusiones fluidas que pueden estar presentes en una misma muestra, y cada una de ellas puede representar eventos tempranos, intermedios o tardíos en el desarrollo del depósito. Además teniendo en cuenta los trabajos realizados por Nash (1976), Bodnar (1982), Gustafson y Hunt (1985), Roedder y Bodnar (1996), Masterman (2005), Bodnar (2014), y otros, se tiene una noción previa de las inclusiones fluidas que se presentan en estos yacimientos, en qué tipo de vetillas podríamos encontrarlas e incluso la relación espacial y temporal con respecto a la formación del depósito. Por todos estos detalles la clasificación de los 7 tipos de inclusiones fluidas proporcionaría un mapeo detallado del sector. A continuación se exponen nociones general de la utilidad esperable de las inclusiones al momento de utilizarlas para mapear, caracterizar, un área: Las inclusiones ricas en líquido (tipo 0) debiesen estar presente en casi todas las muestras, las inclusiones ricas en vapor (tipo 6) o la presencia de coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 5), darían nociones de sectores donde se produjo separación de fases o ebullición, en el sistema. Mientras que las inclusiones ricas en halita con o sin opacos (principalmente calcopirita), y con o sin coexistencia de inclusiones ricas en vapor, ayudan a establecer con mayor precisión hacia dónde se estaría transportando y precipitando el cobre, brindando ideas de cercanía y/o lejanías según un punto de referencia.

El trabajo al utilizar esta clasificación permite la utilización de los datos en torno a los conceptos expuestos anteriormente representados por las **figuras 2.18, 2.19, 2.20 y 2.21** con la finalidad de poder caracterizar zonas de interés económica en el área. También permite la valoración numérica y utilización del índice numérico propuesto por Bodnar (1982, **figura 2.25**) el cual indica la probabilidad de estar en presencia de un sistema pórfido cuprífero con mineralización económica.

Teniendo claro que es lo que buscamos a la hora de realizar la petrografía, en este caso de inclusiones fluidas, se procede a generar una tabla de datos en el software Microsoft Office – Excel, asignándoles valores 0 o 1 a cada tipo de inclusión lo que representaría si el tipo de inclusión está ausente, valor 0, o presente en la muestra, valor 1. Además de anotarle a cada muestra el valor correspondiente de cada categoría utilizada en el índice de probabilidad de pórfido cuprífero y su suma total como su “Valor de abundancia relativa”.

En esta tabla también se incorporan los datos de las coordenadas, los tipos de vetilla, mineralogía y alteración de cada muestra.

4.4 Aplicación de los datos y análisis de resultados

Al desarrollar la petrografía se va confeccionando una tabla en la que cada muestra tiene anotada las observaciones efectuadas sobre ella. Estas muestras al ser seleccionadas de sondajes poseen su ubicación espacial en el espacio asignada por coordenadas, direcciones y profundidad del sondaje al cual pertenecen. También poseen otros datos producto a la descripción de sondajes como son su alteración y su litología. Los datos principalmente espaciales se incluyen en la misma tabla que posee las observaciones petrográficas. Con todos ellos en conjunto se puede trabajar con los

software Microsoft Office – Excel, para diseñar tablas, gráficos, estadísticas o efectuar alguna exportación de esta base de dato hacia otros software, que en este estudio se exportan al programa Leapfrog Geo, herramienta útil para representar espacialmente en 3 dimensiones la distribución de información, pudiendo visualizar perfiles e incluso realizar modelos geológicos.

Principalmente con ambos software se usan los datos para que puedan ser analizados. Este análisis se logra gracias al trabajo previo de investigación y recopilación de información teórica que enmarca esta investigación, la cual es presentada como marco teórico. En función a esta información científica recopilada, los resultados obtenidos mediante el uso de estos dos software, ya sean gráficos, perfiles, modelos u otros, pueden ser analizados e interpretado científicamente. Por tanto, esta comparación liga la información científica de las inclusiones fluidas en sistemas tipo pórfido cuprífero y el contexto real de las inclusiones presentes en un yacimiento pórfido cuprífero reconocido y explotado, generando un escenario practico para su uso en exploración.

5 TRABAJO DE DATOS Y OBSERVACIONES

5.1 Previo al uso de los datos

Se tomaron 281 muestras de los sondajes las cuales se sometieron a la preparación de quick plate. Tras el análisis petrográfico de inclusiones fluidas y las descripciones de tipo de vetilla presente junto con las coordenadas espaciales otorgadas por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi se confeccionó una tabla.

Como se puede apreciar en el Anexo A, “Tabla base” (tabla 9.1), y como se informó en la metodología, se buscaron los **7 tipos de inclusiones fluidas** y se les calculó el **Índice Probabilidad Pórfido Cuprífero (IPPC)**, como se indica en la figura 2.25, a cada muestra. Los 7 tipos de inclusiones fluidas son representadas por la figura 5.1.

En el Anexo H se puede encontrar los rechazos de las muestras con las que se obtuvieron los respectivos tipo de vetilla, sin embargo por la dificultad y desorganización inicial se perdieron en el transcurso algunos rechazos por lo que no será posible hallar su respectiva imagen en la tabla, en este caso se trabajó con la lámina delgada para obtener una descripción del tipo de vetilla presente (consultar Anexo H para ver rechazos escaneados).

Profundizando un poco más en este punto, en la “Tabla base”(catalogo B.1) se puede apreciar las notaciones como A-B, B-D, E-TES, cualquier combinación de **letra** unida por un guion indica que la muestra presenta cruzamiento o superposición de aquellas vetillas, y se les clasificara en conjunto como **Vetillas Cruzadas o Combinadas**, mientras aquellas con descripción como lixiviada, propilítica, cuarzo, roca con calcopirita (**ccp**), o combinación de ellas se les clasificara en conjunto como **Vetillas de Alteración**.

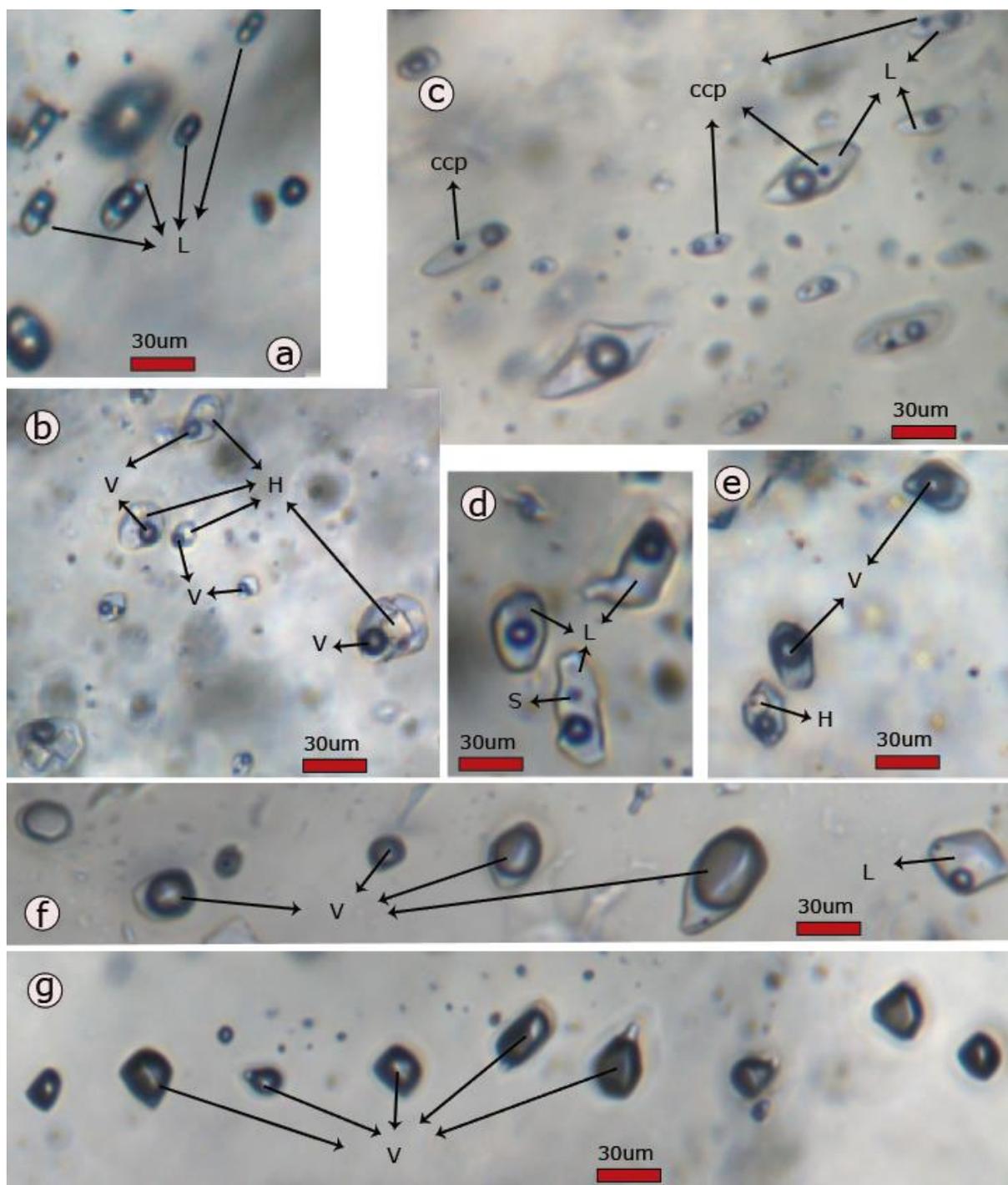


Figura 5.1 Tipos de inclusiones fluidas vistas y definidas en el presente trabajo. (a) familia de inclusiones ricas en líquido. (b) familia de inclusiones ricas en líquido con precipitación de halita. (c) familia de inclusiones ricas en líquido, con saturación de sales y metales, precipitando halita y calcopirita. (d) inclusiones ricas en líquido con precipitación de solidos opacos difíciles de distinguir como calcopirita, indicando saturación de metales o metales en el fluido. (e) coexistencia de inclusiones ricas en vapor e inclusiones con presencia de halita. (f) coexistencia de inclusiones ricas en vapor con inclusiones ricas en líquido, característico de ebullición. (g) familia de inclusiones fluidas ricas en vapor o de baja densidad, característica ebullición. V: vapor, L: liquido, ccp: calcopirita, S: solido, H: halita. Se clasifican como: (a) Tipo 0 (b) tipo 1 (c) tipo 2 (d) tipo 3 (e) tipo 4 (f) tipo 5 (g) tipo 6.

5.2 Análisis considerando un solo parámetro

Al ver la recopilación de los datos obtenidos expuestos en el Anexo B, se puede hablar de 3 grandes parámetros:

Tipos de inclusiones fluidas, Índice Probabilidad Pórfido Cuprífero (IPPC) y tipo de vetilla.

Considerando que cada muestra varía en estas 3 variables y mantiene siempre fijo su ubicación espacial se realiza un análisis sobre el comportamiento de cada parámetro con respecto a la profundidad, metros sobre el nivel del mar (**m s.n.m.**), la cual resulta ser una variable fija e independiente, presente en todas las muestras y relevante en temas de exploración geológica de DPC.

El primer paso para esto es considerar todas las muestras (se recuerda que son muestras de sondajes) para ver entre que valores de metros sobre nivel del mar se distribuyen. Ante esto tenemos que las más someras están a 4,700 m s.n.m. y las más profundas llegan hasta los 3,500 m s.n.m., por lo que tenemos una distribución vertical de 1,200 metros de muestras. El cómo se distribuyen en esta vertical se ilustra en la figura 5.2. Donde podemos notar que la gran mayoría se concentra entre los 4,400 y los 3,850, y se considerara como muestras profunda bajos los 3,800 metros sobre el nivel del mar.

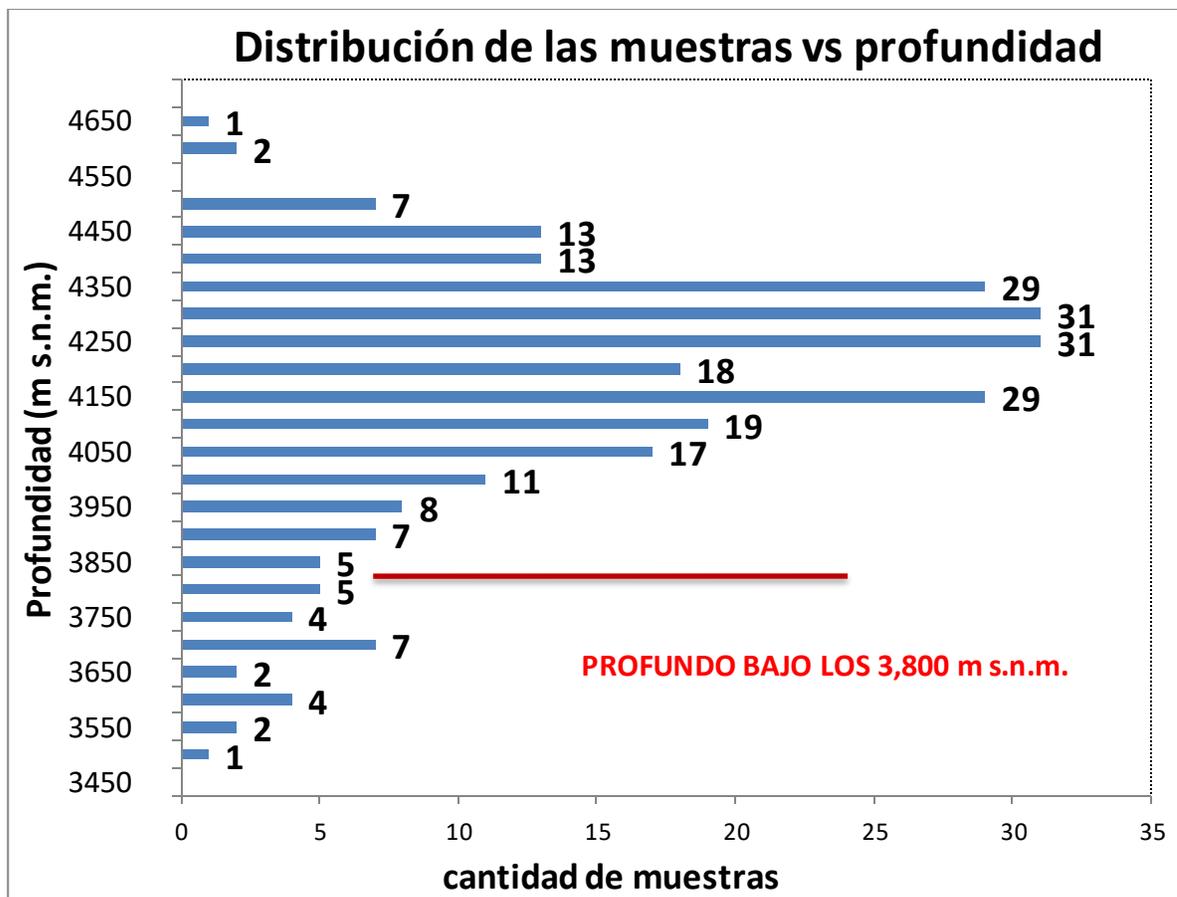


Figura 5.2 Grafica general de la distribución de las muestras tipo histograma en función de la profundidad. Alrededor de 170 muestras se distribuyen entre los 4,400 y 3,900 m s.n.m. En segmento rojo se marca el nivel de separación entre zona profunda y zona central y somera del área de estudio.

5.2.1 Tipos de inclusiones fluidas versus profundidad

Como se pretende analizar la relación que existe entre el tipo de inclusión fluida y la profundidad se propone la confección de histogramas y gráficos de dispersión, generando una visualización de manera individual como una visión global. Para esta finalidad se realizan tablas de frecuencia basadas en un intervalo de profundidad creado desde 4,700 hasta 3,500 m s.n.m. con un espaciado de 50 metros para poder confeccionar cada histograma.

La distribución de las inclusiones fluidas muestra un comportamiento distributivo similar a la distribución de la toma de muestra, ejemplificado muy bien en las inclusiones ricas en líquido (tipo 0, figura 5.3) dado que estas están presente en casi la totalidad de las muestras. Sin embargo, existen inclusiones fluidas que no se presentan en todas las muestras y muestran preferencia de intervalos de profundidad, como es el caso de las inclusiones ricas en halita que coexisten con inclusiones ricas en vapor (tipo 4, figura 5.7) y las inclusiones ricas en líquido con sólidos precipitados (tipo 3 figura 5.6), estas dos se encuentran predominando a profundidades mayores de los 3,700 m s.n.m. siendo escasas a niveles someros. En la parte más profunda, bajo los 3,700 m s.n.m., específicamente entre los 3,600 y 3,500 m s.n.m., hallamos la presencia de inclusiones ricas en líquido coexistiendo con ricas en vapor (tipo 5, figura 5.8) e inclusiones ricas en vapor (tipo 6, figura 5.9) casi en misma cantidad estas dos y siendo su abundancia mayor a las otros restantes tipos, siendo un posible indicativo de una zona de ebullición en el sistema. En estas zonas más profundas también se resalta la preferencia de las inclusiones líquidas saturadas en halita (tipo 1, figura 5.4), inclusiones ricas en líquido con sólidos precipitados (tipo 3, figura 5.6) e inclusiones ricas en halita que coexisten con inclusiones ricas en vapor (tipo 4, figura 5.7) presentándose luego de perder su continuidad distributiva vertical a los entre los 3,680 a 3,580 m s.n.m. Considerando las discontinuidad vertical, las inclusiones fluidas con calcopirita como mineral accesorio en su interior (tipo 2, figura 5.5), estas muestras una marcada discontinuidad en zonas superficiales en los intervalos de profundidad de 4,500 a 4,300 m s.n.m.

Las ilustraciones 9.C, en el anexo C, muestra cada grafica individual de los tipos de inclusiones fluidas en función de la profundidad agrupadas en un solo gráfico.

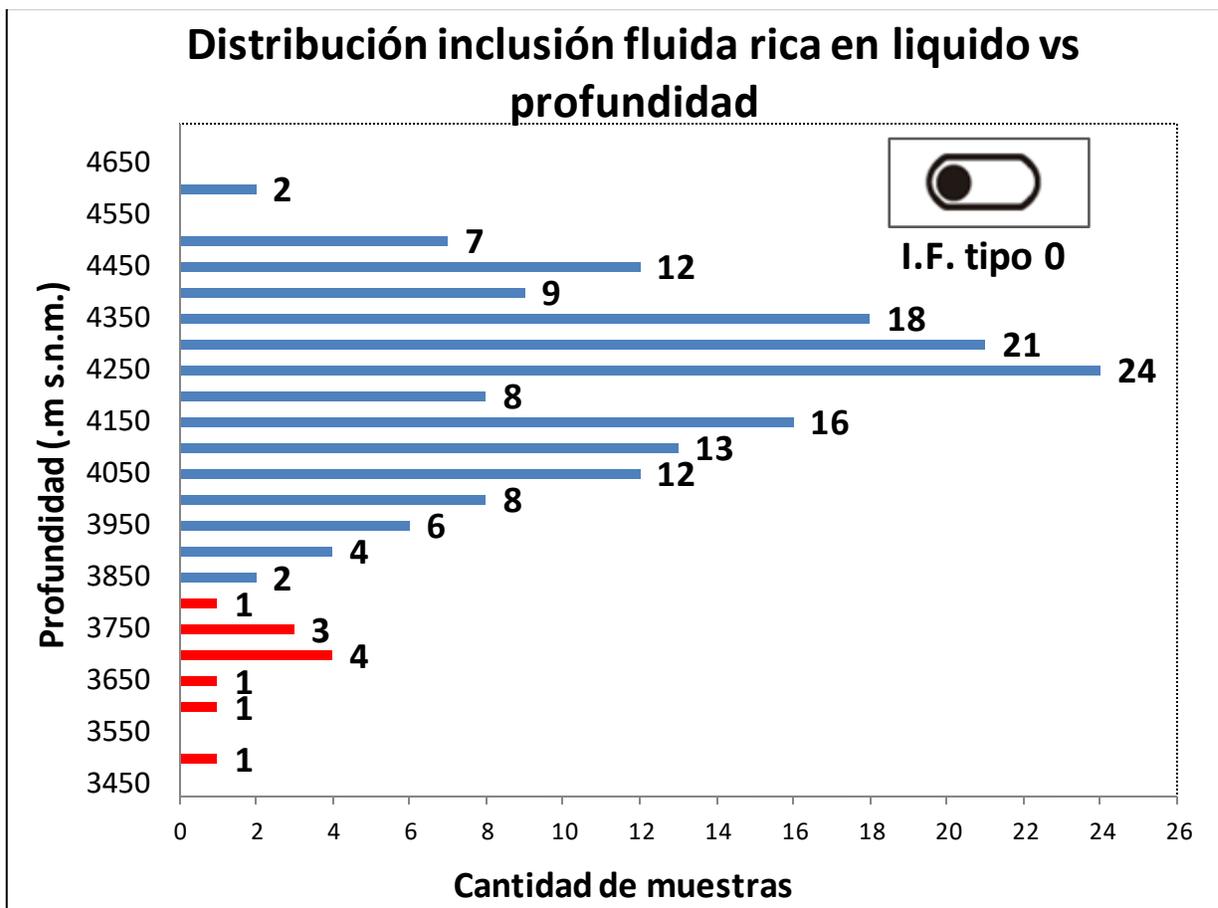


Figura 5.3 Relación de las inclusiones ricas en líquido (tipo 0) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se presentan en gran cantidad de las muestras estudiadas y siguen un patrón similar a la distribución vista en la figura 5.2. Se destaca presencia continua a lo largo de toda la vertical, hallándose incluso en las zonas profundas destacado con rojo. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

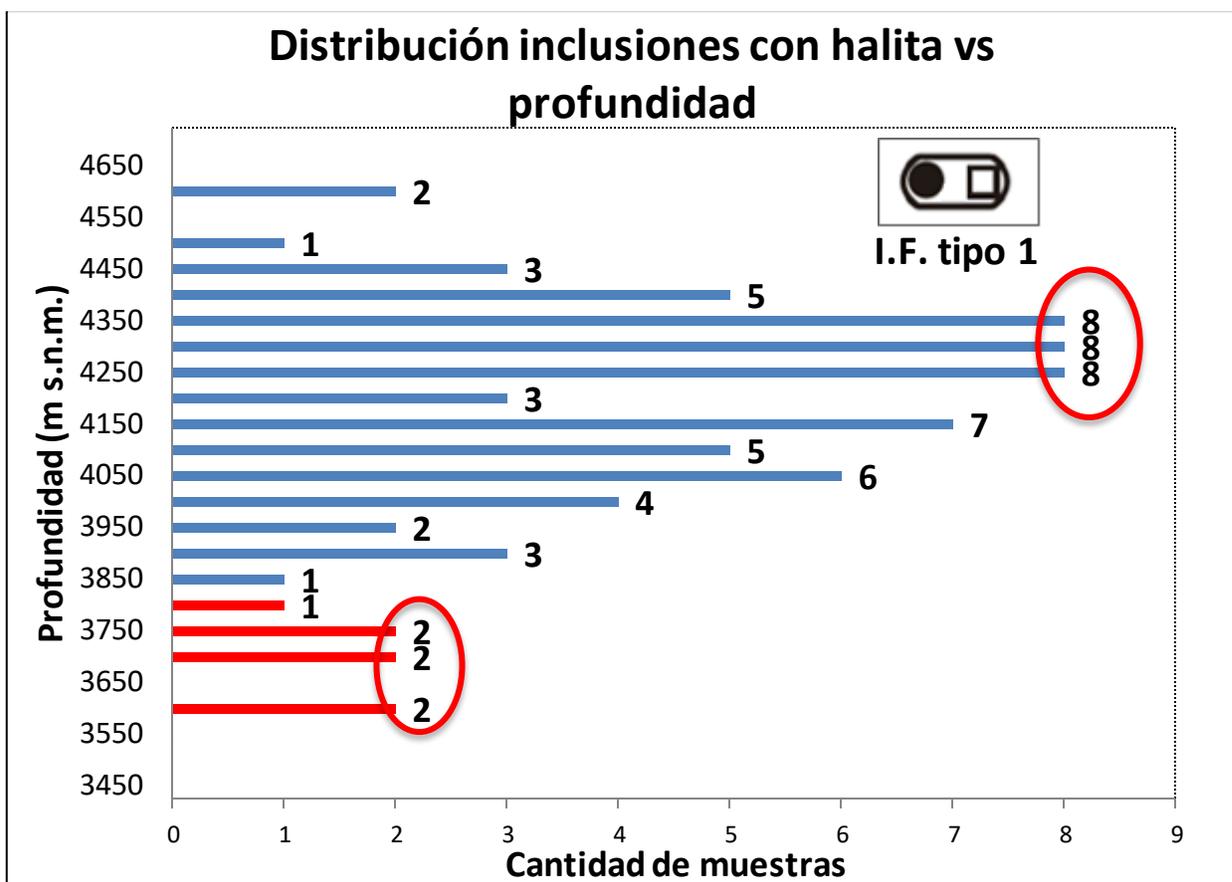


Figura 5.4 Relación de las inclusiones con precipitación de halita, de alta salinidad (tipo 1), con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destacan en óvalos rojos dos sectores donde abundan estas inclusiones considerando el patrón de distribución y la cantidad de muestra en cada sector. Esto indica zona alta y zona profunda con saturación de salinidad. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

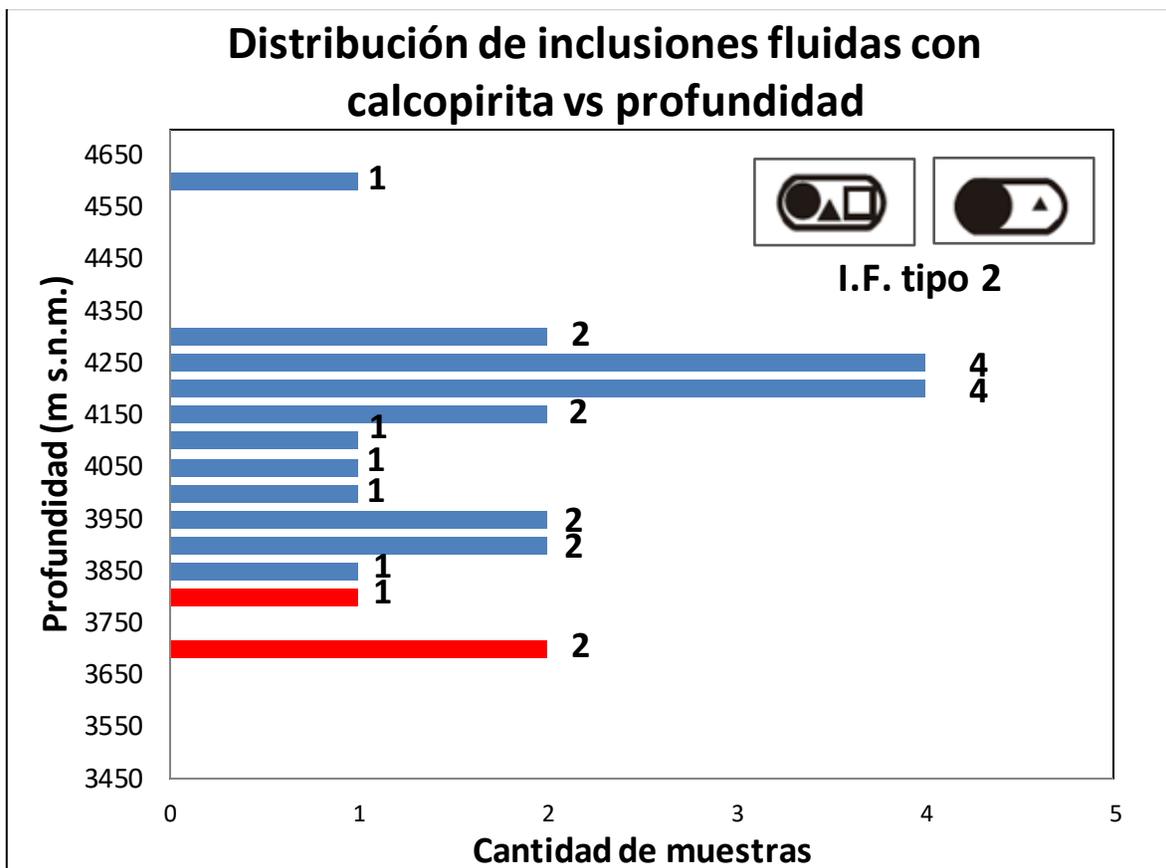


Figura 5.5 Relación de las inclusiones con calcopirita precipitada del fluido atrapado (tipo 2) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destaca un intervalo sobre los 4.300 m s.n.m. sin presencia, concentrándose principalmente entre los 4,300 y 3800, como la toma de muestra. Presencia en sector profundo y no somero. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

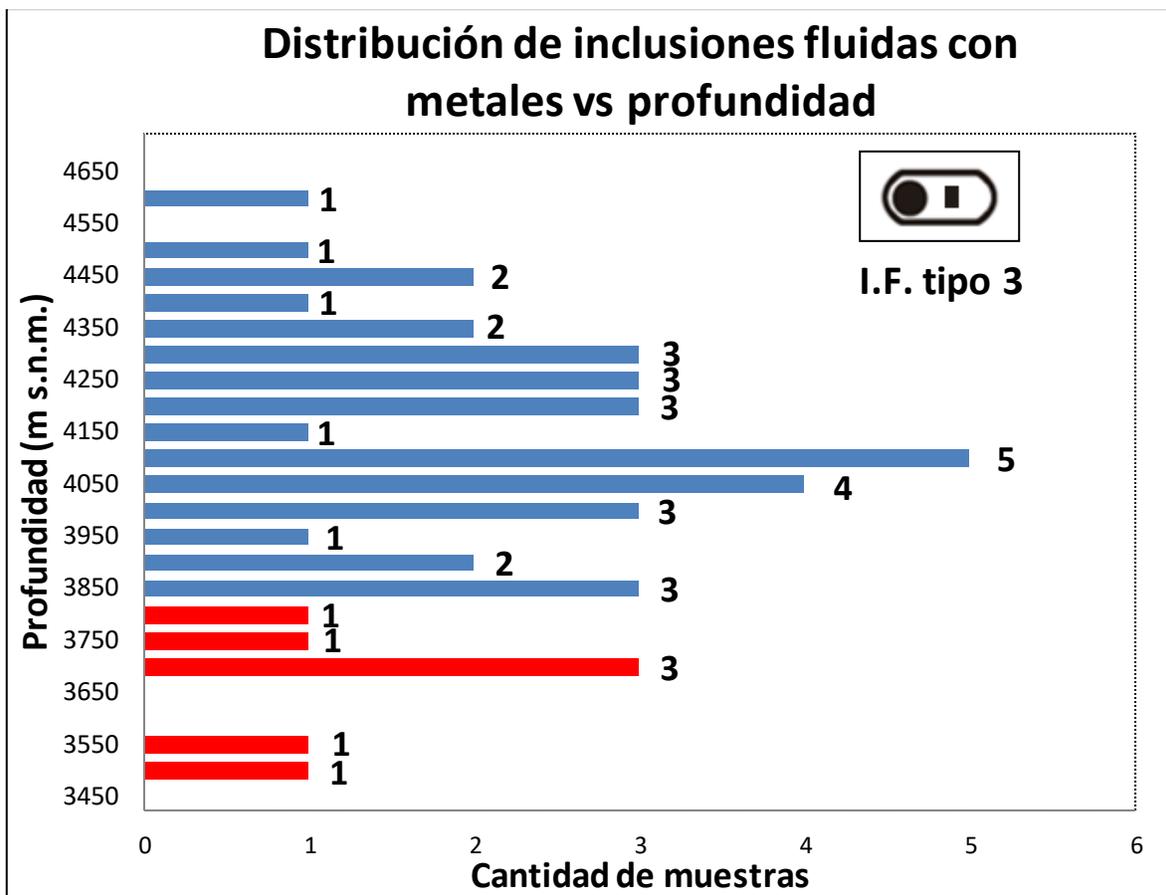


Figura 5.6 Relación de las inclusiones ricas en líquido con atrapamiento o precipitación de metales (tipo 3) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Distribución casi continua y de abundancia proporcional a la distribución de la toma de muestras, en toda la vertical. Intervalo entre los 3700 y 3550 sin presencia de esta inclusión. Saturación de metales en zona bien profunda (3,500 m s.n.m.). Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

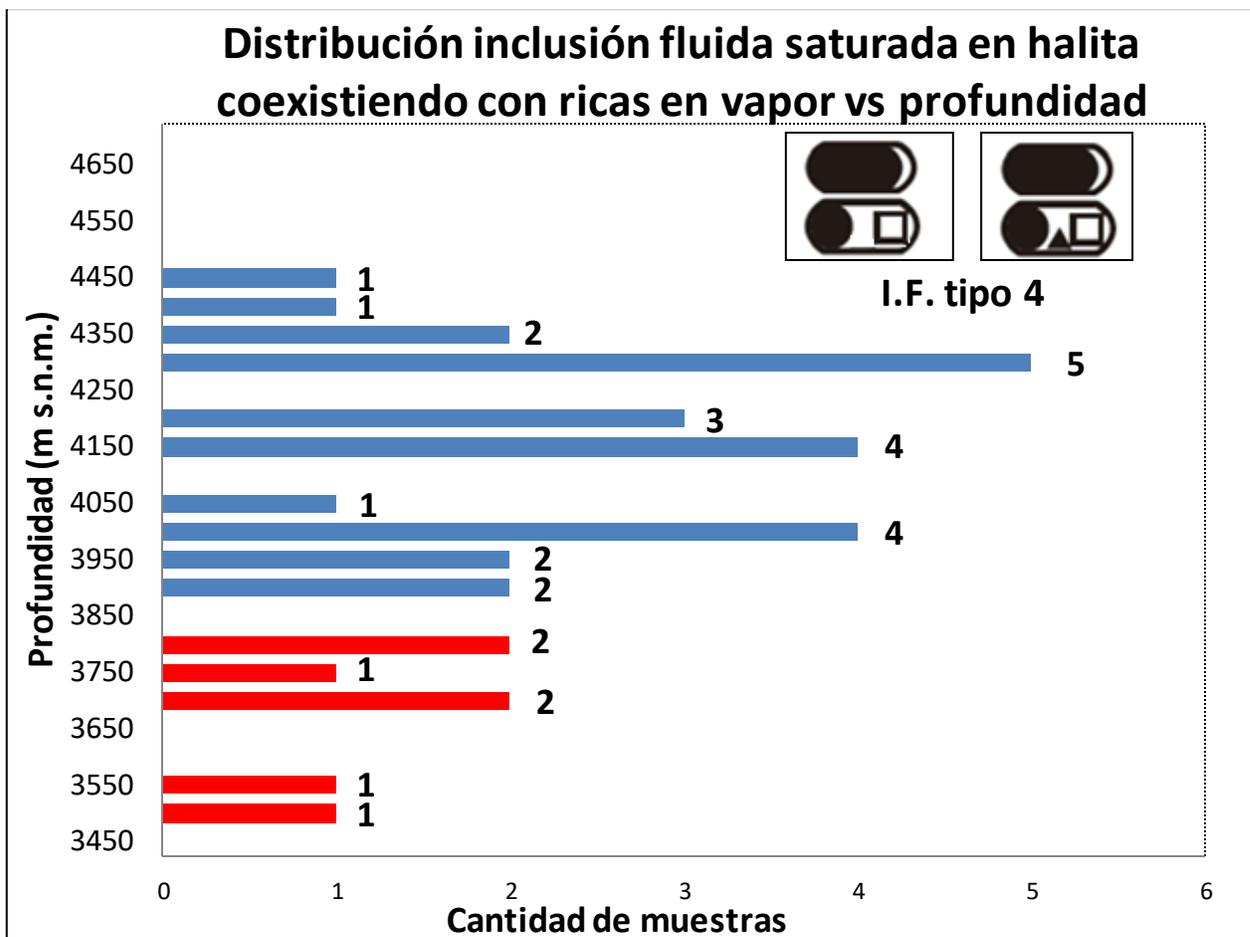


Figura 5.7 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones saturadas en halita y ricas en vapor (tipo 4) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Se destaca la presencia de estas inclusiones en profundidad a pesar de que la cantidad de muestras en esos niveles es pequeña, indicando separación de fase y formación de salmueras con concentraciones de elementos en profundidad, sin embargo existe un intervalo donde aquello no ocurre: 3,700 – 3,550 m s.n.m. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

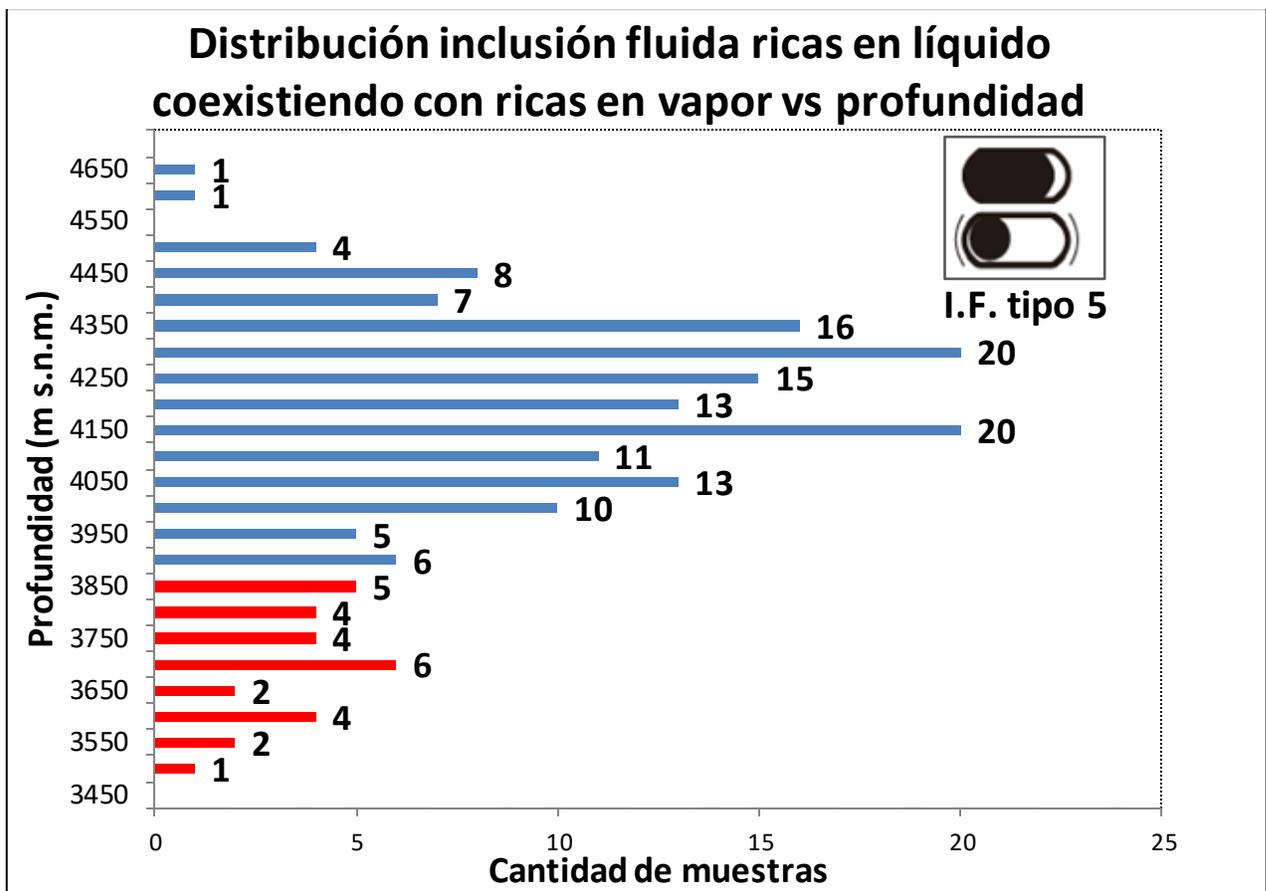


Figura 5.8 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 5) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Muy abundante en el área estudiada y distribuye similar a la toma de muestra, presentándose en casi todas, hallándose esta coexistencia de fases distribuida en toda la vertical, incluso en los intervalos 3,700 – 3,550 m s.n.m. Sector profundo ilustrado por las barras color rojo.

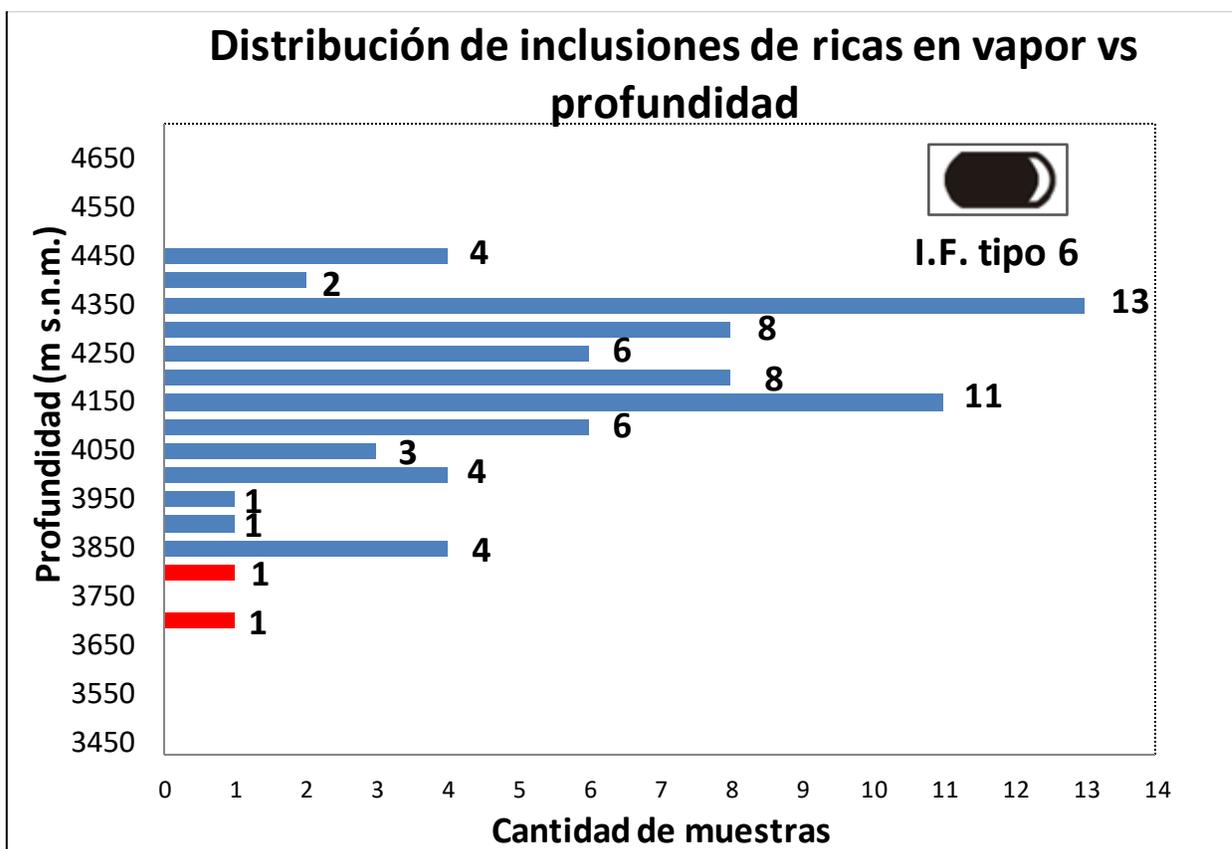


Figura 5.9 Relación de las muestras con coexistencia de inclusiones ricas en vapor (tipo 6) con respecto a la profundidad (m s.n.m.). No presentes en la parte somera sobre los 4,450 ni bajo los 3,700 m s.n.m. Esto resalta la coexistencia de fases ilustrada en profundidad de las figuras 5.6, 5.7 y 5.8. Esto indica que la zona de transición entre profundo y centro-somero, 3,700-3,800 m s.n.m. del sistema, se halla caracterizada por abundante presencia de inclusiones ricas en vapor.

5.2.2 Tipos de vetillas versus profundidad

Continuando con la misma forma de trabajo para tener la misma base comparativa de todos los resultados se presenta a continuación la dispersión de los tipos de vetilla con respecto a la profundidad, figuras 5.10 a la 5.17. Un gráfico de dispersión global visualizados en conjunto se encuentran en el Anexo C, ilustración C.1.

De estos gráficos podemos destacar intervalos, zona de profundidad, caracterizadas por la presencia o ausencia de algún tipo de vetilla, a saber: las vetillas tipo A se presentan preferencialmente 200 metros bajo la superficie abarcando un área de 300 metros aproximadamente (4,450 – 4,150 m s.n.m.) para luego presentar unos 300 metros más en profundidad, otro pequeño evento de vetillo tipo A, estas dos posibles zonas de profundidad, uno somero y uno profundo (barra roja figura 5.10), pueden estar indicando dos eventos diferentes de temporalidad temprana en el desarrollo de pórfidos cupríferos producidos a distintas profundidades.

Se puede observar en las vetillas tipo B, que son más abundantes que las vetillas tipo A, una distribución más homogénea en la vertical pero que puede ser agrupada también en dos zonas principales, una más superficial y una más profunda que son separadas por un nivel que ronda en los 3,950 – 3,800 m s.n.m. Esta distribución de zonas superficial y profunda puede ser visualizada

también en las vetillas tipo C, E y de alteración, mientras que las vetillas tipo D se distribuyen y están presentes principalmente en la zona somera a media superficialidad, al igual que las vetillas entrecruzadas. Las vetillas TES son pocas y están presentes solo en la parte superficial.

En los gráficos estas zonas, somera y profunda, son marcadas mediante barras de color azul y color rojo respectivamente.

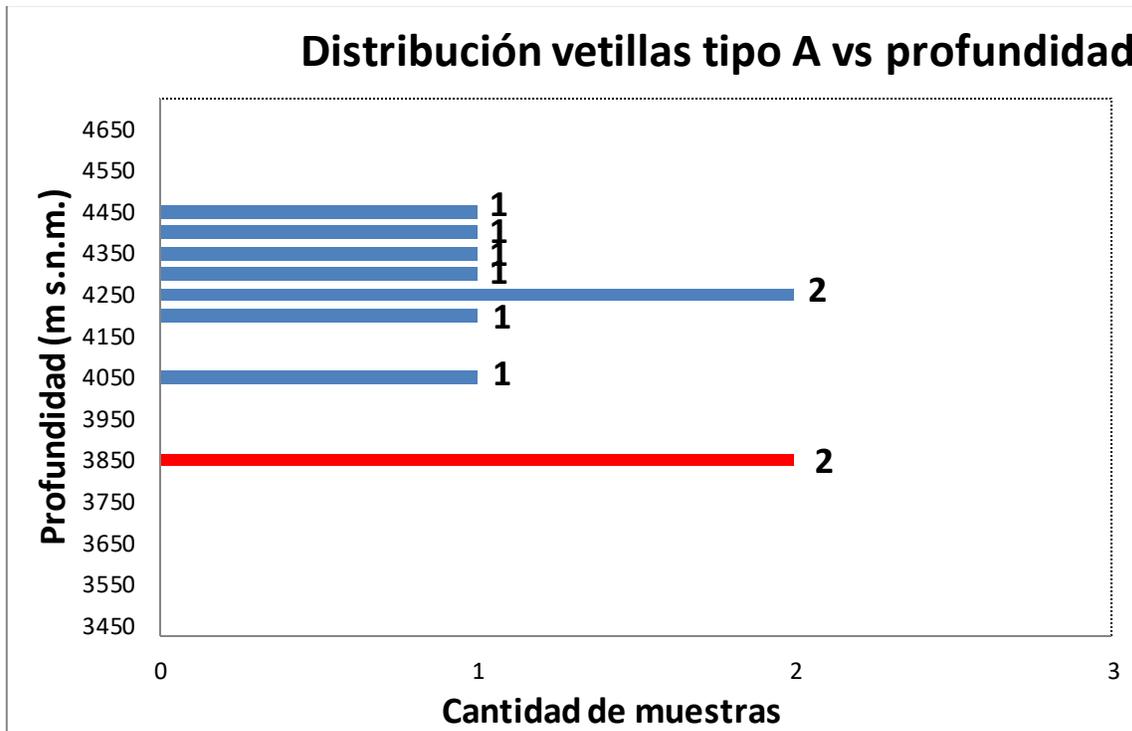


Figura 5.10 Relación de las vetillas tipo A con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasa abundancia de vetilla temprana tipo A el sector profundo ilustrado por la barras color rojo ubicada a 3,850 m s.n.m. Zona de no presencia bajo este nivel y sobre él entre los 3,850 y 4,050 m s.n.m.

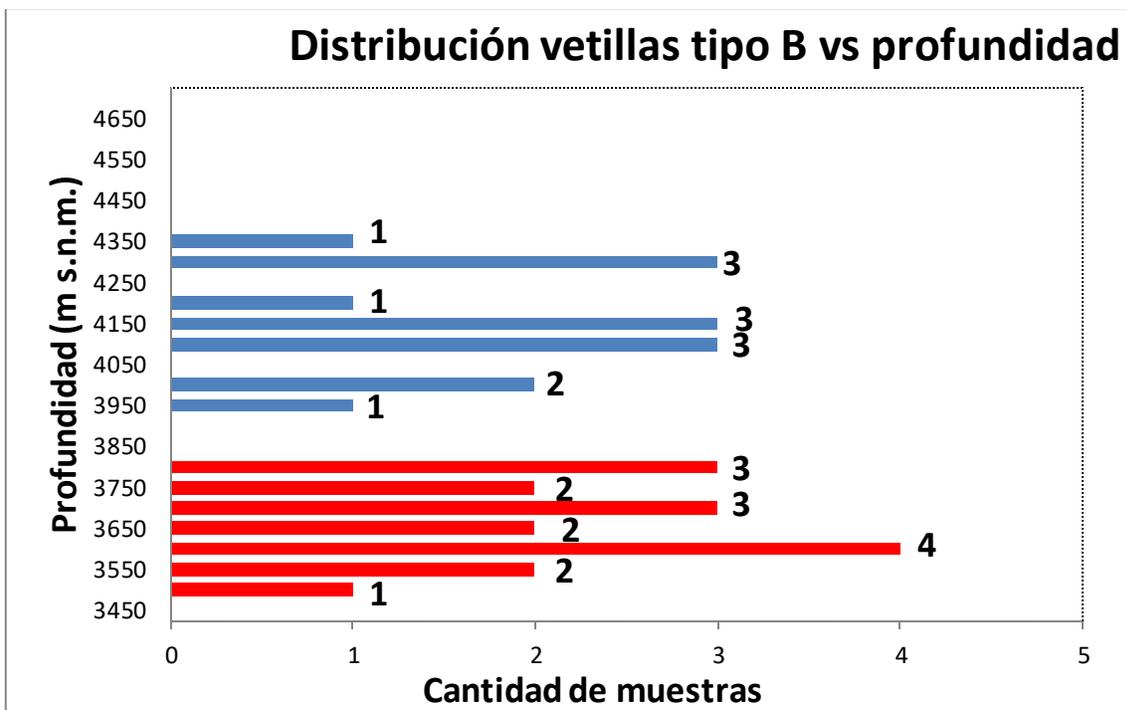


Figura 5.11 Relación de las vetillas tipo B con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Alta abundancia en el sector profundo ilustrado por las barras color rojo. Zona de no presencia en esta continuidad entre los 3,950 y 3,800 m s.n.m.

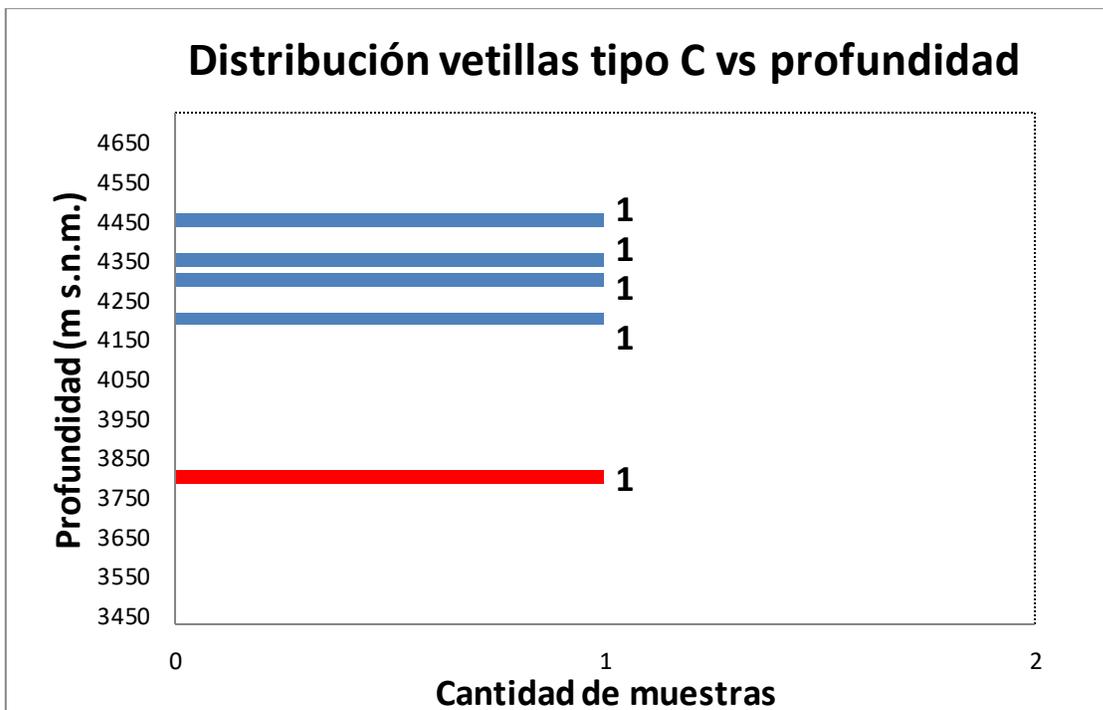


Figura 5.12 Relación de las vetillas tipo C con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasa abundancia de vetilla intermedia tipo C en la muestras tomadas, y más aún en el sector profundo ilustrado por la barras color rojo ubicada a 3,800 m s.n.m.. Zona de no presencia bajo este nivel y sobre él entre los 3,800 y 4,100 m s.n.m.

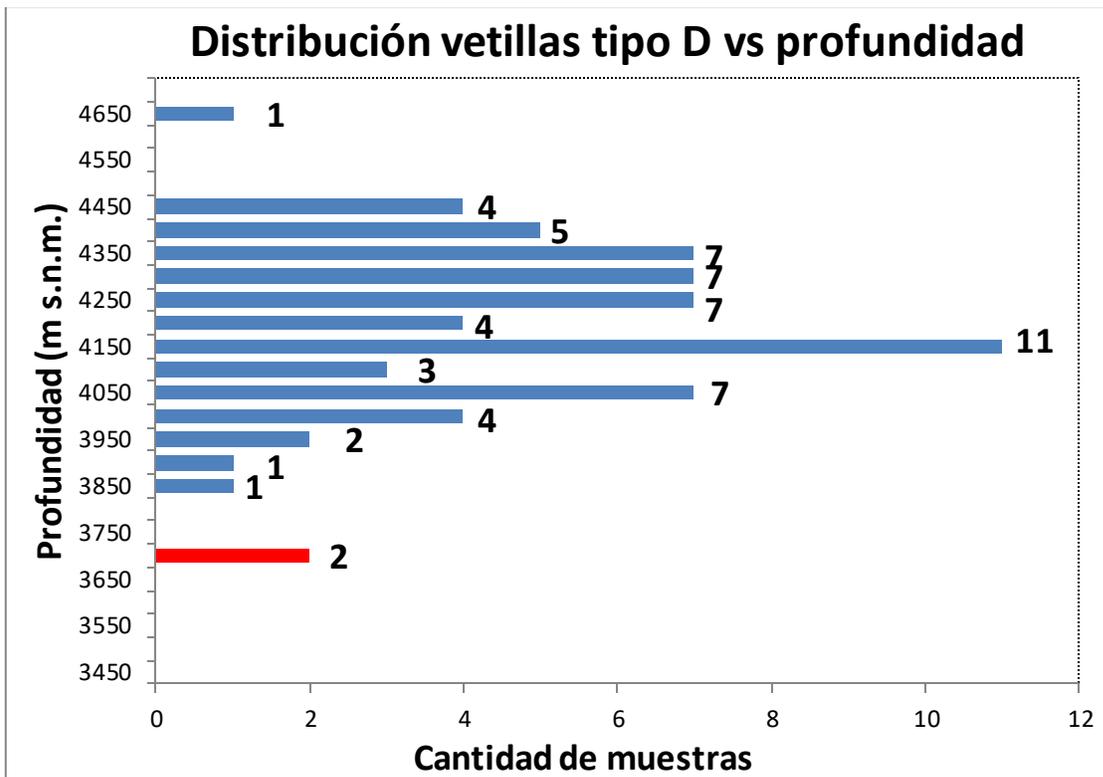


Figura 5.13 Relación de las vetillas tipo D con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Relativamente abundante en el área de estudio, distribuyendo levemente similar a la toma de muestra. Se destaca su concentración en la parte somera-central del sector, siendo escasa a nivel profundo, bajo los 3,800 m s.n.m. Hallándose 2 a una profundidad de 3,700. Existe un intervalo entre las muestras profunda y las otras sin vetillas tipo D. Esto es entre los 3,850 y 3,700.

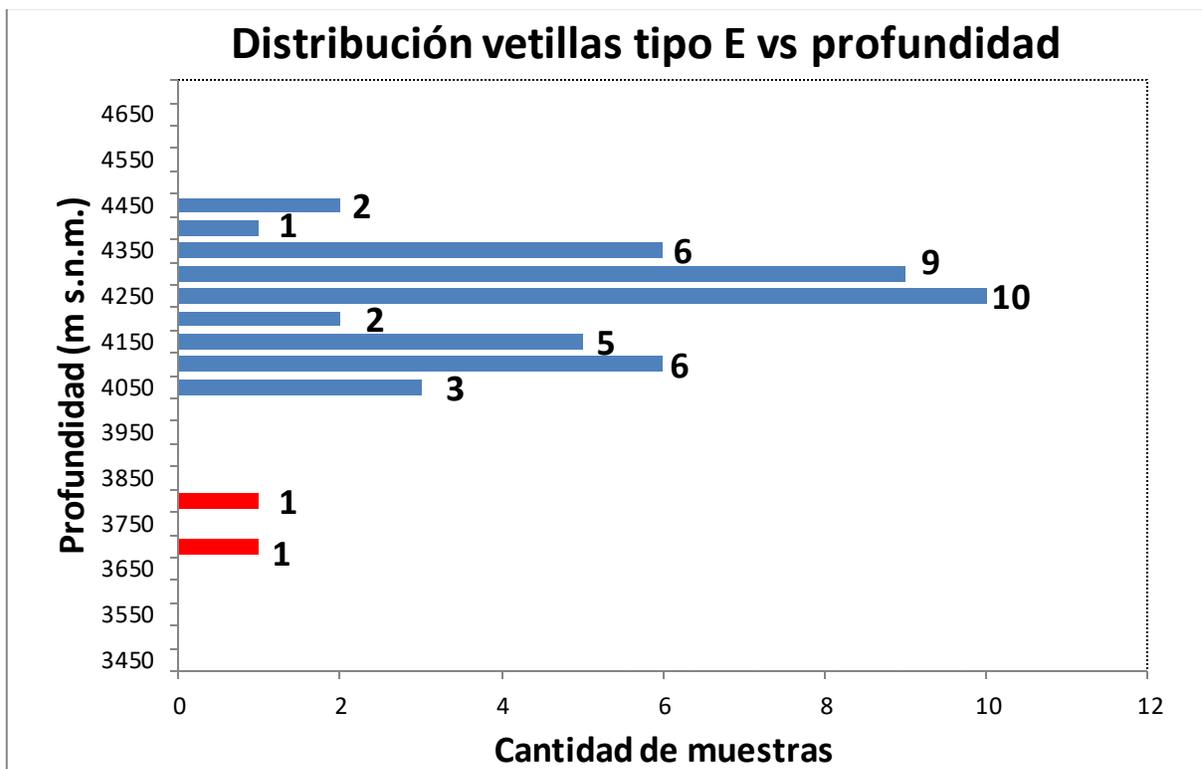


Figura 5.14 Relación de las vetillas tipo E con respecto a la profundidad (m s.n.m.). No es muy escasa ni muy abundante comparada con los otros tipos de vetillas. Se concentra entre las profundidades de 4,450 y 4,050 m s.n.m. Existen discretamente en profundidad 2 muestras, a los 3,800 y a los 3,700 m s.n.m.

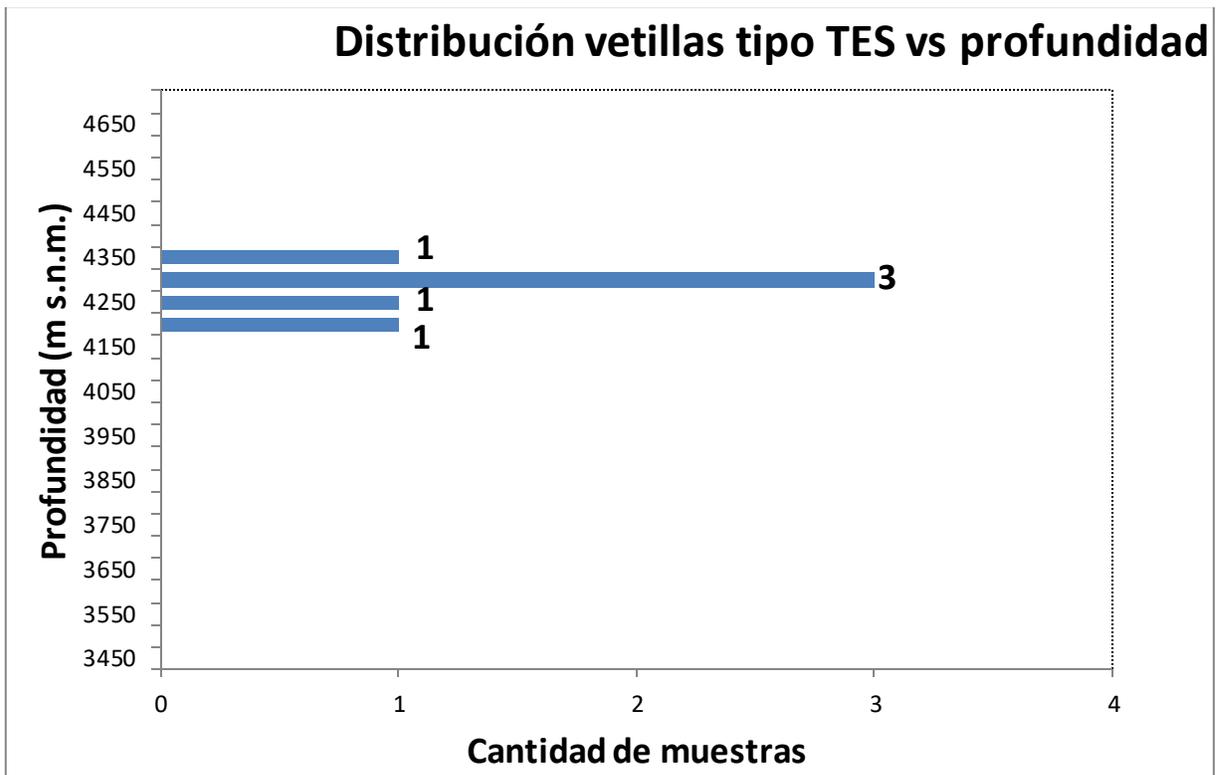


Figura 5.15 Relación de las vetillas tipo TES con respecto a la profundidad (m s.n.m.). Escasas y muy concentradas, hallándose solo 6 muestras con este tipo de vetillas entre los 4,350 y 4,200 m s.n.m. Indicando la no presencia a nivel central o profundo.

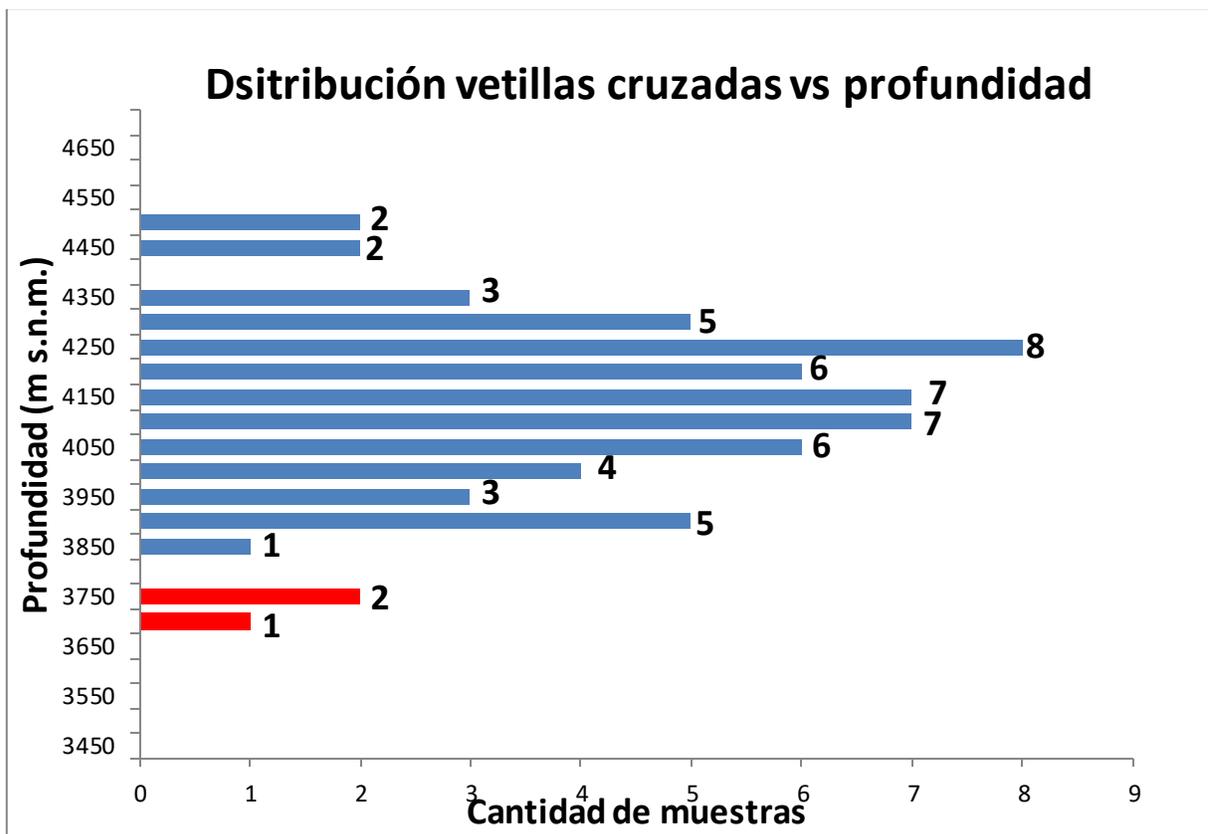


Figura 5.16 Relación de muestras con cruzamiento, sobreimposición, de vetillas en función a la profundidad (m s.n.m.). Abundancia considerable de muestras con más de un tipo de vetilla, sin embargo esto es sobre los 3,850 m s.n.m. Bajo este nivel, ya en el sector profundo, no abundan, indicando el predominio de muestras con un solo tipo de vetilla.

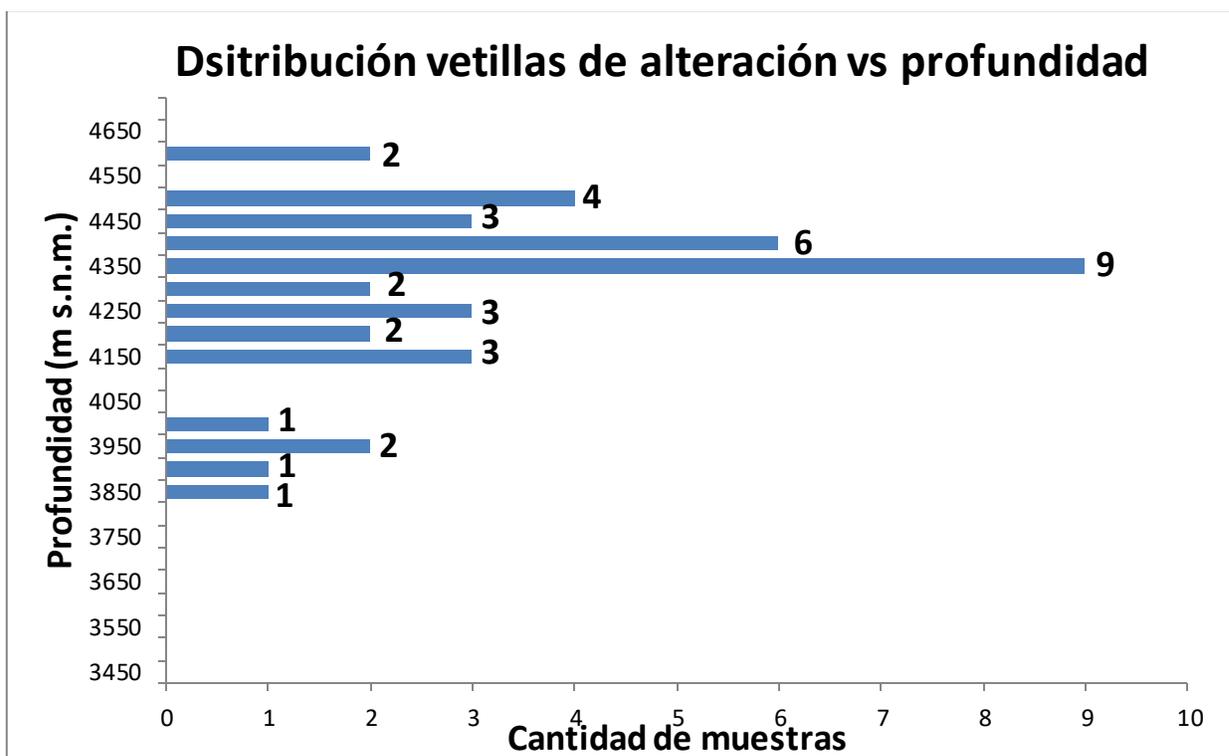


Figura 5.17 Relación de las muestras que presentan solo alteración, por ejemplo: vetilla de cuarzo hidrotermal con leve precipitación de pirita o calcopirita, o rocas con vetillas representantes de una alteración, por ejemplo: propilítica, distribuidas en función a la profundidad (m s.n.m.). Puede agruparse en 2 intervalos principales: 4,500-4,150 m s.n.m., nivel superficial, 4,000-4850 m s.n.m., nivel central. Sin muestras a nivel profundo.

La tabla 5.1 muestra la cantidad de cada tipo de vetillas del total de las 265 muestras, donde notamos la dominante abundancia de vetillas D y cruzadas (combinadas). A su vez podemos ver que esta abundancia de vetillas tiene un control sobre los 3,900 m s.n.m., zona somera, mostrado por la frecuencia de distribución global de las vetillas tipo B, D, E y cruzadas. También se puede apreciar que a valores más profundos, se reduce la variación de las vetillas presentes y domina principalmente la tipo B.

Tabla 5.1 Cantidad de muestras que presentan un tipo de vetilla descritas.

	Vetilla A	Vetilla B	Vetilla C	Vetilla D	Vetilla E	Vetilla TES	Vetilla entrecruzada	Vetilla alteración
Cantidad	10	31	5	66	46	6	62	39

5.2.3 Índice Probabilidad Pórfido Cuprífero (IPPC) vs Profundidad

De la figura 5.18 se puede destacar una correlación entre la relación profundidad – IPPC, que vendría siendo que a niveles más someros, menos profundos, los valores son dominados por los más bajos, y es posible hallar en las muestras a mayores profundidad valores de 5 en adelante de

IPPC, sin embargo no hay una clara tendencia de si a medida se profundiza aumenta el valor o se mantiene el nivel de probabilidad de hallar un pórfido cuprífero con mineralización económica.

Si vemos la frecuencia por separado de estos valores en la totalidad de las muestras se pueden apreciar 3 dominios importantes de intervalos de valor, lo que se ve representado por el Histograma IPPC en la figura 5.19, dándonos a conocer que en las muestras estudiadas dominan los valores entre 4 y 8.

Una curiosa observación podría venir dada por el hecho de que los valores extremos, tanto bajos como altos, de IPPC suelen estar distribuidas a profundidades medias, cerca de los 4,000 m s.n.m. dando la posibilidad de cuestionar que rol juega la importancia en la variación lateral (horizontal, ejes X e Y en sistema cartesiano) y no en la vertical (eje Z en sistema cartesiano).

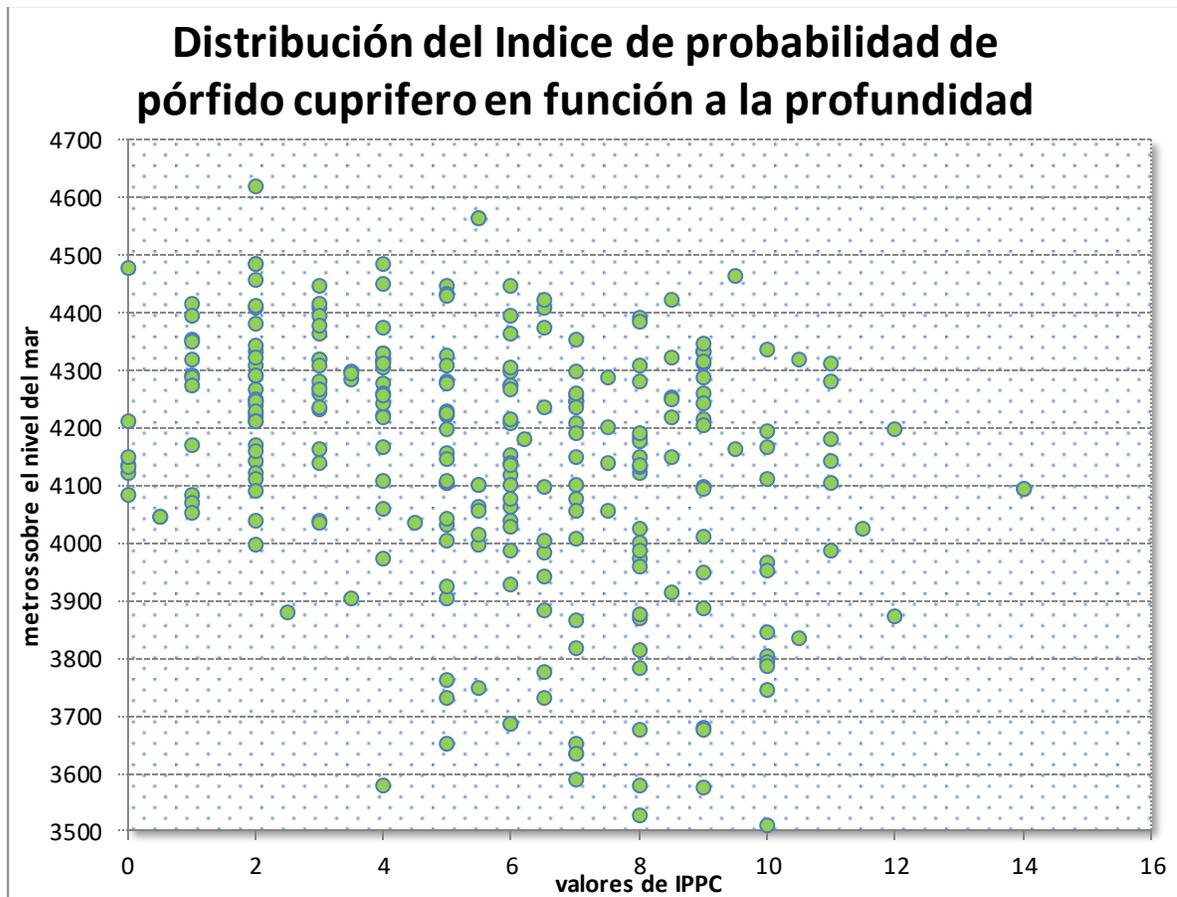


Figura 5.18 Dispersión de todos los datos sobre los valores de IPPC y su relación con la profundidad. No hay valores mayores a 14.

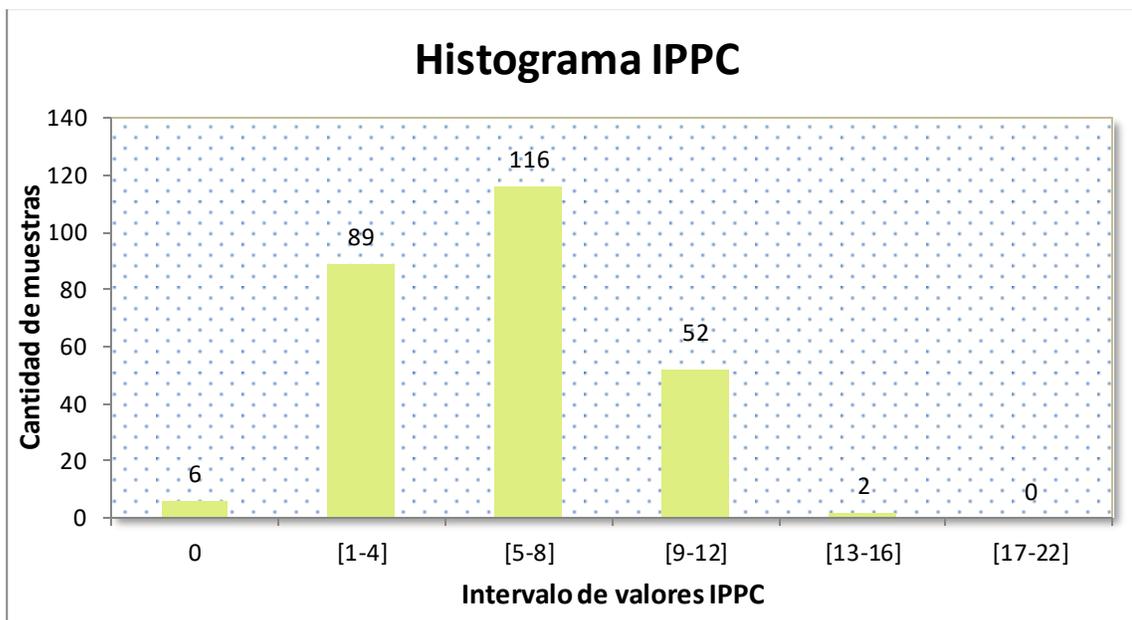


Figura 5.19 Dada la dificultad de encontrar patrones en la dispersión se busca algún patrón entre cantidad de muestras la frecuencia de valores de IPPC. Obteniendo 3 intervalos de valores IPPC que entre ellos engloban casi la totalidad de las muestras.

Dada la agrupación casi total de las muestras en solo tres intervalos de valor de IPPC, como se observa en la figura 5.19, se pretende buscar por tanto alguna diferenciación importante dentro de estos tres conjuntos, en otras palabras, algo que diferencie específicamente cada intervalo de valor, por lo que se opta por realizar una visualización de los tipos de vetillas en cada uno de estos intervalos para ver si existe alguna característica particular.

5.3 Análisis combinando parámetro específico u observaciones previas

5.3.1 Tipos de vetillas en función a los intervalos de IPPC

Se generó una Tabla con el objetivo de contabilizar la cantidad de repetición de un tipo de vetilla presentes en la muestra asociadas a los intervalos de valor IPPC, expuestos principalmente en la figura 5.19. Esta tabla se puede consultar en el Anexo E.

Con la ayuda de dicha tabla se presenta gráficamente lo obtenido en la figura 5.20 como un gráfico de barra que asemeja un histograma, donde se puede apreciar que a valores de IPPC mayores de 8, dominan las vetillas tipo B, D y las combinadas. Estas últimas dominan principalmente porque la combinación viene dada usualmente por entrecruzamiento de vetillas tipo B y D (vetilla cruzada tipo B-D). Las vetillas tipo A están presente en igual medida para los 3 intervalos dominantes de los valores IPPC, convirtiéndolas en una característica independiente del valor IPPC.

Las vetillas tardías tipo TES (tenantita-enargita-stage) están mostrando ser sinónimo de baja probabilidad de pórvido cuprífero en el sector donde están estas presentes, mientras que las E, son un indicador de una zona con intermedia probabilidad de pórvido cuprífero, sin embargo las vetillas tipo D y principalmente tipo B, indican zona de buena probabilidad para hallar un pórvido cuprífero ricamente mineralizado, concordando con los postulados de que las vetillas tipo B

inicial la principal depositación de cobre y las vetillas tipo D su retrabajo y/o removilización del cobre preexistente, y no el agregar nueva masa cuprífera.

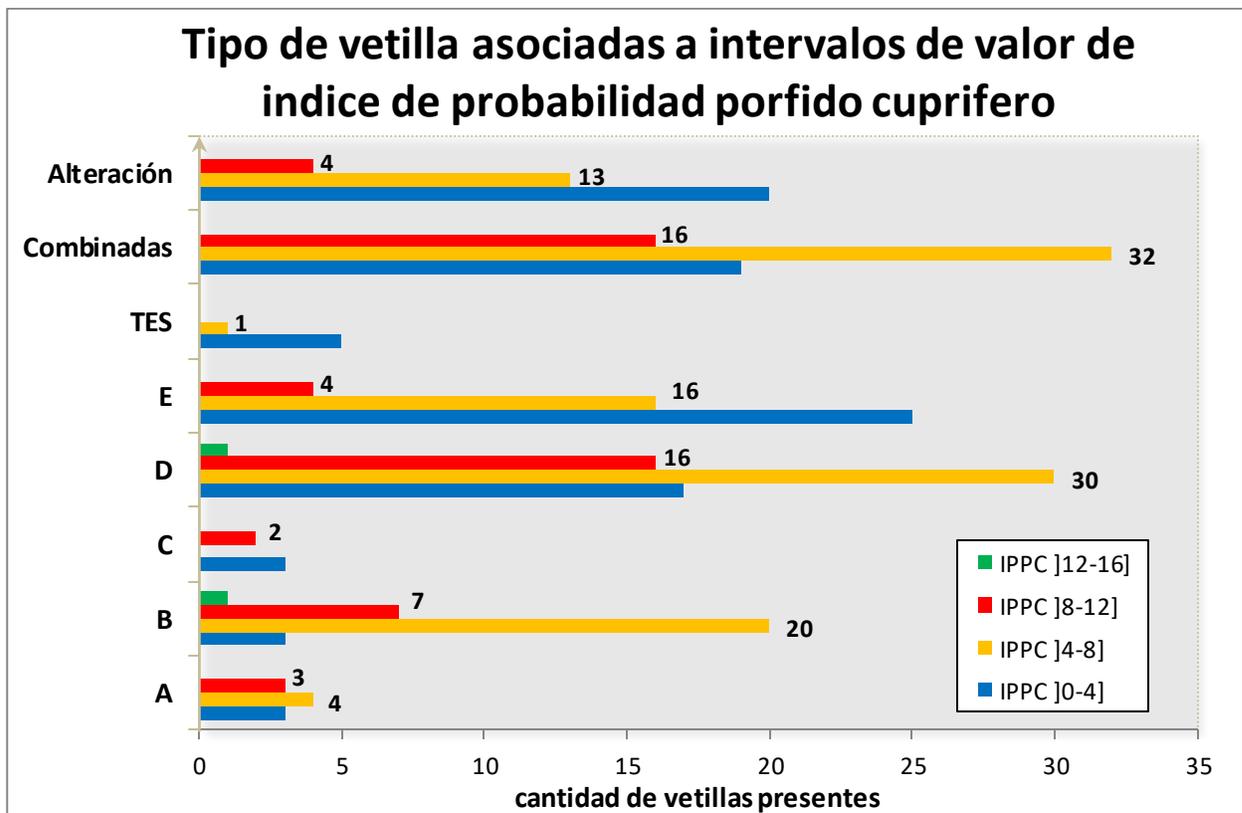


Figura 5.20 Representación gráfica del tipo y cantidad de vetillas presente en cada intervalos de valores IPPC. Se puede apreciar como solo las vetillas tipo B y tipo D se presentan en los valores más altos de índice de probabilidad de pórfido cuprífero, a su vez, predominan en los valores entre 8 y 12.

5.3.2 Esquemática representación espacio-temporal de tipos de vetillas e inclusiones fluidas.

Considerando los conocimientos temporales que se tienen de los tipos de vetillas que se presentan en los yacimientos tipo pórfido en función a su relación con la formación de estos y ya habiéndose observado como cada una de estas se distribuyen en la vertical, se plantea ver como se presentan y distribuyen las inclusiones fluidas en los tipos de vetillas. Se trabajara con muestras que presenten un solo tipos de vetillas y tengan como mínimo las siguientes inclusiones fluidas: I.F. ricas en halita (tipo 1, Autor), I.F. con calcopirita (tipo 3, Autor), inclusiones que representan coexistencia de fase (tipo 5 y tipo 4, Autor) y, de manera más específica, vetillas con presencia con más de una de ellas. Considerando trabajar solo con muestras que presentan un tipo de vetilla, y no vetillas entrecruzadas y haciendo uso de las figuras 5.11 y 5.13 que resaltan el predominio de las vetillas tipo B y tipo D en el área de estudio, el análisis se realizará considerando las inclusiones fluidas antes nombradas en muestras que tienen vetillas tipo B o D. Para ello se confecciona la tabla 5.2, donde podemos notar cuantas muestras tienen individualmente estas vetillas, y cuantas muestras de ellas presentan el tipo de inclusión o la combinación de inclusiones fluidas.

Tabla 5.2 Conteo de muestras según el tipo de vetilla presente y la/las inclusiones fluidas que se observan en ellas.

Tipo de vetilla	Cantidad de muestras (#)	# con I.F. tipo 4	# con I.F. tipo 5	# con I.F. tipo 3 y 5	# con I.F. tipo 4 y 5
B	31	5	27	4	5
D	66	10	41	11	8
Total	97	15	68	15	13

En base a esta tabla se confeccionan los gráficos presentados en la figura 5.21, donde se observa la presencia de inclusiones de coexistencia de fases ya sea ricas en halita con vapor o ricas en líquido con vapor (tipo 4 o 5 respectivamente, Autor). Y en la figura 5.22 se tienen la distribución de las vetillas tipo B y D que presentan tanto I.F. tipo 4 y 5, y vetillas B y D que presentan I.F. rica con precipitación de calcopirita (tipo 3, autor) junto con I.F. que evidencian ebullición (tipo 5, Autor). Con estas dos figuras se puede generar una idea sobre la temporalidad evolutiva de los fluidos. Si recordamos que las vetillas B se desarrollan primero que las vetillas tipo D, es esperable una superposición de estas últimas en los lugares donde se presenten las vetillas tipo B, o que las vetillas tipo D se hallen a niveles más superficiales con respecto a las vetillas tipo B como sucesión de ascenso del proceso temporal que genera la secuencia de vetillos del pórfido. En ambas figuras (5.21 y 5.22) se aprecia como la zona profunda, bajo los 3,800 m s.n.m., se caracteriza por las vetillas tipo B, como se indicaba en la figura 5.11, pero que a su vez estas ilustran eventos de coexistencias de fases tanto fase gaseosa coexistiendo con fase líquida, salmuera o fluidos saturados en calcopirita. Estas mismas condiciones se tienen sobre los 3,800 m s.n.m. pero esta vez también con la presencia de vetillas tipo D que sufrieron procesos y condiciones similares. Como no se tiene un estudio detallado sobre la composición del fluido que está presente en las cada vetilla, no se puede hablar de fluidos diferentes entre una muestra y otra. Solo se puede establecer que dichas condiciones está presente en dos etapas de la formación del pórfido cuprífero (etapas intermedias representadas por las vetillas tipo B y etapas tardías representado por las vetillas tipo D).

Al plantear las siguientes preguntas: Si los fluidos que tomaron lugar bajo los 3,800 originan son los que ascienden, evolucionan y están presentes en las vetillas tipo D; ¿por qué se tienen vetillas tipo B en la zona superior? O si las vetillas tipo D se desarrollan en el mismo sector a partir del mismo fluido que evoluciona y está presente en las vetillas tipo B (haciendo énfasis a la zona sobre los 3,800 m s.n.m.) ¿Por qué se tienen estas condiciones en los fluidos en vetillas tipo B en profundidad?. Se nota que más información hace falta para hilar de manera más rigurosa la evolución temporal del fluido, pero si o si se puede hablar de eventos diferentes y no se es ilógico pensar que la zona bajo los 3,800 es o un evento más joven o un evento más tardío, pero al ser un evento más tardío se estaría indicando que las vetillas tipo B de la zona alta son más joven y no parece lógico. El error de dicha lógica radica en que se necesitaría un fluido que genere una superposición de eventos en dicha área (zona alta), pero que no haya generado ninguna modificación en la zona profunda. Pero si se consideran las vetillas tipo B profunda más jóvenes, es aceptable que abunden vetillas tipo D en la zona alta, y si o si significaría que existen vetillas D de diferentes temporalidades. Esto respaldaría por qué hay 1 a 2 de estas muestras bajo 3,800.

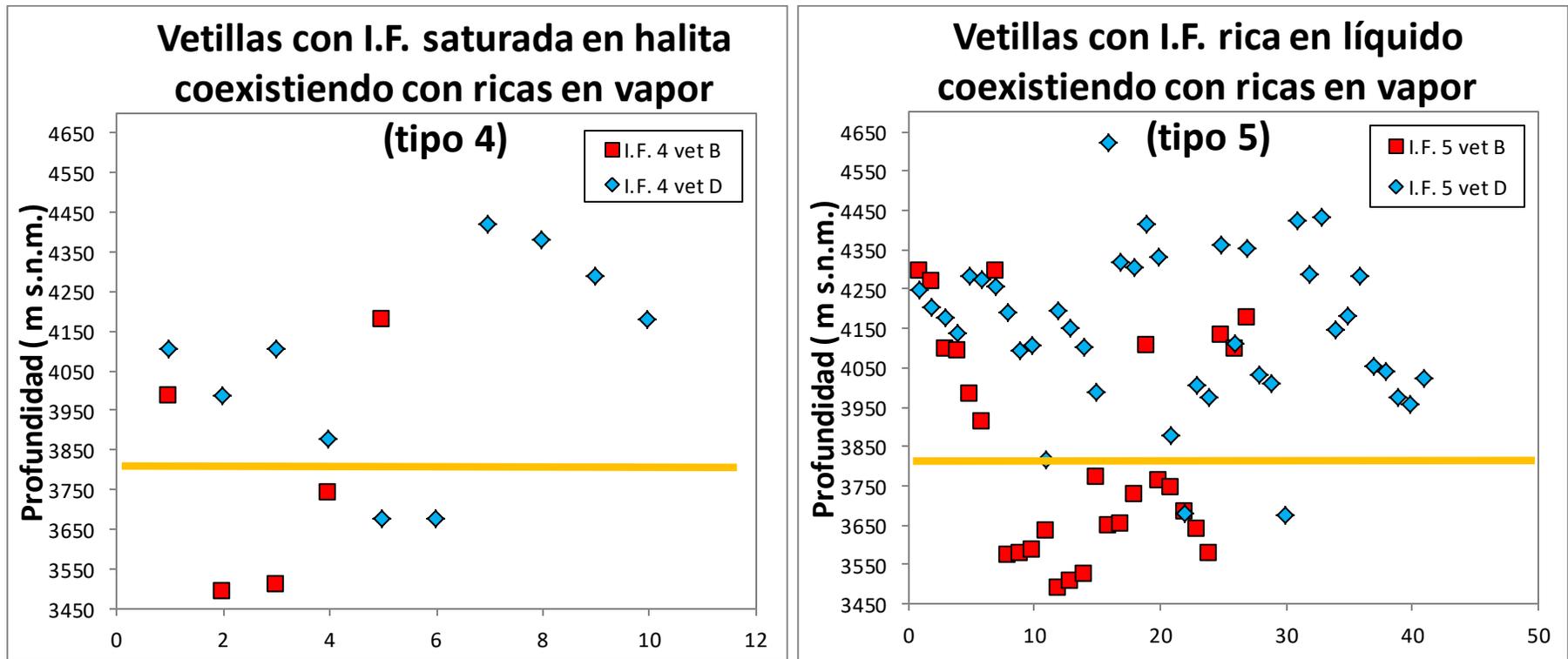


Figura 5.21 Distribución vertical de la presencia de inclusiones que indican separación de fase y coexistencia. Grafica izquierda coexiste salmuera y vapor, grafica derecha, fase liquido con vapor. Segmento amarillo indica separación de nivel profundo y nivel somero.

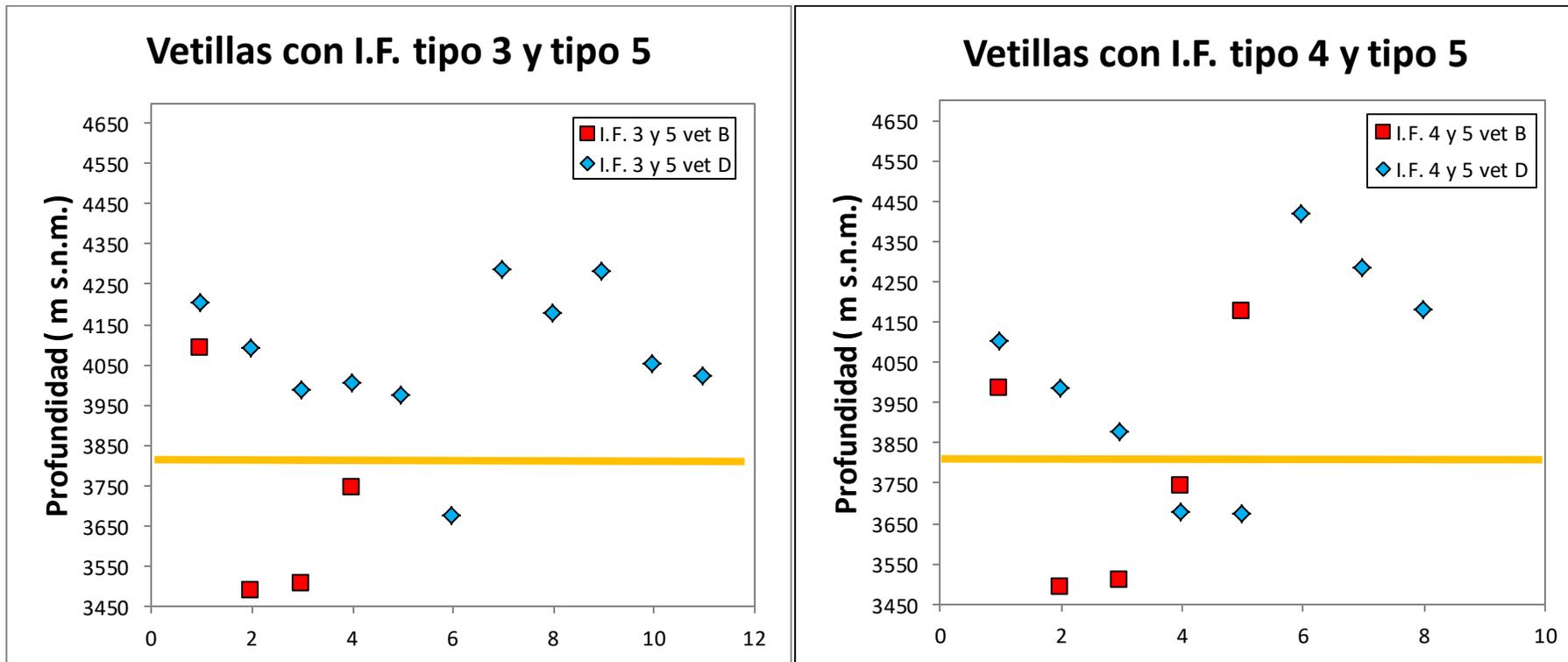


Figura 5.22 Presencia de inclusiones fluidas que evidencian separación de fases. En la gráfica izquierda se tiene una fase que está saturada en calcopirita representada por la presencia de I.F. tipo 3, junto con presencia de ebullición. En la gráfica derecha se tiene presencia de dos ebulliciones distintas, una originada en salmuera, representado por I.F. tipo 4 y otra simplemente fase líquida coexistiendo con fase vapor (tipo 5). Segmento amarillo indica separación de nivel profundo y nivel somero.

5.3.3 Distribución espacial de las observaciones previas vistas en perfiles geológicos.

Con algunos perfiles realizados por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, se confeccionan perfiles esquemáticos representativos con los cuales se pretende ilustrar como se encuentran ubicadas las inclusiones fluidas u otras observaciones realizadas con respecto a la litología, en particular su relación con respecto a la zona del pórfido Rosario y las estructuras mapeadas y presentada en los perfiles.

En primer lugar tenemos la figura 5.23 que indica con una vista en planta como se distribuyen los sondeos muestreados en esta investigación y la ubicación espacial de los perfiles verticales AA' y BB' del área.

Recalamos que en el perfil AA' pasan sobre el los sondeos C167, DDH110, DDH262 y DDH502, pero se le proyecta además los sondeos DDHR222 y DDHR241. Se consideran estos sondeos porque se encuentran en la dirección en la cual entre los dos perfiles se podría estar dando la continuidad litológica del pórfido Rosario.

En el caso del perfil BB' solo pasa sobre el sondeo DDHR097, y se le proyectan los datos de los sondeos DDHR130, DDHR229 y DDHR234, considerados estos por la cercanía con la zona de pórfido Rosario que presenta el perfil, siendo por tanto sondeos que pueden presentar continuidad litológica. Esta dirección de continuidad mencionada se ve ilustrada por una flecha en la figura 5.23.

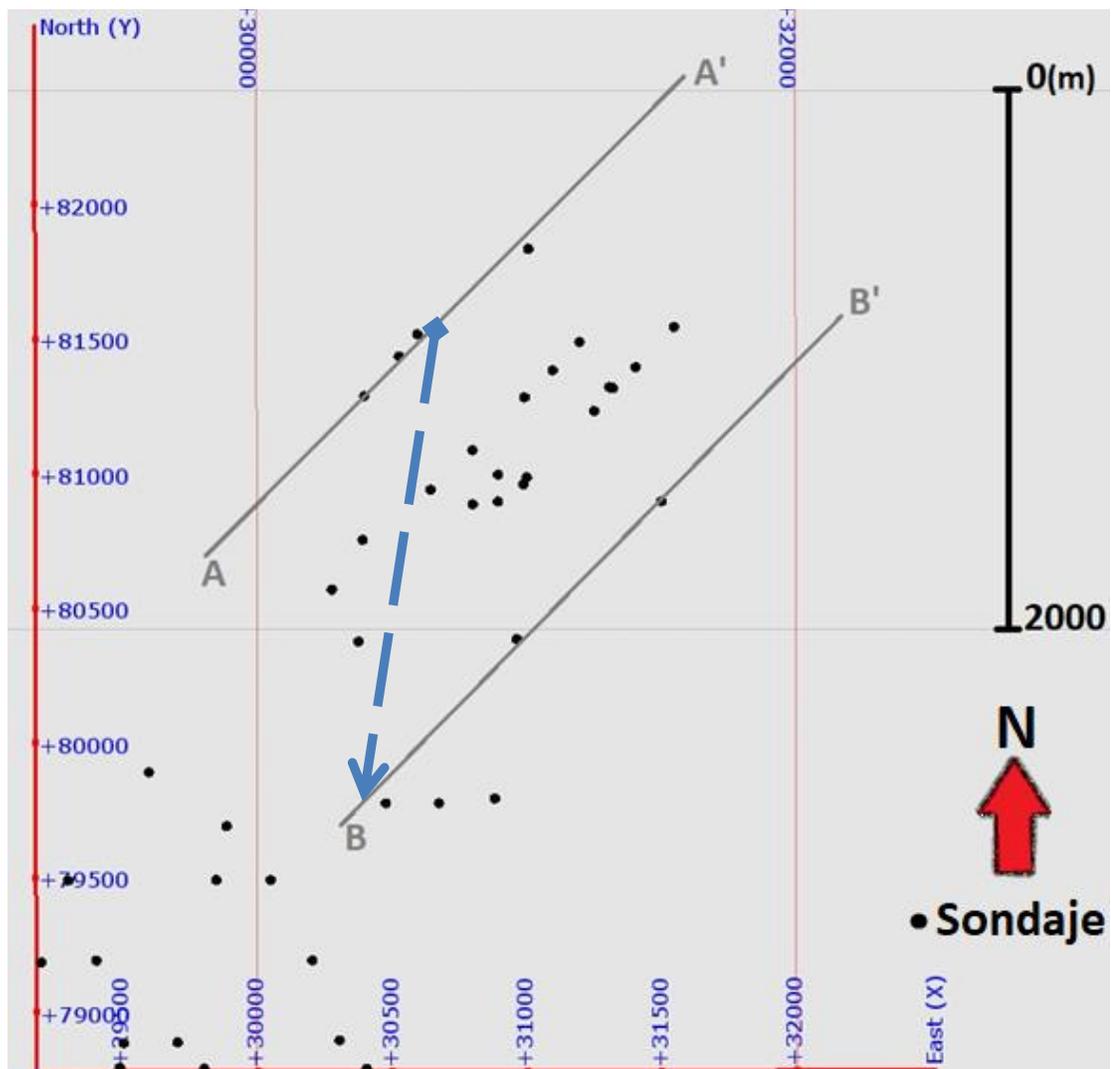


Figura 5.23 Distribución espacial vista en planta de los sondajes, representados por puntos negros, muestreados en la presente investigación. Se indican además la ubicación de los perfiles AA' y BB' con los que se trabajaron. Flecha indica la dirección donde se prolonga la litología del pórfido Rosario.

5.3.4 Distribución espacial de I.F. que evidencia ebullición, saturación de NaCl y saturación de Cu, en los perfiles AA' y BB'.

Para construir la distribución espacial de las inclusiones fluidas en función de su representación con respecto a ebullición, salinidad y concentración de metales, se ha realizado la siguiente agrupación de variables que a su vez pueden correlacionarse con las inclusiones fluidas consideradas en la construcción del diagrama “distribución espacio-temporal de inclusiones fluidas” de Bodnar expuesto anteriormente en la figura 2.25.

Para ello recordamos que las inclusiones fluidas que evidencian ebullición son las que en este trabajo están definidas como tipo 5 y 6. De igual forma las inclusiones fluidas que presentan calcopirita son las tipo 2 y 3. Y las inclusiones fluidas con halita, calcopirita coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor son las tipo 1 y 4 (ver figura 5.1).

Uniendo la distribución de las inclusiones fluidas a los perfiles litológicos del área del pórfido Rosario se obtienen las figuras 5.24 y 5.25, perfiles AA' y BB'. De estas figuras se puede notar

una marcada distribución de inclusiones fluidas con halita, calcopirita con o sin inclusiones ricas en vapor, en las áreas litológicas del pórfido Rosario, es decir, estas inclusiones estarían asociadas a la presencia misma del pórfido Rosario en sus zona más central, notado principalmente en los sondajes DDH110 y DDHR097 del perfil AA' y BB' respectivamente. Comparando las inclusiones fluidas presentes en los sondajes y la distribución espacial de estos, se puede establecer que la ebullición es una característica dominante y que se presenta por todo el perfil tanto de AA' como de BB', sin embargo, se pueden establecer ciertas zonas donde esta ebullición es más abundante, notándose por ejemplo la diferencia de abundancia entre los sondajes C167 versus el DDH110 de la figura 5.24.

Hilando más detallado en la distribución de los tipos de inclusiones fluidas a lo largo de los sondajes, se resalta que las inclusiones saturadas en halita y cobre son más discretas y menos abundantes, presentándose a lo largo de ellos en zonas puntuales, sin embargo, cuando hay presencia de inclusiones con calcopirita es habitual encontrar a sus alrededor, o en conjunto, inclusiones también con halita, calcopirita con o sin presencia de inclusiones ricas en vapor. Esta observación no aplica al sondaje DDHR229.

Las estructuras en ambos perfiles muestran ser un factor influyente en la presencia de las inclusiones fluidas, notándose una mayor concentración de estas tres formas graficas de agrupar los 7 tipos de inclusiones, definidas en este estudio, en dirección de las fallas, tanto para la Falla Ultima, Falla Pique y Sistema de Falla Rosario. Y siguiendo con las observaciones sobre distribución direccional de las inclusiones, se puede notar en el perfil BB' una tendencia de distribución en dirección suroeste de las inclusiones con halita, calcopirita con o sin inclusiones ricas en vapor, que vendría siendo una profundización de estas en dirección paralela a la Falla Pique Rama.

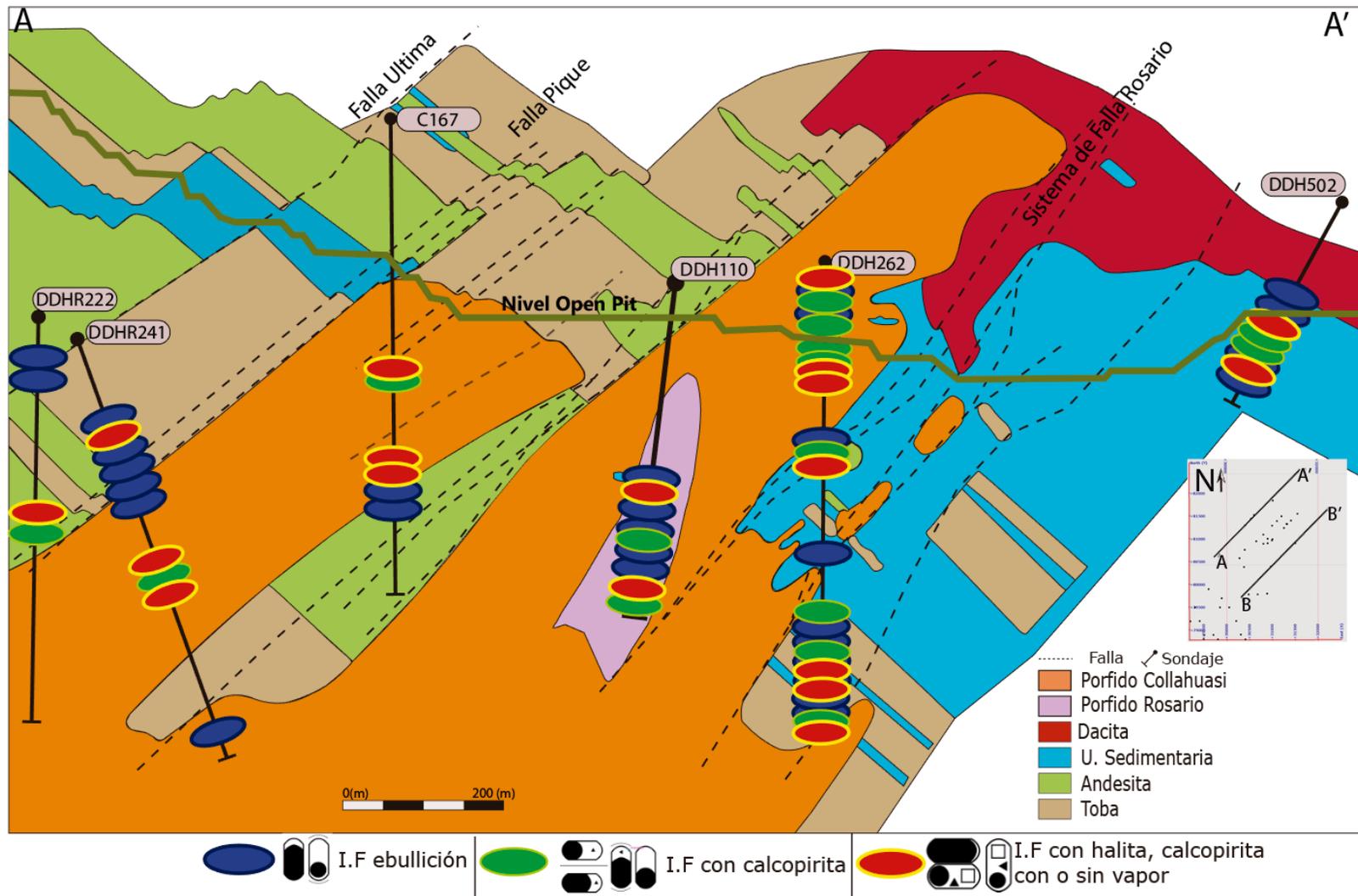


Figura 5.24 Distribución grafica en 2D en el perfil AA' de las inclusiones que evidencian ebullición (tipo 5), inclusiones que presentan calcopirita (tipo 2 y 3) e inclusiones con halita, calcopirita coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor (tipo 1 y tipo 4).

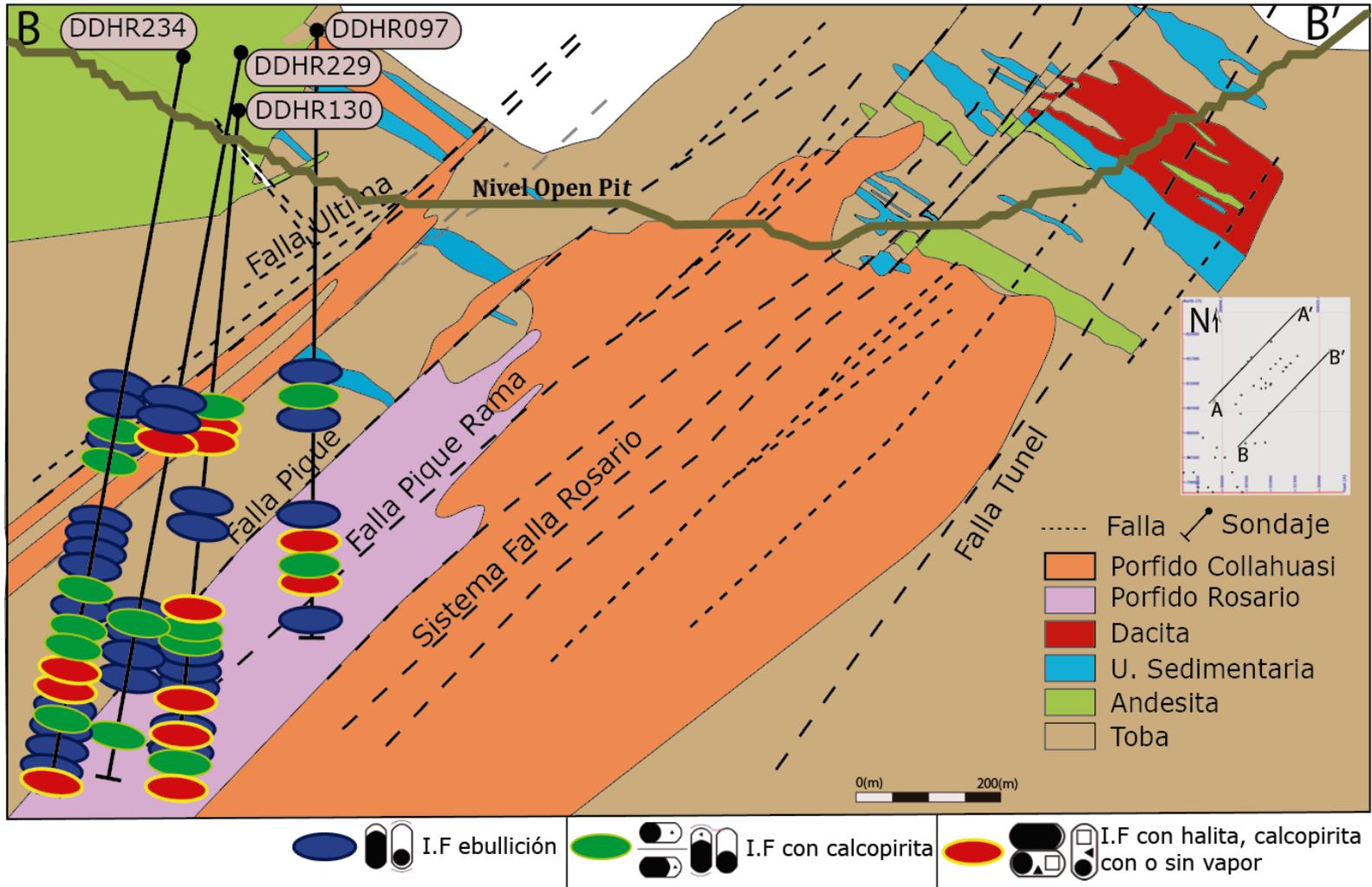


Figura 5.25 Distribución grafica en 2D en el perfil BB' de las inclusiones que evidencian ebullición (tipo 5), inclusiones que presentan calcopirita (tipo 2 y 3) e inclusiones con halita, calcopirita coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor (tipo 1 y tipo 4).

5.3.5 Distribución espacial de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero.

De manera similar al punto anterior se plantea la distribución de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC) con respecto a los perfiles AA' y BB', presentados en intervalos de valor: 0-2; 2-4; 4-6; 6-8; 8-10 o más.

Se establece una relación directa entre las zonas litológicas del pórfido Rosario y los valores altos de índice de probabilidad de pórfido cuprífero, siendo una observación a favor de la función que cumple este último como indicador probabilístico de mineralización importante ya que a mayor debería estar indicando mayor probabilidad de presencia de sistema porfídico. Esto se cumple en ambos perfiles y a su vez se aprecia que estos valores pueden estar correlacionados a lugares con estructuras, presentándose en las cercanías de las zonas mapeada con falla en los perfiles. Se puede plantear la hipótesis de una correlación con la dirección de propagación de estas. Esto último es observable bien en los sondajes DDHR222, DDHR241 del perfil AA' y el sondaje DDHR097 del perfil BB'(figura 5.26 y 5.27 respectivamente), donde las muestras que presentan valores altos están muy cerca de las estructuras.

En el perfil AA', figura 5.26, podemos observar que los sondajes DDH502 y la zona superior del sondaje DDHR222 poseen valores muy bajos de IPPC, siendo lugares alejados con relación a la ubicación del pórfido Rosario dentro del perfil aparte de ir siendo zonas más someras en dirección NE y SW.

La distribución de valores intermedio obtenidos en el presente estudio, vendrían dados por el intervalo de 2 a 8. En el perfil BB', figura 5.27, se muestran una distribución espacial característica de menor a mayor valor de este intervalo desde la parte alta hacia la parte más profunda del perfil, en particular se van profundizando los valores más altos en dirección SW, dirección representada por la flecha. Esta dirección es paralela a la prolongación de las fallas Pique, Pique Rama y Sistema de Falla Rosario, y a su vez dicha ubicación está caracterizada por ser un sector con litología de pórfido Rosario.

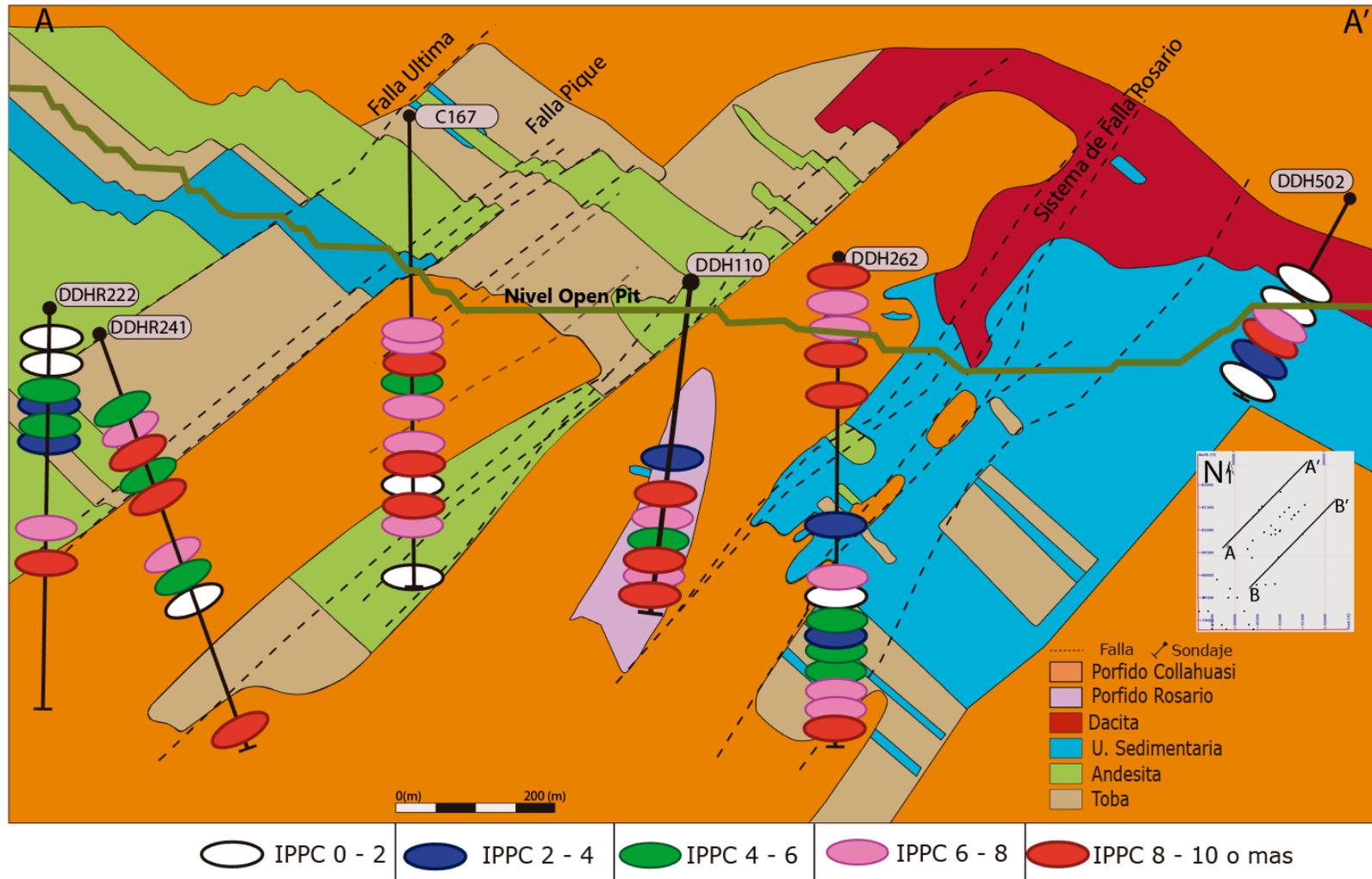


Figura 5.26 Distribución gráfica en el perfiles AA' de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC) en el área pórfido Rosario. Destacan valores bajos en los sectores más lejanos a la litología del pórfido Rosario, sin embargo en estos sectores lejanos resaltan valores altos que podrían estar relacionados a la presencia de estructuras en su cercanía.

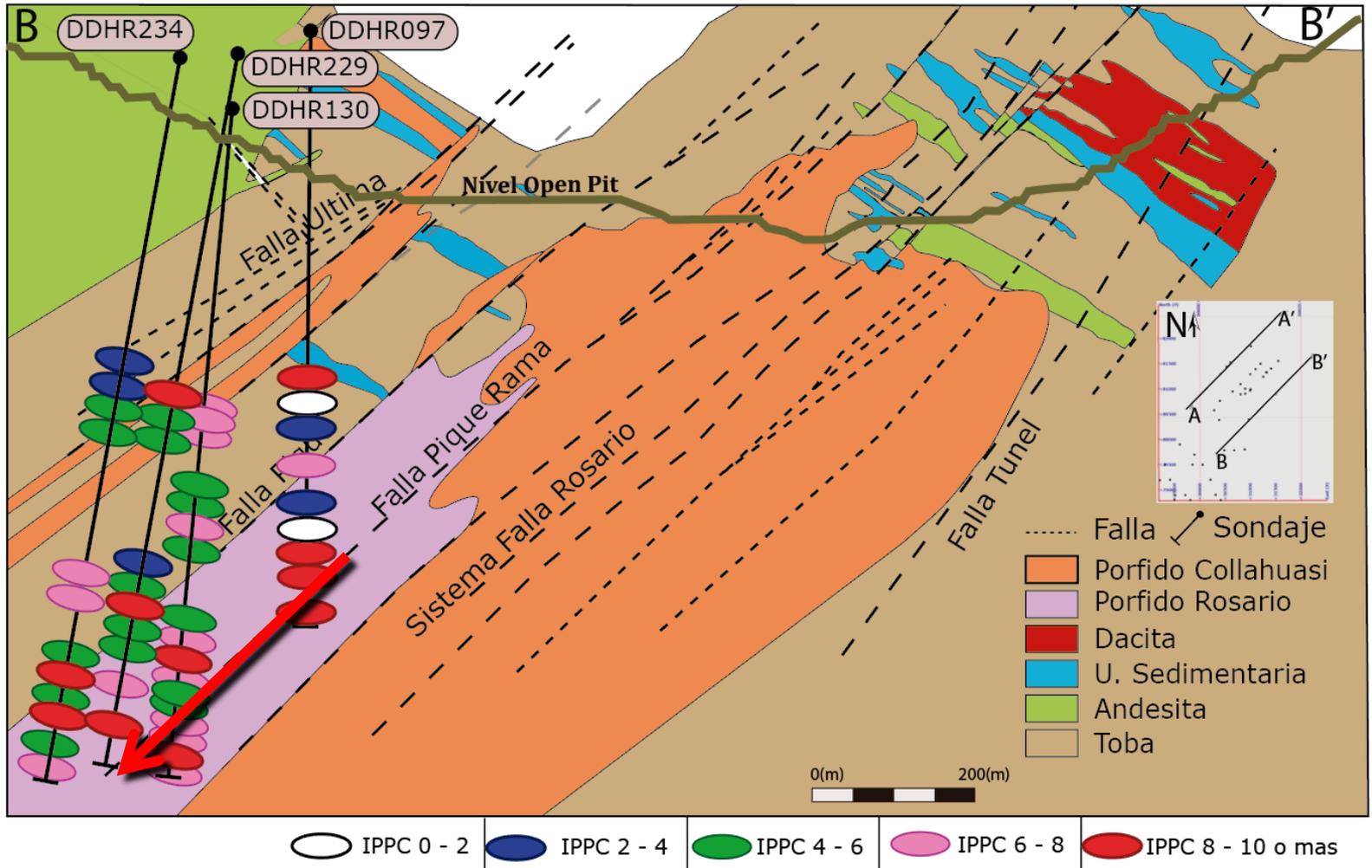


Figura 5.27 Distribución grafica en el perfiles BB' de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC) en el área pórfido Rosario. Flecha indica dirección de la distribución de los valores altos.

5.3.6 Inclusiones parte central vs parte periférica profunda al Suroeste del área de estudio

Para tener mayor conocimiento sobre lo que estaría significando esta distribución importante de parámetros en profundidad en dirección sur oeste, se consideran 10 muestras tales que tras una detallada petrografía de inclusiones fluidas permitan establecer un perfil en sección vertical de la parte central del sistema junto a su parte profunda en dirección suroeste. Cada sector es representado con 5 muestras, como se puede observar en la figura 5.28, además se presenta en la tabla 5.3 el número que representa la posición en la figura 5.28, su código, sector de pertenencia, profundidad y tipo de inclusión más predominante. Estas inclusiones predominantes son las observables en la figura 5.28.

Tabla 5.3 Muestras de sector central y profundo para estudiar hipótesis de manera más detallada.

Sector Central del sistema pórfido Rosario			
Numero en figura 5.26	Código de la muestra	Profundidad (m s.n.m.)	Tipo de inclusión fluida predominante
1	NA – 4	4345	Tipo 6
2	NA – 88	4165	Tipo 6
3	NA – 7	4130	Tipo 4
4	VD-18-03-10	4090	Tipo 5
5	NA - 15	4010	Tipo 0
Sector profundo de la zona Suroeste del sistema pórfido rosario			
6	VD-67-05-10	3773	Tipo 6
7	DM-11	3743	Tipo 5
8	VD-69-05-10	3650	Tipo 5
9	DM-14	3577	Tipo 4
10	VD-54-05-10	3490	Tipo 6

Estas 10 muestras tienden a establecer un patrón de continuidad secuencial en la vertical. Esto permite realizar análisis con respecto al sistema asociado al pórfido cuprífero a partir de las inclusiones presentes, por lo tanto se exponen las observaciones realizadas en cada muestra, pues

es una información valiosa con la cual concebir análisis y conclusiones. En las siguientes observaciones la consideración o no de calcopirita viene dada por la observación de opacos con forma triangular dentro de la inclusión fluida.

Muestra NA- 4 (#1)

Presencia de familia de inclusiones fluidas (FIA) ricas en vapor, alrededor de ellas suele presentar inclusiones fluidas ricas en líquido con precipitación de halita y minerales opacos como también solo inclusiones ricas en líquido. Las inclusiones con halita precipitada presentan un tamaño de mineral igual o menor al tamaño de la burbuja de vapor de la inclusión, y en cualquiera de las dos situaciones posee precipitada pequeños mineral opaco **no** identificado como calcopirita. Hay presencia de coexistencia entre estas inclusiones y las inclusiones ricas en vapor. Sin embargo en temas de coexistencia abunda notoriamente más la presencia de inclusiones solo ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor, donde la burbuja de vapor que presenta la inclusión rica en líquido suele ser de gran volumen y la inclusión rica en vapor casi 100% vapor.

Predominio de familia de inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo 6, Autor). Resaltando incluso en el cobre mismo su abundancia en comparación con las demás inclusiones fluidas.

Muestra NA – 88 (#2)

Escasas presencia o casi nula de opacos, los pocos que hay **no** pueden ser identificados como calcopirita, de igual manera la abundancia de inclusiones con precipitación de halita son escasas, presentadas de manera agrupada en sectores reducidos del corte.

Muchas inclusiones ricas en vapor, siendo estas las más abundantes, estas se presentan tanto como familia de inclusiones fluidas ricas en vapor como también coexistiendo con inclusiones ricas en líquido. Cuando se presentan como FIA's únicamente ricas en vapor, pueden ser de hasta casi un 100% de vapor, mientras que cuando están en coexistencia con inclusiones ricas en líquido el tamaño de burbuja de la inclusión rica en vapor es cerca del 80% mientras que en la inclusión rica en líquido puede variar desde el 10 al 50% del volumen de la inclusión. Esta observación no es en una misma FIA de coexistencia, sino que representa diferentes familias de inclusiones familia.

Predominio de familia de inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo 6, Autor)

Muestra NA – 7 (#3)

Presencia de coexistencia de inclusiones ricas en vapor con ricas en líquido y también con ricas en líquido con halita precipitada, en esta última coexistencia puede darse que la inclusión rica en líquido con halita tenga o no minerales opacos pequeños. Entre los dos tipos de coexistencia la abundancia de la “ricas en vapor con solo ricas en líquido” es menor, y en el caso de las inclusiones líquidas con halita esta presenta un tamaño asociado a unos 40 a 50% de salinidad.

Vale destacar que los casos con presencia de opacos son muy escasos y no pueden ser identificados como calcopirita por su tamaño.

De manera muy poco abundante se dan FIA's ricas en vapor, pero cuando se presentan son de casi 100% vapor.

Predominio de inclusiones ricas en vapor coexistiendo con ricas en líquido con halita (tipo 4, Autor)

Muestra VD-18-03-10 (#4)

Abundante coexistencia de inclusiones ricas en líquido con inclusiones ricas en vapor, donde las inclusiones ricas en líquido pueden presentarse con un tamaño de burbuja entre el 15 al 30% del volumen de la inclusión, y la inclusión rica en vapor suele presentar burbujas de 80-90%. Hay presencia de solo FIA's ricas en líquido como también solo ricas en vapor, en estas últimas hay variedad de fias ricas en vapor según porcentaje de vapor que presente, habiendo de 80 hasta casi 100%, mientras que en las FIAS de solo ricas en líquido hay unas con burbujas muy pequeñas y estas presentan metales opacos precipitados.

La muestra presenta arreglo de inclusiones fluidas con presencia de calcopirita en inclusiones ricas en vapor. También hay opacos en inclusiones con halita precipitada pero no pueden ser identificadas como calcopirita, estas inclusiones son escasas y el tamaño de la halita es de similar tamaño que la burbuja de vapor.

Predomina la coexistencia de inclusiones ricas en líquido con ricas en vapor, sin halita ni opaco (tipo 5, Autor).

Muestra NA – 15 (#5)

Destacable la presencias de inclusiones ricas en líquido sobre las inclusiones ricas en vapor, siendo concurrente hallar FIA's ricas en líquido. Se da de manera más discreta la coexistencia entre inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor, pero cuando se da, las inclusiones ricas en líquido tienen un tamaño de burbuja de vapor mayor a las observables en FIA's antes habladas e incluso de las inclusiones ricas en líquido presentadas de manera dispersa en el corte.

Es escasa, incluso casi nula, la presencia de inclusiones con halita y/o con opacos.

Predominio de familia de inclusiones fluidas ricas en líquido (tipo 0, Autor).

Muestra VD – 67 – 05 – 10 (#6)

Presencia de inclusiones con halita coexistiendo con inclusiones ricas en vapor, estas inclusiones con halita tienen tamaño de burbuja y mineral similar. Existe también coexistencia entre inclusiones solo ricas en líquido e inclusiones ricas en vapor. A la misma vez estas últimas pueden ser observadas como FIA's, de manera individual.

Es casi nula la presencia de minerales opacos dentro de las inclusiones fluidas y las inclusiones con halita antes presentadas son escasas.

Predominan las inclusiones de vapor presentadas como FIA's individuales (tipo 6, Autor).

Muestra DM – 11 (#7)

Presencia de inclusiones ricas en vapor coexistiendo con inclusiones ricas en líquido. Hay presencia de inclusiones ricas en líquido con presencia de minerales opacos pequeños o con precipitación de halita, en caso de presentar halita estas inclusiones suelen tener una burbuja de vapor de mayor tamaño que las inclusiones ricas en líquido con opaco y el cubo de halita menor que la burbuja de su inclusión. El mineral opaco no puede ser descartado como calcopirita por su

tamaño y debido a que hay casos de inclusiones ricas en líquido asiladas donde se puede observar triangular.

Predominio de coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 5, Autor)

Muestra VD – 69 – 05 -10 (#8)

Alta presencia de coexistencia de inclusiones ricas en líquido con ricas en vapor. Es en la totalidad del corte y también en la serie de coexistencia más abundante las inclusiones ricas en líquido. Es también una abundancia mayor si se compara con el corte VD- 67 – 05 – 10. Si establecemos otra comparación también es mayor la presencia de inclusiones ricas en líquido con halita pero siguen siendo escasas en el corte.

Se pueden hallar FIA's de inclusiones ricas en líquido con opacos precipitados no identificados como calcopirita. Estas son menos abundantes que las observables en el corte DM- 14.

Predominio de coexistencia entre inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 5, Autor).

Muestra DM – 14 (#9)

Abundante presencia de inclusiones con calcopirita, tanto en inclusiones ricas en líquido, ricas en líquido con halita, y ricas en vapor. Las inclusiones con halita y calcopirita presentan igual tamaño entre el cubo de halita y la burbuja de vapor, sugiriendo unos 50% o más de salinidad, estas a su vez se presentan en arreglos individuales de su tipo. Las FIA's de ricas en líquido con calcopirita poseen burbujas de vapor muy pequeñas. Hay coexistencia de inclusiones ricas en líquido y ricas en vapor, estas pueden presentar entre 70 a 80% de volumen como burbuja de vapor y, sin dependencia del porcentaje de vapor, hallarse con calcopirita.

Predominan las inclusiones ricas en vapor con inclusiones ricas en líquido con halita con o sin calcopirita (tipo 4, Autor)

Muestra VD – 54 – 05 -10 (#10)

Abundan las inclusiones con vapor y con porcentajes altos de contenido, siendo de 70 hasta 100% vapor. Hallándose en arreglos individuales de estas como también en coexistencia con inclusiones ricas en líquido y también coexistiendo con inclusiones ricas en líquido con halita precipitada. Estas situaciones de coexistencias no son predominantes en el corte.

En los casos de coexistencia con inclusiones ricas en líquido estas pueden tener un tamaño de burbuja variable pero a veces se hallan con presencia de calcopirita precipitada, en dichas situaciones las burbujas suelen ser menor que las otras FIA de coexistencias. Hay que destacar el hecho de que esta coexistencia con presencia de opaco es escasa en el corte.

El otro tipo de coexistencia que viene dada por las inclusiones ricas en vapor y ricas en líquido con halita, es muy escasa observarla con calcopirita precipitada.

Predomina las FIA's ricas en vapor (tipo 6, Autor).

Si consideramos estas muestras en 2 series, donde la serie 1, perteneciente a la zona central-alta del sistema pórfido rosario, está constituida por las muestras número 1,2,3,4 y 5 de la tabla 5.3, y la serie 2, constituida por las 5 restantes, representando la zona profunda. Se puede decir lo

siguiente: No hay similitud en la sucesión vertical del tipo de inclusión más abundante junto y dentro de esta secuencia cada serie tiene un nivel caracterizado por la presencia de inclusiones líquidas ricas en halita coexistiendo con inclusiones ricas en vapor, y en esta coexistencia puede también hallarse calcopirita. Otro aspecto relevante es que la serie número 1 finaliza con inclusiones ricas en líquido mientras que la serie número 2, finaliza con inclusiones ricas en vapor. Además, la serie número dos presenta en sus comienzos (muestra 7 y 8) dominio de inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor, tal que en la coexistencia más alta (muestra 7) puede hallarse a veces presencia de halita o calcopirita y luego de esta coexistencia vienen inclusiones ricas en halita con calcopirita coexistiendo con I.F. ricas en vapor, en cambio, en la serie número 1 se tiene un comienzo con solo inclusiones ricas en vapor y continua con inclusiones ricas en halita con calcopirita coexistiendo con I.F. ricas en vapor.

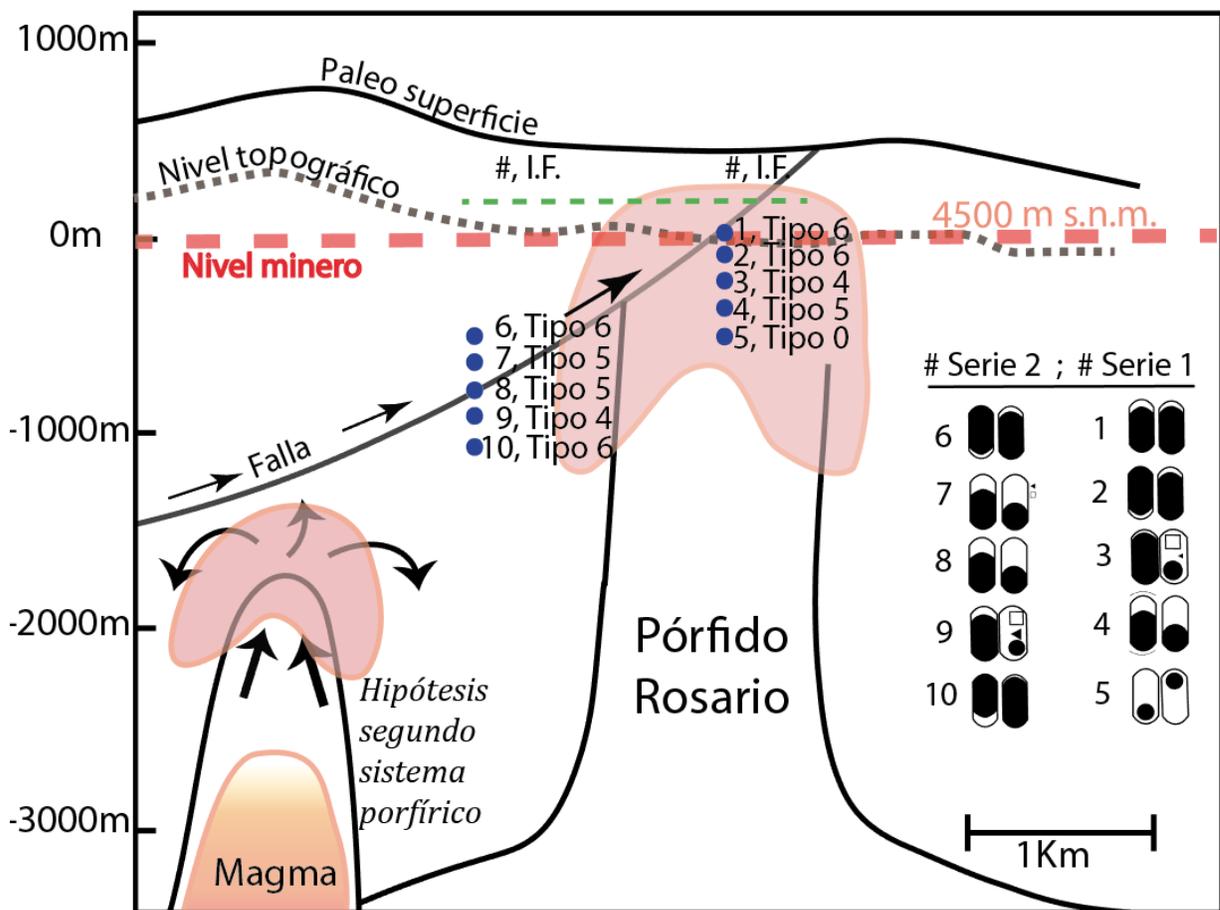


Figura 5.28 Distribución grafica de la toma de muestra presentadas en la tabla 5.3. Cada muestra con el tipo de inclusión fluida más predominante, ilustradas separadas por serie. Serie 1, corresponde a la parte somera-central del sistema pórfido rosario, la serie 2 representa la parte profunda dirección suroeste. Línea roja segmentada horizonte actual a una altura de 4.500 m s.n.m.

6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente trabajo enmarca un área que no sobrepasa los 2 km² o un volumen de 4 km³ (2 km de ancho *2 km de largo*1 km de alto), área de la cual se han tomado más de 300 especímenes relevantes para desarrollar esta investigación que pretende efectuar un análisis volumétrico para caracterizar el área. De ellas se estudia una pequeña sección delgada tipo quick plate, por lo que no debemos perder de vista el hecho de que todas las observaciones y análisis están enmarcados a una gran generalidad de representación global del distrito estudiado. Bajo esta perspectiva entre mayor es la cantidad de especímenes y datos a tomar para caracterizar el área, mayor representatividad tendrán los resultados y modelos propuestos.

En base a lo planteado por Nash (1976), Gustafson & Hunt (1985), Masterman (2005) y Bodnar et al. (2014) entorno a las inclusiones fluidas y los pórfidos cupríferos, se puede hacer una correlación entre la teoría y lo observado en el pórfido cuprífero Rosario con respecto a la presencia de inclusiones fluidas. Ellos propusieron que la presencia de inclusiones fluidas ricas en líquido (baja salinidad) se presentaban en todo tipo de vetilla y distribuidas en toda el área del sistema, lo que es corroborado en este estudio con la casi omnipresencia de las inclusiones ricas en líquido (tipo 0, Autor) en las muestras. De igual forma, en el sistema se tiene una amplia presencia de coexistencia de I.F. ricas en líquido y ricas vapor (tipo 5, Autor) esta es una situación que se ha propuesto teóricamente como una característica de los pórfidos cupríferos y es revalidada. En el caso de las inclusiones con halita o calcopirita, estas son más selectivas en su distribución y varía su manifestación, pero hacen referencia a la necesidad de la presencia de fluidos salinos y con concentraciones de cobre apreciable que tomaron lugar en el desarrollo del pórfido cuprífero. Fluidos necesarios que tienden a indicar: presencia de mineralización cuprífera.

Ahora bien, si se observan los gráficos del 5.3 a la 5.9 sobre las distribuciones de las I.F., estas exhiben ciertas discontinuidades y muestran su específica distribución espacial en la vertical. Esto indica niveles en los cuáles los paleo fluidos sufrieron procesos específicos, ya sea separaciones de fases o enriquecimientos de elemento, caracterizando el fluido en dicho nivel. Y si se consideran las figuras de la distribución de vetillas (de la figura 5.10 a la 5.17), estas también manifiestan condiciones particulares a niveles específicos, tales como, la presencia de vetillas tipo B (temporalidad intermedia) en profundidad con tipos de vetillas tempranas (tipo A o transición A-B) y no así vetillas tardías en profundidad. Si a esto se le une el hecho que en profundidad se pueden hallar inclusiones fluidas de alta salinidad (tipo 1, 3, 4 y 5), y se analiza recordando que la alteración potásica está caracterizada por vetillas tipo A, B y A-B, como también por inclusiones fluidas que pueden alcanzar salinidad de hasta 60 %wt NaCl y por inclusiones fluidas que podrían representar ebullición, es posible que las rocas de pórfido Rosario en profundidad represente una zona de alteración potásica con paleofluidos que sufrieron ebullición y partición de elementos, la cual podría considerarse como una zona de mineralización cuprífera económicamente importante.

Para abordar esta última consideración se pueden utilizar las figuras 5.26 y 5.27 donde se presentan la distribución espacial en perfiles del área, AA' y BB', de los valores de índice de probabilidad de pórfido cuprífero (IPPC). Recordar que este índice indica probabilidad de mineralización económica en un sistema cuprífero ligado principalmente a la zona entre alteración potásica y filica. Con la distribución de IPPC en ambos perfiles podemos notar un crecimiento de sus valores en profundidad y con una direccionalidad al suroeste, lugar que ha originado las hipótesis que se abordan en esta investigación, lo que apoya la relevancia de este sector como mineralización cuprífera importante. Vale destacar que estos perfiles presentan

valores alto (dentro de los resultados del estudio) asociados muchas veces a las estructuras del perfil, lo que podría estar indicando la manera favorable de transportar los fluidos con salinidades y concentraciones de metales importantes producto quizás de separaciones de fases sufridas a mayor profundidad.

Si consideramos que estamos en presencia de un pórfido cuprífero y la propuesta de IPPC por Bodnar (1982) se basa en hallarse ante muestras de estos sistema, debiese tenerse un los resultado del asignación de valores de las muestras que recorriesen el intervalo de 0 a 22 propuesto originalmente, sin embargo, la investigación asigna a las 300 muestras un rango de valor entre 0 a 14 de IPPC, observable en el Anexo B. Esto puede deberse a diversas razones: una de ellas es que las muestras que podrían alcanzar más alto valor en el yacimiento, no fueron tomadas ni estudiadas. Otra razón puede ser la inexperiencia de quien realiza la petrografía de inclusiones fluidas para establecer una cuantificación de la presencia de los tipos de inclusiones o quizás solo la manera reservada de asignar valores cuantitativos, moderando a casi el 50% la asignación de valor de la escala. Lo relevante es que al ser todos los valores asignados por la misma persona, si bien su criterio y experiencia influye notoriamente, el patrón de valores bajos y valores altos pueden seguir siendo utilizable bajo los conceptos de utilidad propuesto por Bodnar (1982), es decir, el caso de estudio califica para que sus valores IPPC sean utilizable al tener un rango amplio, quizás mediano, pero que permite discretizar en zonas al menos como de bajo, mediano y alto valor.

Aceptando que existe una zona en profundidad en dirección suroeste relevante en temas de mineralización, resaltado por la distribución de las inclusiones fluidas, las vetillas, el valor IPPC y apoyado con los perfiles del sector, se estaría manifestando la posibilidad de las inclusiones fluidas para realizar exploración, ya que validarían el punto de “mineralización importante” que es presentada en las 3 hipótesis a abordar. Para establecer un entendimientos más profundo tal que puedan resolver las hipótesis planteadas, se debe hacer uso de los resultados más detallados obtenidos de las 10 muestras presentadas en la tabla 5.3 y figura 5.28.

Considerando las dos series establecidas en la figura 5.28, podemos decir que existen dos niveles donde se genera una separación de fase que puede estar asociado a un mismo fluido o a dos fluidos distintos con su correspondiente serie (un fluido para cada serie) representadas por las muestras NA-7 y DM-14. Esta separación del fluido genera una fase de alta salinidad con saturación de metales (calcopirita en el caso de la muestra DM-14) y una fase de vapor. La abundancia de calcopirita, de halita y sus tamaños en la muestra DM-14 en comparación con la muestra NA-7, en la cual los metales precipitados son pequeños y de difícil identificación, estaría suscitando eventos separados de inmiscibilidad, por lo que considerarlos como fluidos distintos resulta pertinente. Además, esta observación se apoya con las descripciones de las muestras donde la presencia de otras inclusiones fluidas no es correlativa, indicando por lo tanto que dichas rocas no estuvieron bajo el mismo evento, aunque el fluido que circulo sobre ellas sufrió un proceso muy parecido. Esto junto con la diferencia de la secuencia vertical de las inclusiones de cada serie sería un indicador para refutar la hipótesis de una zona profunda debido a un desplazamiento estructural del pórfido Rosario.

Ahora para obtener respuestas ante los otros 2 escenarios plantados por las hipótesis restantes se debe utilizar la figura 9.21 propuestas por Bodnar (1982). Si consideramos que las series representan simplemente una gráfica vertical se superficie a profundidad de un sistema porfídico, sin considerar la temporalidad de su desarrollo, es decir todas son inclusiones de un pórfido joven, o viejo, y se hace uso de solo la parte inferior de la figura 9.21, se obtiene el escenario 1

para la serie 1 y el escenario 2 de la serie 2 presentadas en la figura 6.1. Esto producto a la no similitud secuencias, indicando por lo tanto que se podrían considerar cada sector como sistemas porfídicos distintos, lo que estaría apoyando la hipótesis de ser un intrusivo más profundo separado y más joven que el pórfido Rosario, asociado quizás a él en términos de fuente pero no así en formación.

Pero si consideramos que todo se desarrolla a la misma edad, tiempo fijo, debemos utilizar ambas partes de la gráfica propuesta por Bodnar (1982) en la figura 9.21, donde estaríamos ubicando la serie 1 como una zona central con leve desplazamiento a la periferia, lo cual vendría a ser representado por el escenario 3 de la figura 6.1. Dejando fijo el tiempo y considerando que la serie 2 debiese representar una zona más profunda (si no fue desplazada por fallas) tendría que hallarse si o si en el escenario 3 expuesto en la parte inferior de la figura 6.1, esto implicaría que debiese estar dominado por inclusiones ricas en vapor con precipitación de calcopirita junto a inclusiones ricas en halita con calcopirita coexistiendo con inclusiones fluidas ricas en vapor, sin embargo recordamos que esta serie contiene un intervalo de casi 200 metros donde las inclusiones dominantes son del tipo ricas en liquido (tipo 0, Autor), las cuales no estarían siendo representadas en el escenario 3, y en caso de considerar subir y disminuir la profundidad que representaría la serie 2, se perdería la parte alta con inclusiones ricas en vapor. Esto estaría refutando la hipótesis de continuidad del sistema en profundidad, pues no se ve una correcta correlación de las inclusiones fluidas, y apoyando con mayor certeza la hipótesis de un intrusivo secundario levemente más joven y con mineralización cuprífera en profundidad.

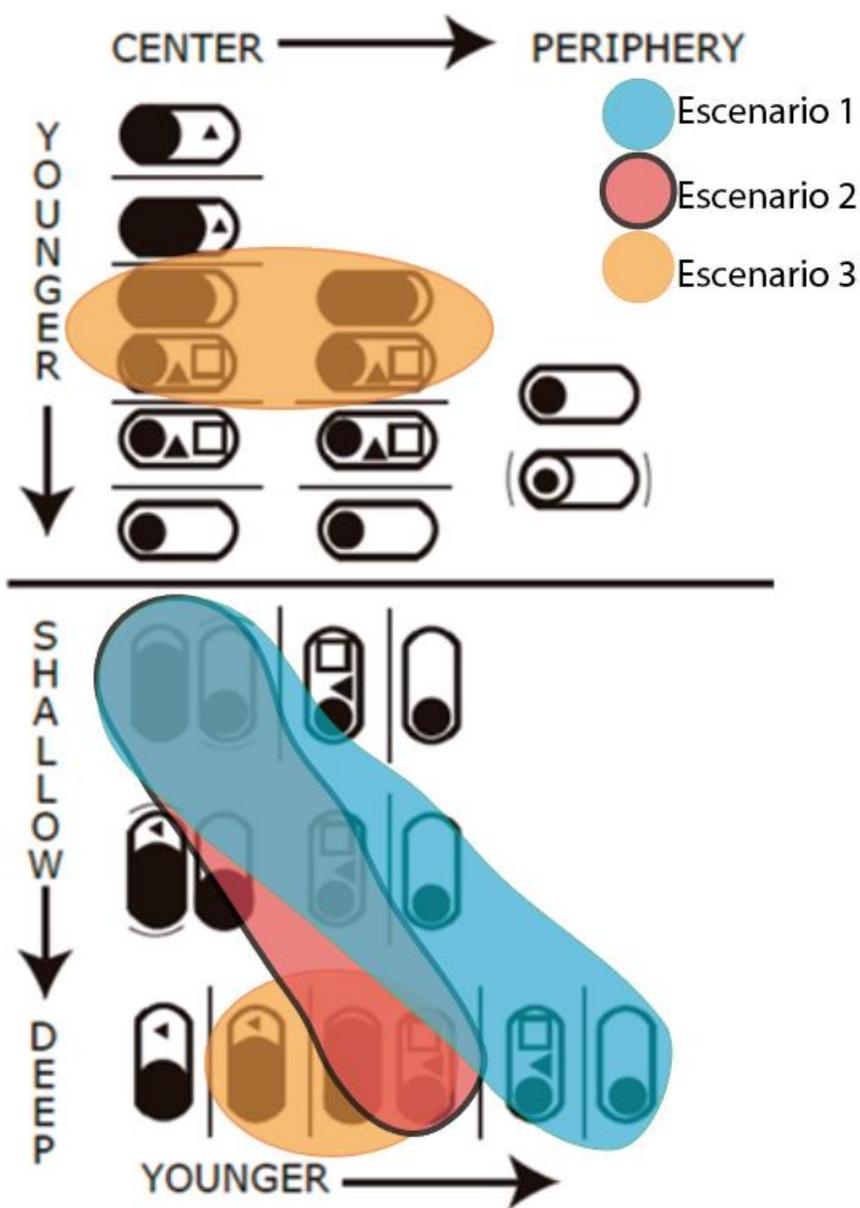


Figura 6.1 Análisis de ubicación porfídica mediante petrografía de inclusiones fluidas. Cada escenario es apoyado con las observaciones y los análisis de las 10 muestras expuestas en la tabla 12. El escenario 1 y 2 representa una discusión sin considerar el tiempo como variable fija para el desarrollo y la formación del yacimiento Rosario, el escenario 3 considera el tiempo fijo para desarrollar el sistema porfídico estudiado. El escenario 3 no genera una correcta asimilación de los datos obtenidos de la petrografía de inclusiones fluidas de la serie 2 de la tabla 5.3, descartando la prolongación del sistema. El escenario 1 y 2 correlacionan las series 1 y 2 de buena manera, tratando ambos sectores como sistema porfídicos aislados, indicando que la zona profunda es a la vez más joven.

7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Considerando que recopilar información sobre inclusiones fluidas de las muestras es un trabajo meticuloso y más aún lo es el trabajar con la información obtenida de ellas, es de suma importancia recalcar el hecho de no perder el enfoque de la investigación que se propone realizar.

Tratando de hallar directrices o guías exploratoria de DPC mediante inclusiones fluidas se ha visto como hay datos que trabajados por sí solos teóricamente no son del todo concluyentes, ejemplo: conteo de cuantas muestras tienen que tipos de inclusiones, o que inclusiones se presentan y en cuanta abundancia, pues esto solo da una noción de valor y una vaga idea de que pueda estar ocurriendo en el área o en el sistema. Por lo tanto es importante establecer una base con la cual contextualizar y/o comparar las observaciones y resultados sobre lo estudiado (ejemplo: distribución de IPPC con respecto a la profundidad visualizado en perfiles del sector).

La distribución de los tipos de inclusiones versus la profundidad indican que bajo los 3,700 m s.n.m. existen eventos de ebullición (inclusiones tipo 5, Autor), generación de fluidos gaseoso relacionado a procesos de separación de fases (inclusiones tipo 6, Autor) y fluidos saturados en cloruro de sodio (inclusiones tipo 4). Se establece que ha dichas profundidades sucedieron procesos de inmiscibilidad que gatillaron una partición de los elementos tal que conllevarse a una fase resultante de alta salinidad, saturada en halita, y otra rica en vapor, ambas con posibilidad de estar saturadas en metales.

De igual forma en profundidad se puede resaltar el dominio de las vetillas tempranas y tempranas-intermedias tipo A, B, y C. Principalmente la tipo B es dominantes, las que a su vez son las consideradas principales mineralizadoras, aportadoras, de cobre-molibdeno de los pórfidos cobre-molibdeno.

Considerando la distribución espacial de las muestras, tanto vertical como lateral, se lograron establecer modelos que reflejan la relación inmediata que tiene la mineralización del sector con respecto a direcciones y sentidos preferenciales, parámetros que estarían asociados principalmente a procesos de fluido que tienen una buena propagación usando las estructuras existentes del sector. Esta relación se ve en las figuras 5.22, 5.23, 5.24 y 5.25, donde se concentran entorno a ellas tipos de inclusiones o valores IPPC particulares. Se ha visto e indicado un control estructural sobre la mineralización en el Pórfido Rosario y Rosario oeste por autores como Masterman (2003, 2005), Munchmeyer (1985), Oyarzun (2010), Ireland (2010), Dick (1994), que estarían apoyando la importancia de las estructuras en el transporte de fluidos del sistema. No quiere decir que la mineralización profunda es una parte del Pórfido Rosario desplazado.

Como se presentó en el análisis de la figura 6.1, el sistema tiene una zona en dirección suroeste que estaría representando una mineralización cuprífera en profundidad. Esta mineralización estaría asociada a un fluido diferente, y que dado el escenario (escenario 2, figura 6.1) que mejor relacionaría la distribución de las inclusiones fluidas de la figura 5.26 vendría siendo más joven que el que desarrollo el actual explotado pórfido Rosario. El origen de este fluido es un tema no abordado y que queda propuesto para obtener más detalles y conocimientos del lugar. Lo relevante de esta conclusión es que conlleva a el descarte de la hipótesis de extensión del sistema, como también se descarta la posibilidad de ser una parte del pórfido Rosario movido por fallas, dado que en el primer caso las series 1 y 2 representadas en la figura 5.26 no evidencian una continuidad, y en el segundo caso, los eventos mineralizadores presentan condiciones

fisicoquímicas distintas debido a las observaciones petrográficas de las fases presentes en las inclusiones fluidas de las muestras NA-7 y DM-14.

Por lo tanto, es importante buscar como mínimo las siguientes relaciones a la hora de plantear una exploración basada en inclusiones fluidas: Presencia de vetillas tipo B junto a inclusiones fluidas que evidencien separación de fases y/o ebullición, salinidad alta y saturación en Cu, asociados a su vez a valores altos de IPPC, pues esto generaría las directrices, quizás imperfectas pero perfectibles, de una primera base selectiva en cualquier etapa de exploración. Demostrándose directamente la utilidad de la aplicación de las inclusiones fluidas que se ha ido desarrollando con los trabajos de investigación de Nash (1976), Bodnar (1982), Roedder (1984), Beane (1995), Roedder & Bodnar (1997) y otros más, no menos importantes, que quedan en el tintero.

Hay que decir que entre más datos se tengan y más parámetros sean interconectados para realizar evaluaciones exploratorias, mejores serán las interpretaciones y con mayor grado de asertividad sobre el contexto geológico presente. Por lo que se sugiere, aumentar la base de datos realizando petrografía de inclusiones fluidas a más muestras, o detallando aún más la petrografía de las muestras ya presente, o ampliando la base de datos agregando nuevos parámetros para interrelacionar con las inclusiones fluidas, como podría ser las leyes de cobre, o direcciones estructurales conocidas. Otros estudios posibles de realizar para mejorar la comprensión del sistema pórfido Rosario utilizando la base de dato existente tal que apoye las conclusiones o ayude a aumentar o disminuir el grado de asertividad, es la aplicación de microtermometría a las muestras, proponiéndose particularmente una análisis micro termométrico sobre las muestras NA-7 y DM-14, pues hablaría de las condiciones de los fluidos y descartaría con certeza si son eventos y/o fluidos, diferentes.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, O. N., & Clark, A. H. (1996). Early magnetite-amphibole-plagioclase alteration-mineralization in the Island copper porphyry copper-gold-molybdenum deposit, British Columbia. *Economic Geology*, 91(2), 402-438.
- Beane, R. E. (1995). Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits. *Porphyry copper deposits of the American Cordillera*, 83-93.
- Bisso, C. B., Durán, M., & Gonzales, A. A. (1998). Geology of the Ujina and Rosario copper porphyry deposits Collahuasi district, Chile. *Porphyry and Hydrothermal Copper and Gold Deposits: A Global Perspective*. PGC Publishing, Adelaide, 217-232.
- Bodnar, R. J., & Beane, R. E. (1980). Temporal and spatial variations in hydrothermal fluid characteristics during vein filling in preore cover overlying deeply buried porphyry copper-type mineralization at Red Mountain, Arizona. *Economic Geology*, 75(6), 876-893.
- Bodnar, R. J. (1982). Fluid inclusions in porphyry-type deposits. Course notes, Mineral Deposits Research Review for Industry. Penn. State University, April 6-9 2012.
- Bodnar, R. J. (1983). A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids. *Economic Geology*, 78(3), 535-542.
- Bodnar, R. J., & Sterner, S. M. (1985). Synthetic fluid inclusions in natural quartz. II. Application to PVT studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(9), 1855-1859.
- Bodnar, R. J., Burnham, C. W., & Sterner, S. M. (1985). Synthetic fluid inclusions in natural quartz. III. Determination of phase equilibrium properties in the system H₂O-NaCl to 1000 C and 1500 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(9), 1861-1873.
- Bodnar, R. J. (1989). Synthetic fluid inclusions: A novel technique for experimental water-rock studies. In *Proceedings of the 6th International Water-Rock Symposium*, AA Balkema Publishing Copp, pp. 99-102.
- Bodnar R. J. (1995) Fluid inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits. in *Mineralogical Association of Canada Short Course Volume 23, Magmas, Fluids and Ore Deposits*, J. F. H. Thompson, ed., 139-152.
- Bodnar RJ (2003) Introduction to aqueous fluid systems. In *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Mineral. Assoc. Canada, Short Course 32, 81-99.
- Bodnar, R. J., Lecumberri-Sanchez, P., Moncada, D., & Steele-MacInnis, M. (2014). 13.5—Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Treatise on Geochemistry*, Second Editionth edn. Elsevier, Oxford, 119-142.
- Burnham, C. W. (1997). Magmas and hydrothermal fluids. In *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd ed., 63–123, John Wiley, New York.

- Clark, A. H., Archibald, D. A., Lee, A. W., Farrar, E., & Hodgson, C. J. (1998). Laser probe $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of early- and late-stage alteration assemblages, Rosario porphyry copper-molybdenum deposit, Collahuasi District, I Region, Chile. *Economic Geology*, 93(3), 326-337.
- Cooke, D. R., Hollings, P., & Walshe, J. L. (2005). Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. *Economic geology*, 100(5), 801-818.
- Cline, J. S., & Bodnar, R. J. (1991). Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt?. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B5), 8113-8126.
- Dick, L. A., Chavez, W. X., Gonzales, A., & Bisso, C. (1994). Geologic setting and mineralogy of the Cu-Ag-(As) Rosario vein system, Collahuasi district, Chile. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 19, 6-11.
- Dilles, J. H., & Einaudi, M. T. (1992). Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada; a 6-Km vertical reconstruction. *Economic Geology*, 87(8), 1963-2001.
- Frank, M. R., Simon, A. C., Pettke, T., Candela, P. A., & Piccoli, P. M. (2011). Gold and copper partitioning in magmatic-hydrothermal systems at 800 C and 100 MPa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(9), 2470-2482.
- Ireland, T., (2010). Geological Framework of the Mineral Deposits of the Collahuasi district, Región de Tarapacá, Chile: Ph.D. thesis, Hobart, Australia, University of Tasmania, 414p.
- Urqueta, E., Kyser, T. K., Clark, A. H., Stanley, C. R., & Oates, C. J. (2009). Litho-geochemistry of the Collahuasi porphyry Cu-Mo and epithermal Cu-Ag (-Au) cluster, northern Chile: Pearce element ratio vectors to ore. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 9(1), 9-17.
- Goldstein, R. H., Samson, I., & Anderson, A. (2003). Petrographic analysis of fluid inclusions. *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*, 32, 9-53.
- Gustafson, L. B., & Hunt, J. P. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 70(5), 857-912.
- Hedenquist, J. W., & Lowenstern, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370(6490), 519.
- Masterman, G. J., (2003). Structural and geochemical evolution of the Rosario Cu-Mo porphyry deposit and related Cu-Ag veins, Collahuasi district, northern Chile: Ph.D. thesis, Tasmania, Australia, University of Tasmania, 253p.
- Masterman, G. J., Cooke, D. R., Berry, R. F., Walshe, J. L., Lee, A. W., & 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*, 100(5), 835-862.

- Munchmeyer, C., Hunt, J. P., & Ware, H. (1984). Geología del Distrito de Collahuasi y del pórfido cuprífero Rosario: Internal Company Report: Compañía Doña Inés de Collahuasi. Santiago, 84.
- Nash, J. T., (1976). Fluid inclusions petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration, U.S Geological Survey Professional Paper 907-D, p.D01-D16.
- Oyarzún G., (2010). Caracterización estructural del yacimiento Rosario Oeste, distrito Collahuasi, I Región de Tarapaca, Chile: memoria, Concepción, Chile, Universidad de Concepción.
- Roedder, E. (1972). Composition of fluid inclusions. U.S. Geological Survey Professional Paper, No. 440-JJ.
- Roedder, E., & Bodnar, R. J. (1980). Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 8(1), 263-301.
- Roedder, E. (1984). Volume 12: Fluid inclusions. Mineralogical Society of America.
- Roedder, E. & Bodnar, R. J. (1997) Fluid Inclusion Studies of Hydrothermal Ore Deposits. In Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd ed., 657-698.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. Economic geology, 105(1), 3-41.
- Singer, D. A., Berger, V. I., & Moring, B. C. (2002). Porphyry copper deposits of the world: Database, maps, and preliminary analysis. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Sterner, S. M., & Bodnar, R. J. (1984). Synthetic fluid inclusions in natural quartz I. Compositional types synthesized and applications to experimental geochemistry. Geochimica et Cosmochimica Acta, 48(12), 2659-2668.
- Van den Kerkhof, A. M., & Hein, U. F. (2001). Fluid inclusion petrography. Lithos, 55(1-4), 27-47.
- Vergara, H. & Thomas, A. (1984). Hoja Collacagua. Carta Geológica de Chile No. 59, 83 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- Vergara, H., (1978). Carta Geológica de Chile N°33, Escala 1:50.000. Cuadrángulo Ujina. Región de Tarapacá.
- Williams, T. J., Candela, P. A., & Piccoli, P. M. (1995). The partitioning of copper between silicate melts and two-phase aqueous fluids: an experimental investigation at 1 kbar, 800 C and 0.5 kbar, 850 C. Contributions to Mineralogy and Petrology, 121(4), 388-399.
- Yardley, B. W., & Bodnar, R. J. (2014). Fluids in the continental crust. Geochemical Perspectives, 3(1), 1-2.

Zajacz, Z., & Halter, W. (2009). Copper transport by high temperature, sulfur-rich magmatic vapor: Evidence from silicate melt and vapor inclusions in a basaltic andesite from the Villarrica volcano (Chile). *Earth and Planetary Science Letters*, 282(1-4), 115-121.

Zajacz, Z., Seo, J. H., Candela, P. A., Piccoli, P. M., & Tossell, J. A. (2011). The solubility of copper in high-temperature magmatic vapors: a quest for the significance of various chloride and sulfide complexes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(10), 2811-2827.

Zajacz, Z., Candela, P. A., & Piccoli, P. M. (2017). The partitioning of Cu, Au and Mo between liquid and vapor at magmatic temperatures and its implications for the genesis of magmatic-hydrothermal ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 207, 81-101.

9 ANEXO

Anexo A Marco teórico

9.1 Depósitos tipo pórfido

Los depósitos pórfido cuprífero pueden alcanzar hasta más de 100Mt con bajo a moderado grado de mineralización de cobre (0.3-2.0 % promedio) comúnmente diseminado, en brecha o en vetas relacionadas a intrusiones porfídicas graníticas. Son además el tipo de yacimiento más abundante e importante relacionado a este commodity (Cu) invirtiéndose en su investigación y entendimiento más que cualquier otro tipo de yacimiento (Sillitoe, 2010; Singer et al., 2002). La gran mayoría de estos depósitos se forman en márgenes de placas convergentes y sobre yacen plutones o batolitos ampliamente coetáneos al volcanismo, teniendo edades estimadas variando desde el Arqueano hasta el Cuaternario (Singer et al., 2002).

Los minerales explotados por cobre son tanto hipógenos como supérgenos, entre los hipógenos encontramos: calcopirita, bornita, calcosina, enargita y diagenita, mientras que en los supérgenos están: calcosina, covelina, crisocola, malaquita, azurita, y cobre nativo.

9.1.1 Configuración tectónica

Los depósitos tipo pórfido suelen estar asociados a arcos magmáticos y los cinturones orogénicos teniendo una relación que alcanza rangos de decenas a cientos e incluso miles de kilómetros de manera paralela o sub paralela a estos. El ambiente tectónico, por lo tanto, juega un rol importante en el emplazamiento de los pórfidos debido a la influencia en gran escala y con direcciones predominantes de sus régimen de esfuerzos y tensiones, en conjunto con sus efectos en la velocidad de alzamiento, adelgazamiento y fallamientos producidos a nivel cortical (Sillitoe, 2010; Coocke et al., 2005).

Todo lo anterior facilita la formación de cámaras magmáticas y ascensos de fundidos a partir de estas, favoreciendo la existencia de fluidos multifásicos con temperaturas y composiciones propicias para formar depósitos tipo pórfido. Estas cámaras magmáticas y fluidos producen repercusiones en la forma y la ubicación espacial de los pórfidos, estableciéndose su formación entre los 0 y 10 km de profundidad desde la paleo superficie, siendo usual hallarlos entre 1 y 6 km de profundidad con una forma-extensión- seuda cilíndrica. Esta ubicación y forma semi cilíndrica puede ser vista y mejor comprendida en la figura 9.1. En esta figura podemos notar la relación espacial entre stock porfídico de cobre, plutón subyacente, rocas volcánicas suprayacente y el lithocap. El plutón precursor es multifásicos mientras que el plutón parental es un solo cuerpo que asciende en dirección a la línea punteada. Los estadios temprano, intermedio y tardío del stock porfídico se desarrollan profundamente junto en la zona de flujo del plutón parental (Sillitoe, 2010).

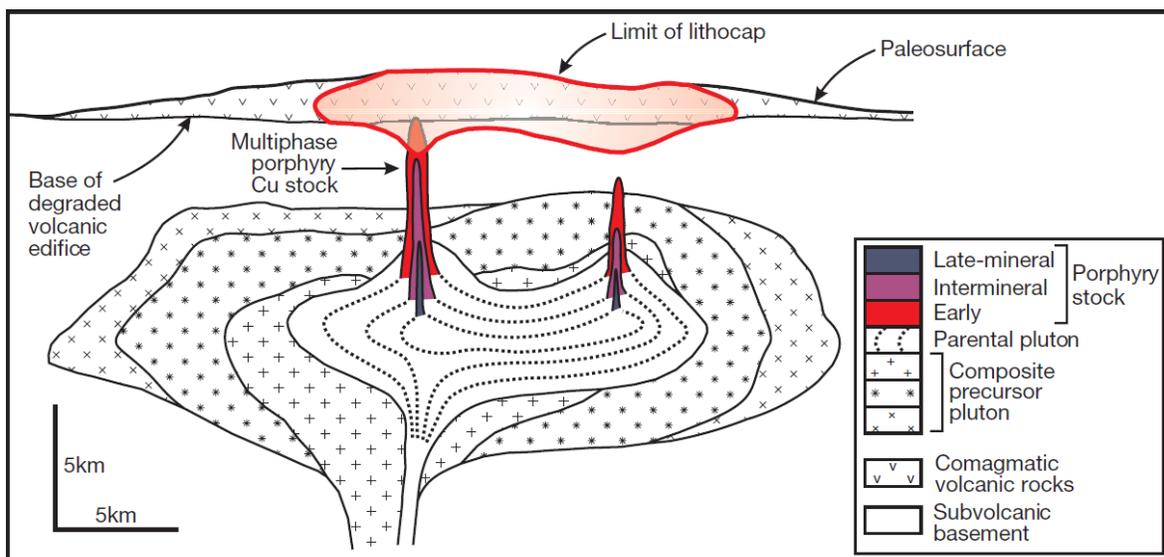


Figura 9.1 Relación espacial entre stock porfídico de cobre, plutón subyacente, rocas volcánicas suprayacentes y el lithocap. Tomado de Sillitoe (2010).

9.1.2 Escala del depósito

Se halla en el centro más profundo del sistema porfídico cuprífero el depósito de pórfido de cobre, donde la geometría de la zona de mineralización depende en general de la forma del stock de vetas o diques junto con la posible influencia tardía del emplazamiento de algún intrusivo porfídico que modifique o traiga grado de mineralización. Bajo estas influencias y sin considerar sobre imposiciones de alteraciones y eventos que modifiquen la geometría se plantea de manera general una forma y disposición elíptica-cilíndrica emplazada de manera vertical (Sillitoe, 2010). Como los diques y stock comúnmente no sobrepasan los diámetros de 1 km, la forma elíptica-cilíndrica en temas horizontal no se extiende a más de 1 km, y dada a los datos obtenidos por explotaciones mineras y sondajes profundo se estima una extensión vertical de estos de entre 2 a >4 km, pero existen excepciones, como lo es el sistema porfídico de Chuquicamata, Chile, el cual presenta una extensión vertical estimada de 14 km (Sillitoe, 2010). Vale destacar que estas geometrías no tienen una relación directa, proporcionalmente hablando, con el contenido de cobre presente.

Cuando hay sobreimposiciones de eventos de alteración y mineralización puede considerarse que el sistema ha sufrido un proceso llamado telescópico, produciéndose una modificación de la uniformidad de la distribución en las zonas de alteración y mineralización, esto se ejemplifica entre las figura 9.2 y 9.3, donde la figura 9.2, sistema sin proceso de telescopio, presenta las alteraciones distribuidas verticalmente bien uniforme y acotadas mientras que en la figura 9.3 estas áreas aumentan y están propensas a sufrir sobreimposición a distintas intensidades, además el modelo de la figura 9.3 se encuentra basado en una distribución litológica en particular, por lo que el tamaño y distribución de estas alteraciones suele variar de depósito en depósito.

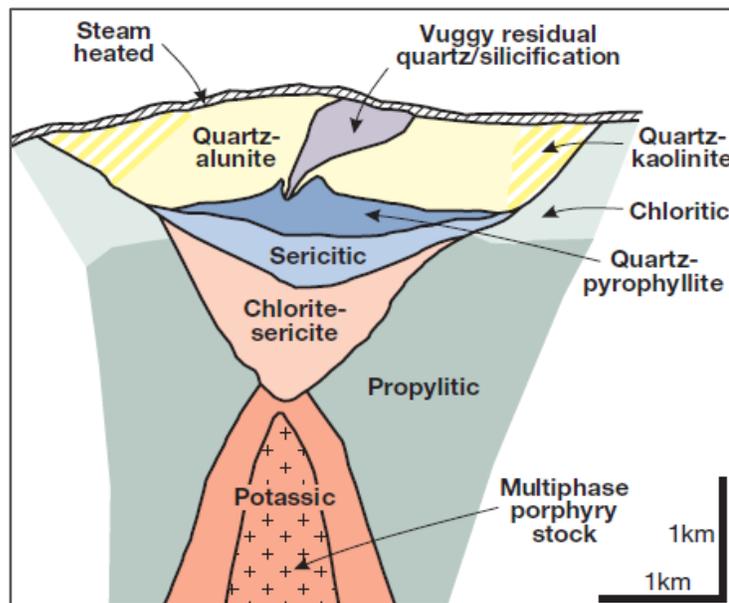


Figura 9.2 Patrón de zonación generalizado de la alteración en un sistema pórfido cuprífero que no ha sufrido telescópico-sobreimposición. Tomado de Sillitoe (2010).

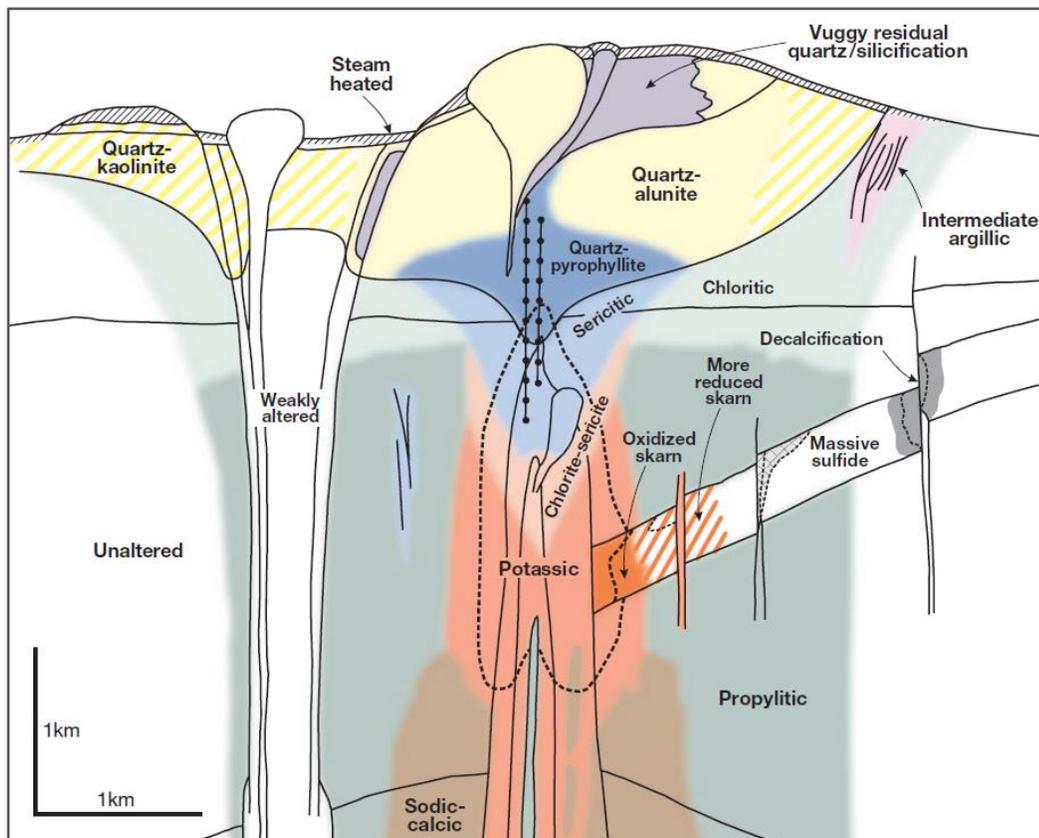


Figura 9.3 Modelo esquemático del patrón de zonación de las alteraciones presentes en un sistema pórfido cuprífero que ha sufrido imposiciones de eventos –telescópico-. Tomado de Sillitoe (2010).

9.1.3 Alteración y mineralización

La zona de alteración y mineralización típicamente afecta varios kilómetros cúbicos de roca, la tabla 2.1 muestra que en promedio se alteran hasta casi 9 km² y 1.25 km² de roca respectivamente (Singer et al., 2002). Como se puede apreciar en las figuras 9.2 y 9.3, es usual encontrar zonación vertical de alteración, pudiéndose indicar en conjunto con la figura 9.1 que el tipo de alteración-mineralización es progresivamente más joven de abajo hacia arriba, esto es gráficamente ilustrado en la figura 9.4 con relación a la temporalidad del proceso que forma la alteración, comenzando con una alteración potásica (la primera en desarrollarse y por ende la más antigua), seguida de clorita-sericita pasando luego a una alteración sericitica para terminar con una alteración argílica de distintos grados a nivel más superficial por procesos más tardío siendo por lo tanto la alteración más joven.

Esta distribución vertical y temporal denota también un aumento de acides en la evolución temporal y zonación vertical de las alteraciones. Sin embargo, esta distribución, esquematizada por la figura 9.2 y 9.4, depende del grado de superposición de eventos que haya sufrido el sistema.

Tabla 9.1 Resumen estadístico del tamaño de las áreas de mena, sulfuro y alteración en DPC (Singer et al., 2002).

Statistic	Area of ore	Area of sulfides	Area of alteration
Mean (km ²)	1.25	7.4	8.9
Median (km ²)	0.6	3.7	5.1
Maximum (km ²)	28	89	82
Minimum (km ²)	0.02	0.18	0.24
Number of deposits	174	173	184

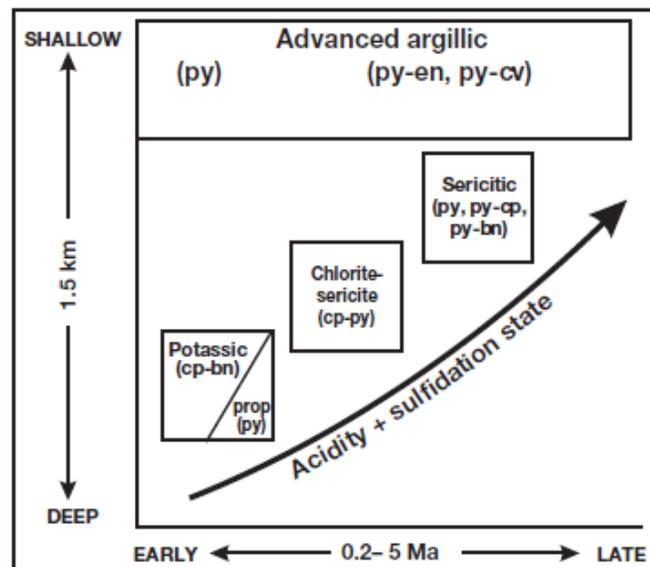


Figura 9.4 Representación esquemática de la secuencia temporal de la generación de alteración y mineralización en la formación de un sistema pórfido cuprífero relacionado con la paleopropundidad. El incremento en la acidez es una consecuencia del decaimiento de la temperatura del sistema. Tomado de Sillitoe (2010).

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las alteraciones presentes en las figuras 2.2 y 2.3, descripciones basadas en Sillitoe (2010) y Singer et al. (2002)

9.1.3.1 Alteración calco-sódica

Usualmente ubicada en lo profundo, aunque es posible encontrar desarrollos a lo largo de los costados o bajo del sistema porfídico. Caracterizada por una fuerte alteración alcalina que genera un enriquecimiento de Na y/o Ca en los minerales, usualmente las plagioclasas se enriquecen en Na mientras que las micas potásicas se enriquecen en Ca-Mg-Fe. Presenta vetillas tipo M.

Minerales característicos: plagioclasas sódicas, actinolita, clorita, epidota, titanita, piroxenos cálcicos.

9.1.3.2 Alteración potásica

Se asume siempre en el sector centro-profundo del sistema porfídico donde se inicia la mineralización de sulfuros a altas temperaturas. Caracterizadas por la presencia de stock de vetillas ricas en cuarzo tipo A, B y transición AB. Presenta feldespato potásico o biotita dependiendo de la composición de la roca caja (si es más félsica o mafica).

Minerales característicos: feldespato potásico y/o biotita predominante, puede haber bornita, calcopirita, pirita, magnetita, actinolita, otros.

9.1.3.3 Alteración propilítica

Ubicada en la parte marginal del sistema bajo el "lithocap" (zona de alteración argílica avanzada). La roca presenta una hidratación, carbonatación, oxidación y/o sulfuración por lo que se caracteriza por la presencia de minerales hidratados y no precisa de tipo de vetilla.

Minerales característicos: Clorita, epidota, albita, carbonatos, junto con actinolita, hematita pirita.

9.1.3.4 Alteración clorita-sericita

Comúnmente en la parte superior de la zona central del sistema porfídico, caracterizada por vetillas con clorita-sericita y algunos sulfuros, es posible encontrar calcopirita que sea explotable por cobre.

Minerales característicos: clorita, sericita-illita, hematita tanto especular como martirizada

9.1.3.5 Alteración sericitica o filica

Parte superior del pórfido cuprífero, caracterizada con vetillas de cuarzo-sericita y es posible encontrarla con stock de vetillas tipo D espaciadas de manera cercana entre sí. Puede ser muy pervasiva logrando abarcar hasta 1 km³ de roca, generando un remplazo masivo en las rocas por minerales micáceos, principalmente, sericita. Es posible que represente una zona de interés cuprífera si está dominada por pirita removiendo de manera efectiva el Cu de las zonas potásicas y clorita-sericita.

Minerales característicos: cuarzo y sericita, con o sin hematita especular, pirita y/o calcopirita.

9.1.3.6 Alteración argílica intermedia y argílica avanzada:

Alteración que remueve los cationes alcalinos y que según el grado de hidrólisis - lixiviación que sufra la roca y a que temperatura lo sufre desarrolla una alteración argílica intermedia o argílica avanzada. La primera suele darse a temperaturas más bajas, pero con pH más altos, caracterizándose por la presencia caolinita, esmectita, incluso puede presentar pirita, mientras que la argílica avanzada ocurre a mayor temperatura y a iguales o menos pH y puede llegar a una lixiviación de la roca que deje solo cuarzo residual (Vuggy), eventualmente si no es el caso puede hallarse alunita, jarosita, caolinita, pirofilita, dickita.

Minerales característicos: cuarzo residual, alunita, pirofilita, caolinita, diásporo, andalucita, corindón, topacio u otros silicatos con aluminio y/o flúor.

9.1.4 Transporte de cobre y tipos de ligantes en sistema magmático-hidrotermal

La asociación de los metales en depósitos tipo pórfidos y epitermales con respecto a rocas magmáticas félsicas han generado intensas investigaciones en la comprensión de la relación existente entre los procesos magmáticos y los procesos hidrotermales para generar la génesis de estos yacimientos (Sillitoe, 2010), dado que a su vez son estos dos sistemas los principales yacimientos de los cuales se extraen metales como los son el cobre y otros más preciosos como plata y oro, son foco de constante investigación científica.

La intensa investigación enfocada en comprender la fuente de los metales de estos yacimientos junto con investigaciones que buscan comprender el transporte de los metales ha llevado bastantes años. Se destacan de estas las publicaciones de Burnham (1979 y 1997) las cuales establecen una amplia visión del enriquecimiento de los metales dado los procesos magmáticos durante su ascenso, como también trabajos como el de Bodnar y Cline (1991) que establecen una correlación entre la formación de yacimientos pórfido cuprífero y el necesario contexto del ascenso -emplazamiento- de fuentes magmáticas. A la misma vez, los trabajos de Candela y Holland (1984), Hedenquist y Lowenstern (1994), Williams et al. (1995), Zajacz y Halter (2009), Frank et al. (2011) y Zajacz et al. (2011), han generado importantes conocimientos respecto al rol de los ligantes del cobre para transportar el metal y poder originar los depósitos tipo pórfidos cupríferos dada las condiciones de transición magmática-hidrotermal en las que se encuentran enmarcados.

Burnham (1997) establece la evolución de un magma y su enriquecimiento durante su ascenso, mostrando como este se va diferenciando y aumentando sus concentraciones de salinidad, ligada principalmente al cloruro de sodio. Esta evolución se presenta en la figura 9.5, donde un fluido inicialmente con 6% en peso de NaCl sufre ebullición a los 950°C y 600 bares generando una coexistencia de fase líquida con gaseosa del 7 % y 93% del total de la ebullición, y estas separan el porcentaje de salinidad del sistema siendo este 7% de fase líquida una salmuera con 72% de salinidad (porcentaje en peso NaCl equivalente) y el 93% de fluido gaseoso posee solo un 1 wt% de porcentaje en peso de NaCl equivalente. Una segunda ebullición ocurre en el punto B a menores temperaturas, pero mayores presiones, donde el porcentaje de salinidad total del fluido por la previa separación ha aumentado a un 8.5% en peso, donde la ebullición produce nuevamente dos fases fluidas, líquida y gaseosa, en una proporción del 11 % y 89%, pero con salinidades de 53% y 2%. Sin embargo, en el punto C, con una presión de 2,000 Kbar se produce una ebullición que solo genera una sola fase con un 12.5% de NaCl, mostrando un comportamiento dependiente de los resultados de la ebullición del sistema directo con la presión, considerándose que la formación de dos fases o una fase sucede en el límite de los 1,4 Kbar. Este

mecanismo de formación de fluidos con altas concentraciones de cloro, da nociones de cómo se enriquece un sistema en cobre si se asume que los metales clorurados se comportan similar a la NaCl, y entre estos metales consideramos el cobre. Apoyándose esta noción de complejo clorurado con la tabla 9.2 sacada de Hedenquist y Lowenstern (1994) en la que se muestra las concentraciones y el principal ligantes del cobre (Cl) en un magma félsico que genera la formación de un depósito pórfido cuprífero.

El contenido de cobre de la roca de la cual se produce el magma, el grado de fusión parcial con el que se genera y la concentración de metales de algún magma relicto (restita) que mezcla con estos fundidos, junto con el nivel de cristalización fraccionada a niveles de emplazamiento y grado de cristalinidad del magma durante las ebulliciones, juegan un rol importante en el enriquecimiento de cobre del sistema.

Sin embargo, otros estudios han considerado el inicio de estos procesos formadores de yacimiento como fuente original de los sucesos: la formación y evolución de un magma máficos. Como estos están inicialmente caracterizado por poseer concentraciones de azufre (S), se ha indicado que el transporte del cobre originalmente comienza mediante el ascenso de un fundido máficos estando ligado a iones asociado al elemento de azufre, este fundido a medida que sufre descompresión y cristalización exsuelve volátiles sulfurados que son los principales captadores, removedores y enriquecedores en cobre en una fase fluida (vapores) separada del fundido máfico inicial (figura 9.6), y que al generarse un contacto y mezcla no miscible entre este fundido máfico coexistente con fase fluida enriquecida en cobre y un fundido félsico, proporcionaría el enriquecimiento de cobre o traspaso de cobre al magma félsico (Zajacz y Halter, 2009).

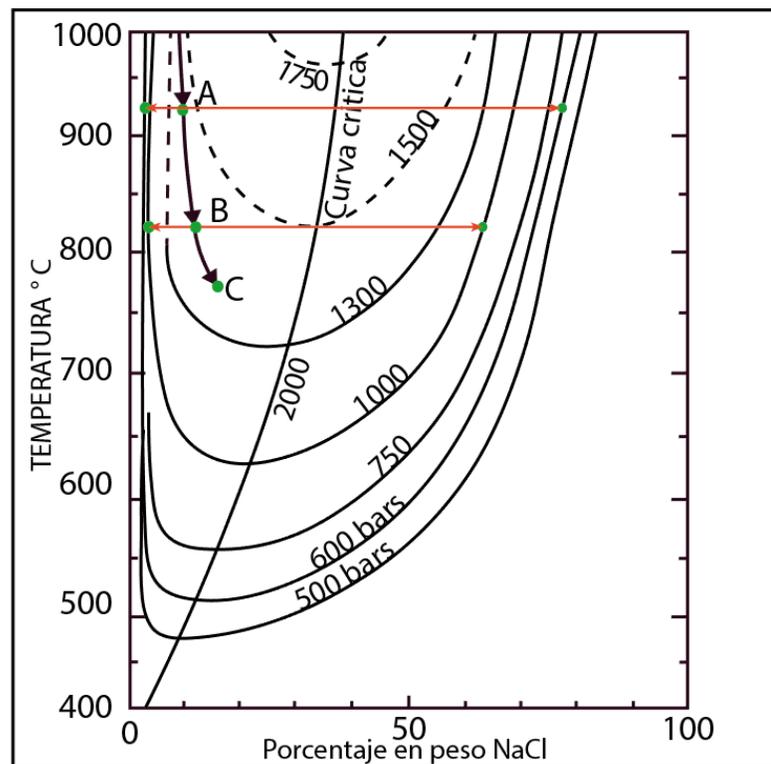


Figura 9.5 Proyección T-X del sistema NaCl-H₂O, con las curvas de las presiones de 500 a 1,750 bares. Punto A, B, C representan la trayectoria de diferenciación con eventos de ebullición de un fluido inicialmente con porcentaje de

salinidad total del 6% en peso de NaCl, estas ebulliciones suceden a los 600 bares en el punto A, 1,000 bares en el punto B. Tomada y modificada de Burnham (1997).

Tabla 9.2 Típica concentración de metales en granito y depósitos tipo pórfido. Tomado y modificado de Hedenquist y Lowenstern (1994).

Metal	Promedio de concentración ppm, en granitos.	Concentración típica en ppm de depósitos tipo pórfido.	Probable componente ligante en fluido magmático
Cu	12	>5,000	Cl
Mo	1.5	>1,000	OH

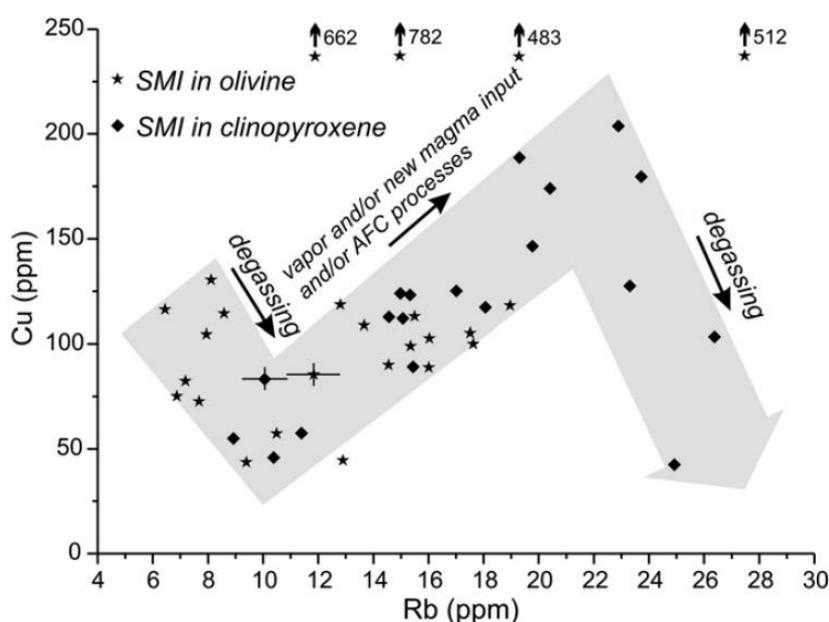


Figura 9.6 Concentraciones de cobre medidas en inclusiones fundidas sintéticas en olivino y clinopiroxeno en función de los valores de Rb, como representante del grado de diferenciación del magma y según el proceso que sufre el fundido. Tomada de Zajacz y Halter (2009).

Trabajos como Cline y Bodnar (1991) y Bodnar (1995) han mostrado la importancia de la salinidad y en particular del elemento cloro para formar complejos clorurados de cobre y generar, de dicha forma, su transporte en los sistemas félsico como génesis de depósitos porfídicos, destacando a su vez la importancia de las condiciones que se encuentra el fundido félsico, como el grado de cristalización y/o el grado de exsolución de volátiles, junto con la consideración de la temperatura y presión a la cual sucede, un ejemplo se ve en la figura 9.7 donde a diferentes presiones y porcentaje de cristalización, la mineralización de cobre se va modificando positiva o negativamente, efecto que sufre de igual manera la salinidad del fluido siendo un comportamiento dependiente de la profundidad.

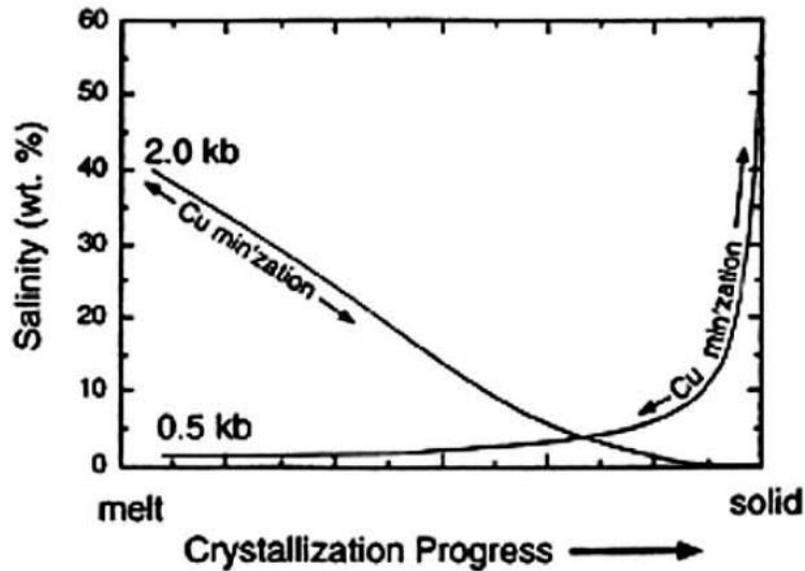


Figura 9.7 Variación en la salinidad del fluido separado producto la cristalización de un magma de composición intermedia, a presiones 0.5 y 2kbar. Tomada de Bodnar (1995).

Bajo estas perspectivas presentadas se puede establecer un escenario general con respecto al transporte y los ligantes del cobre estando en un sistema magmático, un sistema hidrotermal y/o una transición magmático-hidrotermal. Se tiene la importancia de los siguientes factores: Magma máfico, magma félsico (y sus pertinentes condiciones fisicoquímicas), ligantes asociado al azufre (formación de complejos sulfurado) y ligantes asociados al cloro (formación de complejos clorurados). Es importante conocer bajo qué condiciones del sistema está sometido el cobre para poder establecer afinidades y niveles de partición, y poder así discernir que mecanismo de transporte tomaría lugar.

Williams et al. (1995) presenta un estudio del transporte de cobre y su afinidad a las fases presentes cuando hay coexistencia de 3 fases en un sistema félsico: vapor, salmuera y fundido silicatadas. Bajo diferentes condiciones de presión y temperatura y en función de la salinidad, tomando como referencia la importancia del sodio y el cloro (salinidad proveniente del cloruro de sodio en el sistema, NaCl), estima la afinidad. La afinidad es representada mediante el cálculo del coeficiente de partición del cobre entre las fases, y se puede ver en las tablas 9.3 y 9.4, donde demuestra que la partición del cobre entre la fase vapor y salmuera está fuertemente relacionada a la salmuera y a su vez está controlado por la despresurización que sufre el sistema, producto que el cambio de presión manifiesta un cambio en la concentración de cloro en las salmuera (mayor en las salmuera de menor presión), mientras que la partición entre salmuera y fundido presenta un comportamiento inverso, siendo mayor a mayor presión, sin embargo cuando se considera tanto la fase de vapor como de salmuera como un solo fluido en comparación con el fundido, el cobre presenta un comportamiento diferente sobre y bajo 1kbar de presión.

Tabla 9.3 Constante de equilibrio aparente para el intercambio de cobre-sodio entre la mezcla de fluidos gaseosos y líquidos (separados del fundido) y el fundido silicatado. Tomado y modificado de Williams et al. (1995).

Referencia	$K^{aqm/mlt}$ de cobre, sodio	Presión / Temperatura
Williams et al. (1995)	11 (+ 6)	0.5kbar/850°C
Williams et al. (1995)	215 (+73)	1kbar/800°C
Candela y Holland (1984)	20 (5.6) ^b	1.4kbar/750°C

Tabla 9.4 Valores de coeficiente de partición modelado para el cobre entre: salmuera y fundido silicatado y, salmuera y vapor diluido. Tomado y modificado de Williams et al. (1995).

Presión/Temperatura	$D^{aqb/mlt}$ del Cu	$D^{aqb/aqv}$ del Cu
1kbar/800°C	700	120
0.5kbar/850°C	40	200

aqb: fluido liquido tipo salmuera; **aqv:** fluido gaseoso de baja densidad; **aqm:** mezcla de salmuera y gas; **mlt:** fundido.

Por lo que el transporte como complejo clorurado, ya sea en el fundido silicatado o en las fases que de este se exsuelve (vapor y salmueras), es controlado por la presión y la partición misma del cloro en estas fases, bajo condiciones de presión y temperatura magmáticas.

De manera similar a lo anterior, se han realizado estudios considerando el transporte como complejo sulfurado en condiciones magmáticas en fundidos silicatado (Frank et al., 2011). En este estudio se ha mostrado la dependencia de la partición del cobre entre la fase fundida y los fluidos separados de ella, y entre las fases de los fluidos separados, vapor y salmuera, del fundido. Esta dependencia nuevamente calculada mediante la utilización del coeficiente de partición del Cu se muestra en las figuras, graficas, 9.8 y 9.9, donde podemos notar como a medida que aumenta la actividad de azufre el cobre va disminuyendo o aumentando la preferencia de una fase con respecto a la otra, ya sea fundido-vapor o fundido-salmuera o salmuera-vapor.

El cobre muestra una fuerte partición diferencial entre la fase de salmuera y vapor versus el fundido silicatado representado por la pendiente negativa de la figura 9.8. Si se considera la figura 9.9 se ve como el cobre prefiere la fase vapor a medida que aumenta la actividad de azufre, razón por lo cual la gráfica 9.8 pose pendiente negativa al aumentar la actividad en el sistema y la partición hacia las fases separadas del fundido. Nótese, en la figura 9.9, que en un inicio el cobre es concentrado fuertemente en la salmuera. Esto hace referencia a la importancia de la formación de especies metálicas sulfurada (Frank et al., 2011).

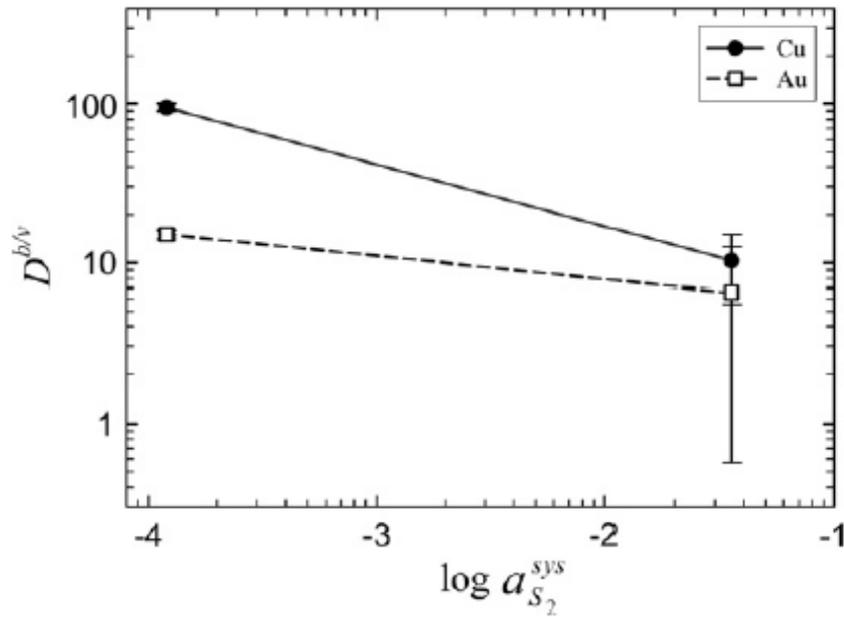


Figura 9.8 Gráfica del valor de coeficiente de partición del cobre (línea con círculo relleno) entre la fase líquida hiper salina (salmuera, “D^b”) y la fase gaseosa (“D^v”), separadas del fundido, en función de la actividad del azufre. A mayor actividad del azufre el cobre aumenta su preferencia hacia la fase gaseosa. Tomada de Frank, et al. (2011).

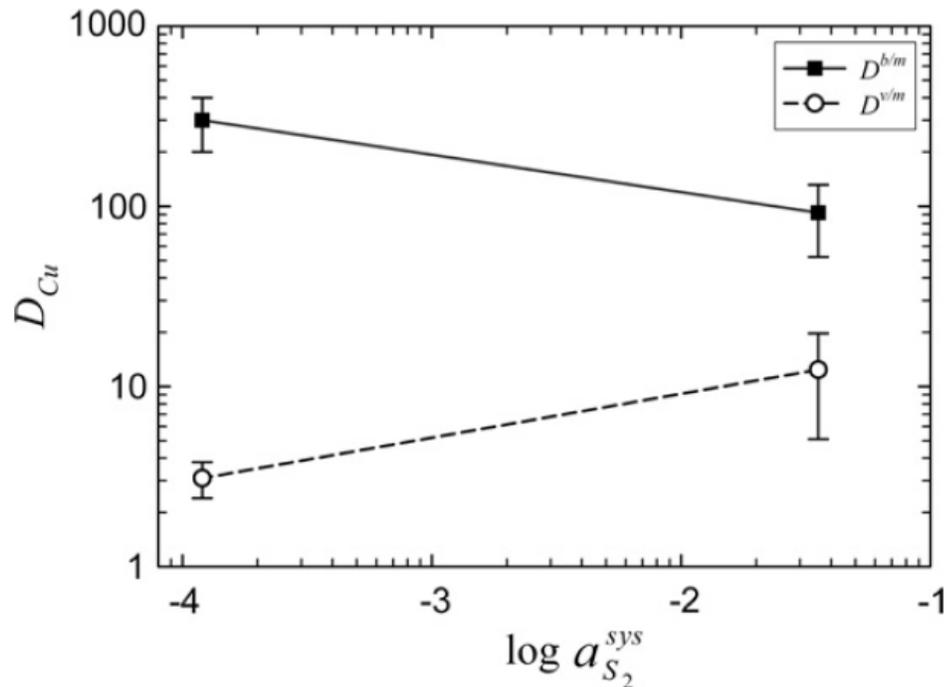


Figura 9.9 Gráfica del valor de coeficiente de partición del cobre entre la fase líquida hiper salina (salmuera, D^b) y el fundido, línea con cuadrado relleno, y la fase gaseosa (D^v) y el fundido, línea con círculo, ambos casos en función de la actividad del azufre. A mayor actividad del azufre el cobre aumenta su preferencia hacia el fundido en vez de la salmuera mientras que de igual manera aumenta su preferencia hacia la fase gaseosa en vez del fundido. Tomada de Frank et al. (2011).

Recapitulando lo visto, tenemos que en magmas máficos el transporte de cobre es preferentemente como complejo sulfurado y fuertemente particionado en las fases de vapor que de este fundido se separan a medida que se descomprime y cristaliza el fundido, mientras que en

los fundidos silicatados su transporte es tanto complejo clorurado y como complejo sulfurado, teniendo cada uno afinidad diferente a la fase líquida (salmuera) o a la fase gaseosa separadas del fundido, siendo a su vez proporcional a la concentración de estos elementos (Cl y S) y teniendo relación nuevamente con la presión y la cristalización del fundido.

9.1.5 Transporte del cobre en sistemas pórfido cuprífero: líquido versus vapor

En el punto 9.1.4 se vio como el cobre llega al sistema hidrotermal a partir de fuentes magmáticas y los procesos de transporte y partición que sufre en estas condiciones, resaltando la importancia de la presión, la temperatura, la cristalización del fundido, la concentración o actividad de azufre y cloro junto con la separación de fases que este sufre al ascender y como estos elementos se particionan entre estas nuevas fases coexistentes con el fundido y lo que esto implica para el cobre.

Una vez fuera de las condiciones magmáticas y contextualizado en condiciones hidrotermales con fundidos principalmente diferenciados y con magmas refractarios producto de fundidos previos, hay que ver como el cobre se transporta y cuáles son sus preferencias entre las fases líquidas o vapor que se producen bajo condiciones de formación de los yacimientos tipo pórfido. La importancia de estos es producto que la formación de yacimientos se genera a partir de fundidos que al ascender sufren por diversos motivos separaciones de fases generando una fase líquida y una fase gaseosa. Ejemplo de esto son procesos de ebullición, desgasificación y formación de fluidos acuosos bien salinos y salmueras (Sillitoe, 2010).

Zajacz (2017) realiza un estudio que pone de manifiesto el comportamiento del cobre y otros elementos como el oro y el molibdeno bajo condiciones de sistema porfídico para poder mejorar la comprensión de la movilidad de estos elementos y así tratar de hacer uso del conocimiento para mejorar el entendimiento y aportar en la exploración de los yacimientos tipo pórfidos. Este estudio lo realiza mediante el análisis de inclusiones fluidas sintéticas.

Dado que el sistema de fluido hidrotermal puede ser comprendido mediante la relación existente entre agua, sales y gases, se establece su análisis de solubilidad y partición del cobre entre fases líquidas o fases gaseosas considerando fluidos hidrotermales de diferentes combinaciones de estas sales y gases, generando por tanto, diferentes escenarios representativos del sistema hidrotermal. Estos análisis son representados en la figura 9.10, con la que se ilustra como la solubilidad del cobre tanto para la fase líquida y la fase gaseosa incrementa con la adición de azufre reducido en el sistema NaCl-KCl-H₂O, y a la vez muestra como incrementa aún más al adicionar HCl, ambos casos vistos por separados. Cuando se considera como adición conjunta al sistema, el efecto del S en la solubilidad del cobre en los vapores que tienen HCl o líquidos que tienen HCl es casi nulo. De igual forma se puede establecer una relación de la solubilidad del cobre con respecto a la temperatura, siendo mayor a menor temperatura tanto para fluidos que tienen HCl o azufre (Zajacz et al., 2017).

Dado que el cobre se fracciona más en las soluciones acuosas que las soluciones gaseosas con el NaCl, indica que el cobre genera mayor estabilidad en las soluciones en conjunto con la partición preferente de la NaCl hacia esta fase acuosa, y su manera pensada para otorgar dicha estabilidad es mediante la formación de complejos de cobre coordinados con dos átomos de cloro más un catión, generándose especies neutras como HCuCl₂ o (Na,K)CuCl₂ a altas temperaturas (~1000°C), siendo importante por tanto la partición de estos cationes, particularmente el Na⁺, entre la fase líquida y la fase gaseosa, demostrando que con adiciones de Na y aumentos de la

actividad del S reducido en el sistema el cobre prefiere más la fase vapor mientras que a muy bajas actividades de azufre y con la presencia de los cationes prefiere la fase líquida (salmuera) (Zajacz et al., 2017).

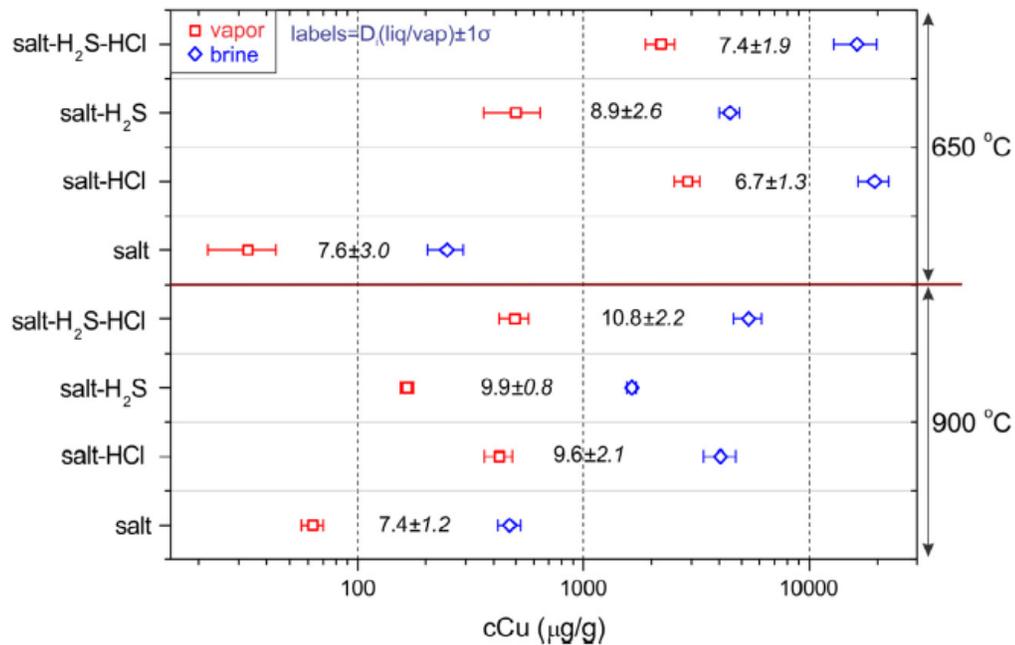


Figura 9.10 Solubilidad aparente del cobre en fase líquida o en fase vapor graficado mediante su coeficiente de partición según el sistema considerado y bajo diferentes condiciones de temperatura. Rectángulos rojos son valores representativos de la partición hacia la fase vapor y rombos azules hacia líquida (salmuera). Tomada de Zajacz et al. (2017).

Considerando que el primer fluido magmático que da origen al sistema porfídico es principalmente de composición intermedia y con salinidades del 5 al 10 wt%, y genera usualmente una separación simultánea de fases líquidas y gaseosa (ver figura 9.5 Burnham, 1997) se puede hablar que en las partes bajas del sistema, donde predomina el fundido y la fase fluida separada, se genera una fuerte partición de los elementos, en particular del cobre, hacia la fase líquida, mientras que en la parte alta del sistema, donde domina la fase gaseosa, se ve una preferente partición del cobre hacia ella. En otras palabras, se transporta a las partes más superficiales del sistema mediante la fase gaseosa, mecanismo de transporte que fomenta y prioriza la formación de los epitermales que suelen encontrarse cubriendo los sistemas porfídicos.

Retomando la importancia en profundidad del transportarse en la fase líquida y dado que la NaCl es el principal metal de complejo clorurado abundante en el fundido, la comprensión de la partición del Na entre fase líquida o fase gaseosa se transforma relevante para el entendimiento de la partición de cualquier otro metal formado como complejo clorurado. En este sentido, el líquido condensado es proporcional a la cantidad de metales clorurados formados y esto controla el campo de coexistencia entre líquido y vapor del sistema, reteniéndose la gran cantidad del cobre en este líquido, pero existe otra pequeña parte que se queda y transporta en el vapor (Bodnar, 1985; Zajacz et al., 2017).

9.1.6 Clasificación de vetas

Es característico encontrar múltiples vetillas y entrecruzamiento de vetillas en los depósitos tipo pórfidos. Gustafson y Hunt (1975) generaron una nomenclatura (vetillas tipo A, B, D) tras analizar el depósito El Salvador, Chile, de manera que establecieron las primeras secuencias temporalmente de vetillas importantes que toman lugar durante el proceso de formación de un depósito tipo pórfido. A esta clasificación temporal de las vetillas con el aporte de diferentes estudios con el objetivo de poder globalizar más el entendimiento de los tipos de vetillas y sus relaciones en la formación de los pórfidos cupríferos, se han agregado nuevas clasificaciones y tipos de vetillas. Por ejemplo: Dilles y Einaudi (1992) establecieron las vetillas tipo C, Arancibia y Clark (1996) las vetillas tipo M, Masterman (2005) las vetillas tipo E y TES (estadios tardíos de tenanita-enargita).

De manera general las vetillas se pueden dividir en tres grupos según temporalidad: vetillas tempranas, intermedias y tardías.

9.1.6.1 Vetas de temporalidad tempranas

Según Gustafson y Hunt (1975), el 75% del cobre emplazado en el pórfido estudiado se generaría en las etapas tempranas durante el proceso de la alteración potásica en conjunto a una mineralización de sulfuros de bajo azufre. Consideran además que las familias de vetillas tempranas de cuarzo presentes usualmente entre las intersecciones de diferentes secuencia de emplazamiento de intrusivos porfídicos son las clasificadas como Tipo A. Caracterizadas, aparte de la relación espacial entre la secuencia intrusiva, por grosor que varía entre 1 a 25 milímetros y por encontrarse cortadas por todas las otras vetillas. A medida que estas se van desarrollando varían en forma y continuidad siendo las primeras orientadas al azar y discontinuas y segmentadas aparentemente emplazadas después de que las rocas sufrieron fracturamiento frágil, mientras que las desarrolladas al final tienen a tener murallas más paralelas, continuas y orientadas sistemáticamente a las fracturas pre-existentes, incluso pueden presentar simetría interna en la cristalización de feldespatos potásicos.

Al desarrollarse en los comienzos del sistema porfídico en conjunto a la alteración potásica, el desarrollo de halos es débil, es más notorio en las últimas vetillas tipo A emplazadas sobre roca fresca sin alteración silica-potásica.

Arancibia y Clark (1996) establecieron en su investigación el desarrollo de hidrolisis rica en Fe previa al desarrollo inicial de la alteración silica-potásica que caracteriza el emplazamiento de las vetillas tipo A. En esta hidrolisis se consideran el desarrollo de vetillas caracterizadas principalmente por cuarzo, **magnetita**, anfíbol rico en calcio y plagioclasa en distintas proporciones, y que varían en continuidad, regularidad, rugosidad en el transcurso de esta etapa previa. Por lo que estas se han definido como vetillas tipo M, y se desarrollarían primero que las vetillas tipo A.

Mineralógicamente las vetillas tipo A son de asociación de cuarzo granular con feldespatos peritítico, anhidrita y con calcopirita y bornita diseminada. Si presenta pirita, nunca estaría con bornita y se estaría en las fronteras cercanas al depósito. Se ha descrito que poseen extrema abundancia de inclusiones fluidas de alta salinidad y ricas en vapor.

9.1.6.2 *Vetas de temporalidad intermedias*

Gustafson y Hunt (1975) consideran que el proceso intermedio del desarrollo de un pórfido esta al desarrollarse una alta sulfuración y bajo un fuerte ambiente hidrolítico caracterizado por el emplazamiento de vetillas de cuarzo, abundante molibdenita, y turmalina.

Estas vetillas se han clasificado como tipo B, las que presentan una estructura planar, continuas y con murallas paralelas variando de 5 a 50 milímetros de espesor y es usual que tengan forma interna bandeada. Se caracterizan por presentar molibdenita y granos gruesos de cuarzo con falta de feldespatos potásico y con posible presencia de minerales de alteración hidrolítica en su interior o en los halos. Es posible encontrar variaciones texturales en el cuarzo de su interior, incluso hallar cuarzo residual (“vuggy”).

A la vez que las vetillas tipo A pueden presentar sulfuros similares al ambiente que les rodea, las vetillas tipo B ubicadas al centro de la alteración tienden a contener diferentes sulfuros del ambiente, caracterizadas principalmente por su abundancia en molibdenita. Es posible encontrarlas con pirita producto a vetillas más tardías ricas en pirita que generan su apertura y rellenado, considerándose este proceso como un agente responsable en el desarrollo del halo de alteración que estas vetillas tipo B puedan presentar. Estos débiles halos de alteración ocasionalmente son tenues e irregulares.

Se han descrito abundantes inclusiones fluidas de alta salinidad y ricas en vapor como las vetillas tipo A, en alguno de los casos el cuarzo más joven del interior presenta inclusiones de baja salinidad, ricas en líquido.

Dilles y Einaudi (1992) durante su estudio encontraron vetillas diferentes a la tipo A y B y, distinta incluso a las vetillas resultantes del entrecruzamiento entre A y B, además estas vetillas mineralógicamente distintas eran cortadas por vetillas tardías tipo D. Lo que género que se establecieran como vetillas intermedias posterior a las vetillas tipo B, llamándolas tipo C.

Estas vetillas tipo C se caracterizan por poseer una combinación de minerales de calcopirita, pirita o bornita, cuarzo, epidota y clorita, frecuentemente cortadas por vetillas tipo D provenientes de la alteración sericitica. Se ha considerado que el contenido de cobre de las vetillas C provienen de remover cobre de las vetillas tipo A y B pues los minerales internos y las rocas no presentan lixiviación, quedando como única fuente las alteraciones/vetillas previas.

9.1.6.3 *Vetas de temporalidad tardías*

Según Gustafson y Hunt (1975) el evento tardío está caracterizado por una mineralización abundante en pirita y una alteración hidrolítica fuerte que destruye el feldespatos potásico y la biotita. Esto produce principalmente vetillas de cuarzo-pirita, vetillas de pirita con halos de alteración sericitica, o pirita diseminada en zonas con pervasiva sericitización.

Bajo el contexto anterior se desarrollan las vetillas tipo D. Estas cortan todas las vetillas previas como también se presentan en todas las rocas excepto las lateritas, pueden ser de un ancho menor a un milímetro hasta más de 20 centímetros, son continuas y están orientadas sistemáticamente con respecto a las fracturas. Contienen elevadas proporciones de pirita y en menor cantidad calcopirita, bornita, enargita, tenanita, esfalerita y galena, usualmente con muy poco cuarzo e incluso estos son pobres en inclusiones fluidas, de hallar en las inclusiones fluidas serian ricas en

líquido. Es habitual encontrar simples halos de alteración sericitica o sericita-clorita en las vetillas tipo D pequeñas.

Se ha considerado que cuando las vetillas tipo D cortan roca fresca en un ambiente porfídico, estas proporcionarían una leve adición en el contenido de cobre de dicha zona. Mientras que al desarrollarse sobre los ambientes de alteración previos y hallarse cortando a las vetillas tempranas e intermedias, cumpliría la función de un retrabajo en el contenido del cobre del sistema.

Masterman (2005) especifica más en el desarrollo de las vetillas tardías y define la tipo E como sulfuros polimetálicos masivos que cortan todas las otras vetillas excepto la tipo D. Estas poseen espesores entre 5 milímetros a 10 centímetros concentradas cerca de fracturas o fallas.

Mientras que las vetillas tipo TES está caracterizada por la presencia de tenanita y enargita producto principalmente de reemplazar la pirita, bornita, calcopirita y calcosina de vetillas tipo E. Pueden presentar microfracturas que cortan bornita y calcopirita.

Un entrecruzamiento esquemático esperable como característica temporal se puede apreciar en la figura 9.11 y figura 9.12. En la figura 9.11 notamos el desarrollo del entrecruzamiento de las vetillas, producto a la correspondiente temporalidad de su formación, tanto en pórfidos tipo cobre molibdeno, 9.11a, como en pórfidos cobre oro, 9.11b. La figura 9.12 es una muestra de la presente investigación, donde una vetilla tipo B es cortada posteriormente por una tipo D.

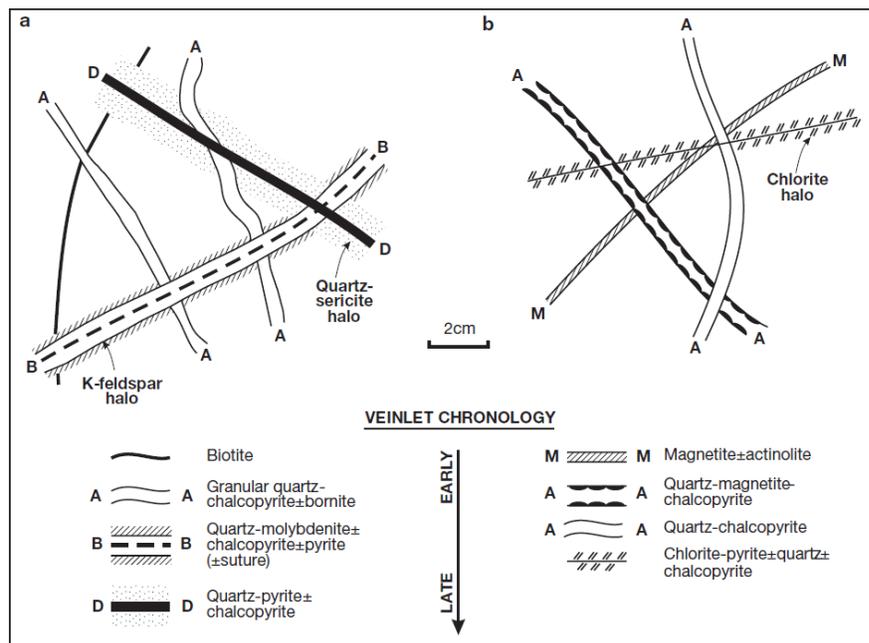


Figura 9.11 Esquemática secuencia temporal de entrecruzamiento de vetilla en un depósito pórfido Cu-Mo en (a) y Cu-Au en (b). Para el caso a se tiene un inicio de vetillas delgadas de biotita, cortadas luego por vetillas tipo A, que son cortadas por tipo B y tardíamente se presentarían las tipo D. Tipo de vetillas definidas por Gustafson y Hunt (1975). La zona entre vetillas suele presentar alteración potásica, predominando feldespato K. Tomado de Sillitoe (2010).

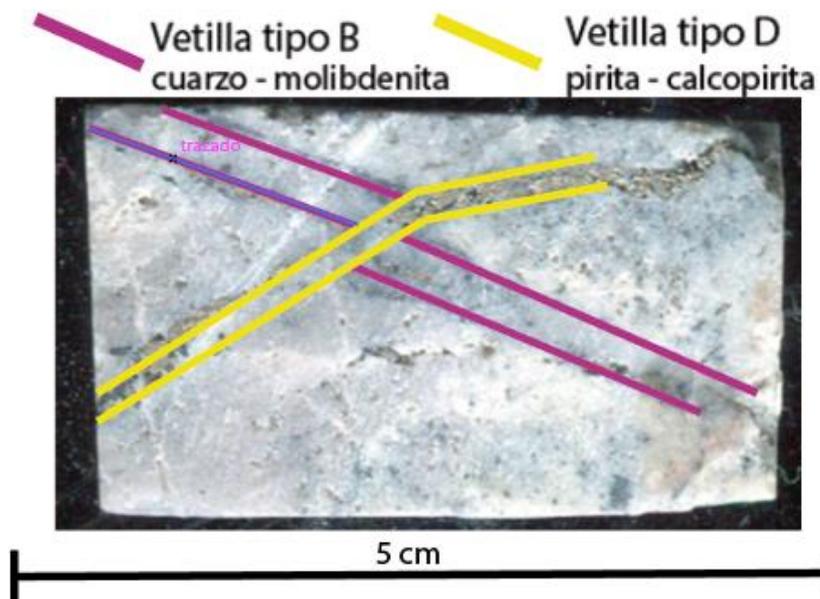


Figura 9.12 Muestra de un rechazo del presente estudio con presencia de vetillas entrecruzadas tipo B y D. La vetilla tipo B esta rellena de cuarzo con bordes de molibdenita y la vetilla tipo D rellena de pirita y calcopirita. Para ver el rechazo sin modificación ir a Anexo H. Muestra: VD-09-03-10.

9.1.7 Exploración de pórfidos cupríferos

Existen diversas técnicas para explorar zonas nuevas o mejorar el entendimiento de posibles prospectos rentables donde la interpretación juega un rol importante dado que ninguna técnica es certera por sí sola, por lo que en muchos casos se complementan las técnicas para aumentar la confianza y facilidad a la interpretación del sector estudiado.

El recurso más antiguo y que siempre se utiliza es el mapeo geológico centrado en caracterizar los aspectos geológicos como: las estructuras, la litología, las alteraciones y su extensión y las vetillas presentes. Todos estos factores cumplen un rol en la formación de los depósitos pórfido cuprífero, siendo útiles para definir la mineralización, su distribución o por lo menos la forma espacial del yacimiento estudiado. Un ejemplo de la caracterización de mineralización junto con la identificación de lugares probables de ocurrencia sería encontrar stockworks de vetillas tipo A con sobreimposición de vetillas tipo D y alteración sericitica o argílica avanzada, como también otra buena referencia para comprender el sistema estudiado sería mapear zonas extensas de alteración que podrían estar indicando la extensión y proximidad (forma espacial) del sistema hidrotermal tipo pórfido (Sillitoe, 2010). Todos estos mapeos de alteración pueden ser muy bien apoyados a través de técnicas satelitales como uso de ASTER o técnicas geofísicas (Singer et al., 2002).

Esta primera instancia basada en mapeo de aspectos geológicos suele complementar métodos tanto geofísicos; usando técnicas magnéticas, eléctricas, electromagnéticas, gravitacionales o sísmicas, como también métodos directos que entreguen mayor detalle en profundidad del sector como lo son los sondajes. Los métodos geofísicos pueden otorgar información a escala regional como a escala de depósito, siendo útiles para pre-visualizar y pre diseñar mapas de alteración, mineralización, e incluso distribuciones litológicas y/o estructurales, siendo una herramienta útil pero que depende fuertemente de la interpretación que se les dé a los datos que se obtengan. Dado que la geología no se desarrolla igual en todos lados, la complejidad de interpretar hace que siempre exista grado de incertidumbres, ya que mineralizaciones, litologías u otros parámetros se

pueden comportar o responder de igual manera frente a la técnica usadas, por lo que, para disminuir dicha incertidumbre y conocer con mejor certeza el escenario geológico es común complementar estas técnicas haciendo muestreo vía sondajes, ya que este métodos entrega información directa del subsuelo. Dado que es usados frecuentemente a escala de depósito ayuda a generar una integración de los datos obtenidos por los métodos geofísicos apoyándose los resultados de estas técnicas con estos datos duros de muestras directas del sector, por lo tanto las muestras obtenidas mediante sondaje requieren de una descripción detallada para obtener una excelente integración, y por consiguiente, un excelente mapeo (Singer et al., 2002).

9.2 Estudio de inclusiones fluidas

La mayoría de los minerales son cristales imperfectos, las inclusiones fluidas se genera cuando en estas imperfecciones del mineral se atrapa una porción de algún fluido al cual estaba sometido el mineral hospedante durante su historia de formación, recristalización o deformación, por lo que una inclusión fluida es la muestra de un pequeño volumen de fluido de algún proceso geológico y, por lo tanto, puede ser una pieza fundamental para obtener información sobre presión, densidad, composición, evolución y temperatura del fluido o del proceso a estudiar en el que este tomo lugar (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994). Sin embargo esta recopilación de información debe ser cuidadosamente obtenida y analizada, pues no toda imperfección al crearse queda intacta e imperturbable en el tiempo, es decir, cuando se trabajar con inclusiones fluidas se deben obtener las muestra correctas que se relacionen y definan de manera certera el evento o el proceso a estudiar. Para asegurar la fidedigna obtención de información de las inclusiones fluidas se establecieron las denominadas “**Reglas de Roedder**”, con las que se asegura que la inclusión atrapada da auténtica información de su condición de atrapamiento si cumple las siguientes 3 reglas:

1. El fluido presente en la inclusión es atrapado originalmente como una fase homogénea.
2. La inclusión constituye un sistema cerrado, por lo que nada ha entrado ni salido en ella.
3. La inclusión representa un sistema isocórico, es decir, permanece a volumen constante.

Tanto lo anterior como lo que continuara en lo que concierne a trabajar con las inclusiones fluidas se ve inmerso en un contexto a lo que Goldstein & Reynolds (1994) le llaman “**la filosofía de realizar un estudio de inclusiones fluidas**”, título del capítulo 5 de dicho libro que resumido en grandes términos indica que se debe tener siempre en consideración los siguientes aspecto a responder:

- Si la problemática geológica propuesta a estudiar puede ser trabajada con inclusiones fluidas.
- Si se pueden obtener las muestras apropiadas para buscar las inclusiones fluidas adecuadas para resolver o ayudar a resolver la problemática.
- Si es posible hallar las inclusiones fluidas buscadas en las muestras obtenidas (que cumplan las reglas de Roedder y todo otro requisito).
- Y por último, si es posible obtener los datos necesarios de las inclusiones fluidas buscadas.

Teniendo en cuenta esta filosofía de trabajo, cuando se comienza una investigación basada en el estudio de las inclusiones fluidas y se ha pasado la fase de muestreo de roca y se ha comenzado el proceso de realizar la petrografía de inclusiones fluidas, es fundamental obtener inclusiones útiles con las cuales poder trabajar y apoyar la investigación. Varios trabajos se han realizado para

ejemplificar y ayudar a la elaboración de una buena petrografía de inclusiones fluidas, de ellos se destaca el uso metodológico de clasificar las inclusiones.

9.2.1 Clasificación de las inclusiones fluidas

Principalmente se han desarrollado dos maneras de clasificar las inclusiones fluidas al momento de trabajar con ella; considerando su atrapamiento como una relación temporal del proceso geológico que sufre el mineral hospedante y/o considerando la composición del fluido basado principalmente en la relación de las fases observables en la inclusión. Ambas formas de clasificar no son excluyentes entre sí a la hora de trabajar con las inclusiones fluidas.

9.2.1.1 Clasificación temporal de las inclusiones fluidas

Roedder en sus estudios de 1984 propuso una clasificación que considera la temporalidad de atrapamiento de las inclusiones fluidas en relación al proceso geológico que sufre el mineral hospedante usando para ello los términos de inclusiones **primarias** e inclusiones **secundarias** (figura 9.13).

Las inclusiones primarias son aquellas formadas, atrapadas, durante el crecimiento y formación del cristal, comúnmente en imperfecciones cristalográficas.

Las inclusiones secundarias son aquellas formadas después de que se completa la precipitación del mineral hospedante, comúnmente desarrolladas en micro fracturas generadas bajo deformación que sufre el cristal.

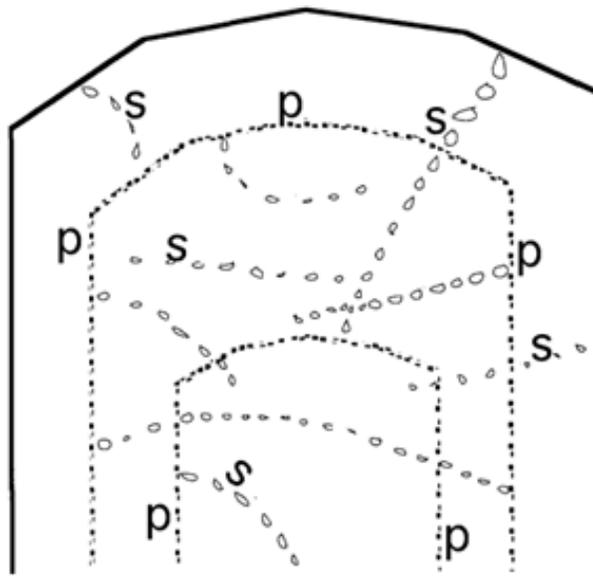


Figura 9.13 Representación visual de una petrografía de inclusiones fluidas basada en la clasificación temporal. En la imagen se muestra el desarrollo ideal de inclusiones primarias (P), y el desarrollo de inclusiones fluidas secundarias (S). Basado y modificado en Goldstein y Reynolds (1994).

Hay que reconocer que a veces determinar el origen de las inclusiones fluidas presentes en una muestra no es una tarea sencilla. Realizar una buena petrografía de ellas es clave, sin embargo pueden presentarse los casos donde resulte una tarea compleja o imposible el definir si son primarias o secundarias y para aquellos casos es válido reconocer y citar que se trabaja con

inclusiones de origen “**desconocido**”, ya sea por dificultad o porque no se enfatizó en clasificar por origen o por uno u otro motivo. En la presente investigación se trabajó encontrando grupos de inclusiones fluidas tanto primarias como secundarias.

Para conocer criterios más detallados sobre cómo determinar el origen de las inclusiones fluidas se recomienda leer los trabajos antes citados de Roedder (1984) y, Goldstein y Reynolds (1994).

9.2.1.2 *Clasificación composicional a temperatura ambiente*

Esta clasificación se basa en las fases observables en la inclusión fluida al microscopio petrográfico, dando rápidamente una idea composicional del fluido si estas cumplen las **Regla de Roedder** (Roedder, 1984), postulándose aceptadamente que si la petrografía está bien realizada la observación directa a temperatura ambiente de las fases presente da nociones de las paleo condiciones de atrapamiento del fluido.

Nash (1976) propuso una clasificación en donde se considera principalmente las fases observables de la inclusión fluida a temperatura ambiente, dando un énfasis a la composición que presentaba el fluido en el momento de ser entrampado. Nash (1976) reconoció en su estudio contextualizado en los depósitos tipo pórfido que podía agrupar la mayoría de las inclusiones presentes en estos depósitos en 4 tipos, ilustradas en la figura 9.14a.

1. Inclusiones ricas en líquido (Tipo 1).
2. Inclusiones ricas en vapor (Tipo 2).
3. Inclusiones saturadas en halita (Tipo 3).
4. Inclusiones ricas en CO₂ (Tipo 4).

En la figura 9.14b se ilustra una representación de cómo podemos interpretar a partir de las observaciones de inclusiones fluidas a temperatura ambiente, paleo condiciones de la fluido en el momento de ser atrapado. En dicho ejemplo al observar la coexistencia de inclusiones ricas en vapor junto a inclusiones ricas en líquido con alta salinidad, se puede hablar de la presencia de dos fases (coexistencia); una rica en vapor y una salmuera.

Sabiendo que las inclusiones fluidas presentan variaciones entre sus razones de líquido- vapor (burbuja) y porcentaje de salinidad, determinar la razón líquido/vapor es un trabajo que requiere práctica petrográfica. Se han tratado de establecer métodos para lograr mayor exactitud, ejemplo de esto se puede encontrar en el trabajo de Bodnar (1983) donde se propone un método basado en la burbuja de vapor. A su vez, la determinación composicional de las inclusiones fluidas ha sido de gran interés por la información directa que proporciona sobre los paleo fluidos.

Si se considera solo el cálculo del porcentaje de salinidad como información a obtener sobre los paleo fluidos, se tiene que ya desde antes de la década de los setenta se han tratado de establecer métodos destructivos como no destructivos para la obtención de este parámetro. En la publicación de Roedder (1972) se presentan diferentes técnicas, destacándose el cálculos de salinidad mediante el uso del índice de refracción propuesto por Wahler en 1956 y los avances desarrollado por autores como Roedder (1972) con respecto a la microtermometría para calcular la salinidad.

Actualmente la microtermometría es la técnica más ocupada para obtener información de salinidad, basándose en el calculando del punto de congelamiento y la temperaturas de homogenización de la inclusión fluida estudiada, para que con estos datos apoyado con múltiples

gráficos de presión, temperatura y composición se pueda calcular, estimar cuantitativamente, los porcentajes de salinidad.

Para sistema porfídico cuprífero Bodnar (1982, abril) en su publicación de seminario del 1982 presenta una recopilación de tablas y gráficos de presión-temperatura-composición de inclusiones fluidas, utilizable si se tiene la temperatura de homogenización y la petrografía de las inclusiones fluidas. Hay que recalcar que la microtermometría da una buena aproximación pero no es exacta cuantitativamente hablando sobre la concentración de NaCl como soluto, sin embargo técnicas analíticas como LA-ICP-MS son utilizadas para determinar cantidades más precisas de diferentes solutos, donde se incluyen sales como sodio y potasio.

Siguiendo con el tema de la clasificación de las inclusiones y los tipos de inclusiones fluidas, hay que destacar que queda como responsabilidad del investigador dar a conocer la clasificación que utilizara en su investigación.

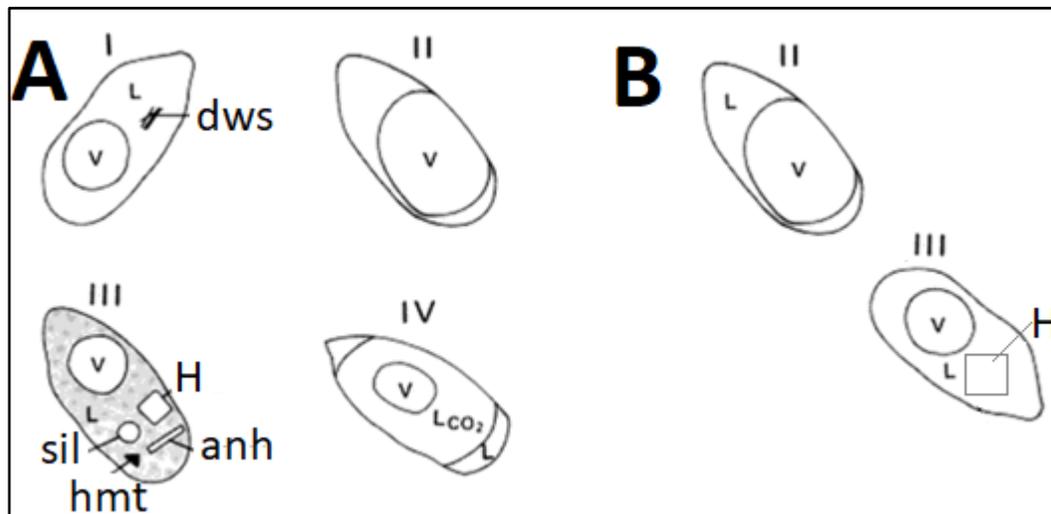


Figura 9.14 Figura esquemática de la clasificación de inclusiones fluidas propuesta por Nash (1976). En la figura A encontramos inclusión fluida tipo 1, de moderada salinidad, rica en líquido con presencia de pequeña burbujas de gas, la inclusión fluida tipo 2, de baja densidad, rica en vapor, la inclusión fluida tipo 3, de alta salinidad que presenta cubos de halita bien formados y la inclusión fluida tipo 4 que presenta una pequeña burbuja de gas inmersa en líquido de dióxido de carbono rodeado por líquido de baja salinidad. En la figura B se ilustra la asociación de inclusiones fluidas a temperatura ambiente que mediante petrografía representaría ebullición en un sistema porfídico cuprífero (coexistencia de inclusiones tipo 2 y 3). L: líquido; V: vapor; H: halita; dws: dawsonita; sil: silvita; hmt: hematita; anh: anhídrita; Lco₂: dióxido de carbono líquido. Basada y modificado de Nash (1976).

9.2.2 Petrografía de inclusiones fluidas

Posterior o paralelo a la clasificación de las inclusiones y a la verificación de que cumplan la Regla de Roedder, la mejor manera para asegurar que se está trabajando con inclusiones que entregaran como conjunto una información fiel y coherente es definir lo que se conoce como “**familia de inclusiones fluidas**” o “arreglo de inclusiones fluidas”, que por su nombre en inglés se abrevia como “**FIA’s**” (Fluid inclusión assemblage). Es un criterio que asegura la temporalidad de formación de las inclusiones y, la mejor manera para trabajar con grupo de inclusiones fluidas pues, definir una FIA es decir que el grupo de inclusiones presente se atraparon en el mismo evento, simultáneamente, y por lo tanto, bajo las mismas condiciones.

La familia de inclusiones fluidas se define como grupo de inclusiones fluidas atrapadas al mismo tiempo.

El criterio petrográfico más empleado para establecer que un grupo de inclusiones conforman una familia es mediante la consistencia que presenta la razón entre las fases que se observan a temperatura ambiente, es decir, todas las del grupo deben presentar la misma razón líquido-vapor, o líquido-vapor-halita, de esta manera es un criterio consistente, la forma y orientación no es un criterio.

Una manera de confirmar si la FIA estipulada mediante petrografía constituye realmente a una familia o si alguna de aquellas inclusiones escapa de ésta, es mediante micro-termometría. En este caso todas las inclusiones deben comportarse similar, es decir homogenizarse a la misma temperatura al calentarla, se pueden considerar variaciones entre ellas de hasta 10°C como comportamiento aceptable (Goldstein y Reynolds, 1994), vale destacar que a la hora de realizar micro termometría se debe tener en consideración el tema de la meta-estabilidad. La metaestabilidad, es cuando una inclusión aparenta estar en condiciones de equilibrio por un periodo de tiempo, durante calentamiento o enfriamiento, pero pasado el periodo su estabilidad se modifica. También es posible que la inclusión observada mediante petrografía se encuentre encerrada bajo condiciones metaestables, generando otros comportamientos en sus fases presentes al sufrir enfriamiento o calentamiento, por ejemplo, cristalización de minerales hijos que luego no se vuelven a disolver (Roedder, 1972; Goldstein y Reynolds, 1994).

9.3 Presión, volumen y temperatura del sistema H₂O-NaCl

La mayoría de los procesos geológicos o sistemas hidrotermales pueden ser estudiados y entendidos mediante la comprensión del sistema H₂O-NaCl-CO₂, producto de que el H₂O, NaCl y CO₂ son los volátiles y la sal más abundante en los fluidos. Centrado en los volátiles magmáticos, el H₂O es el más abundante, jugando un rol importante en procesos de separación de fases tras la cristalización de los magmas (Burnham, 1997). Considerando que el agua es el más abundante tanto en sistemas magmáticos como en los hidrotermales. Al estudiar los depósitos pórfidos cupríferos que poseen una génesis magmáticos-hidrotermal se puede considerar el sistema H₂O-NaCl-CO₂, y en particular su subsistema binario H₂O-NaCl, asumiendo que la salinidad de los fluidos es proporcionada principalmente por las concentraciones de NaCl, teniendo las otras sales un rol menos importante e influyente tanto en la presión de vapor como en los límites de equilibrio de fases. De manera similar se puede despreciar la influencia del CO₂ y de otros vapores, ájenos al H₂O, considerando que tienen bajo efecto en el equilibrio de fase del sistema y por tanto se puede considerar para entender e interpretar las variables de presión, volumen, temperatura y composición de los depósitos pórfido cuprífero, entender y usar el sistema H₂O-NaCl (Roedder y Bodnar, 1997).

La comprensión de este sistema binario para obtener conocimientos sobre las condiciones de presión, volumen, temperatura y composición de los fluidos tras el análisis de las inclusiones fluidas suele ser generado mediante el estudio de microtermometría. A través de esta técnica se pueden conocer estos parámetros (Bodnar, 2003). Como el propósito de esta investigación es basarse en la petrografía de inclusiones fluidas a temperatura ambiente para obtener información sobre los paleo fluidos participantes de la formación de depósitos pórfido cuprífero, se expone la utilidad del sistema H₂O-NaCl en base a dicha finalidad. Para ello el primer paso importante es comprender que este sistema se caracteriza por presentar una “zona de no mezcla” o “zona inmisible”. El área de esta zona depende directamente de la composición del fluido, la cual varía

según el porcentaje en peso de la salinidad, dado que dicha salinidad tiene asociado un solo punto en la curva de los puntos críticos del sistema H₂O-NaCl (como se puede observar en la figura 9.15). Esta zona inmisible se forma mediante la unión de varios puntos importantes, siendo una región del espacio presión-temperatura-composición (PTX) del sistema que representa la coexistencia de líquidos altamente salinos y vapor de baja salinidad (Bodnar, 2003).

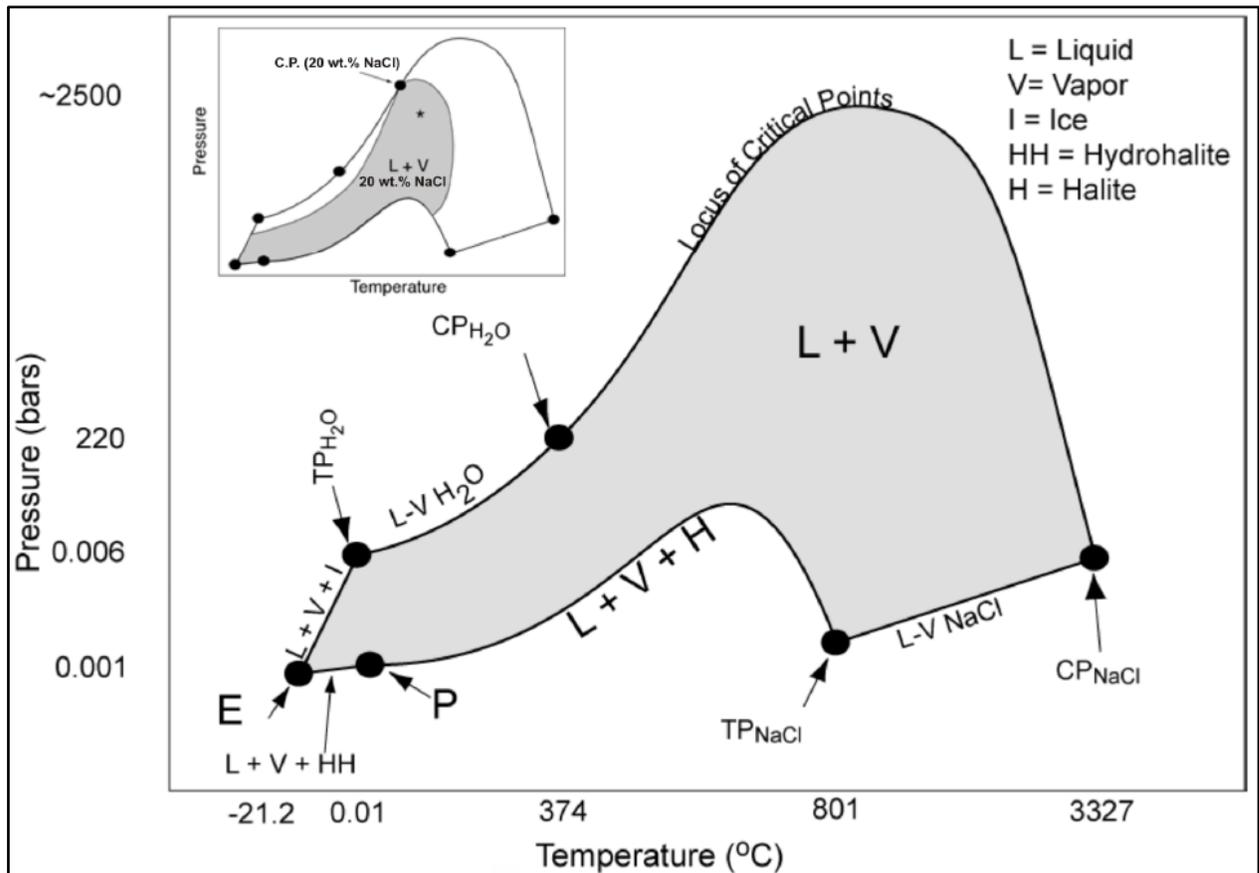


Figura 9.15 Gráfica P-T del sistema NaCl-H₂O representando el espacio PTX del sistema donde se genera la coexistencia de fases líquidas altamente salinas y fases gaseosas de baja densidad. En la parte superior se ilustra ennegrecido el cómo esta zona de no mezcla y coexistencia se modifica según el porcentaje de salinidad (20wt% de NaCl). Los puntos importantes son: E: punto eutéctico (L + V + I + HH); P: punto peritectico (L + V + HH + H); TP H₂O: Punto triple del agua; CP H₂O: Punto crítico del agua; TP NaCl: punto triple de NaCl; CP NaCl: punto crítico de NaCl, junto con la curva de los puntos críticos del sistema H₂O-NaCl que une los puntos críticos de cada elemento. Tomada de Bodnar (2003).

La influencia de la salinidad del sistema H₂O-NaCl sobre las condiciones de presión y temperatura se pueden entender comprendiendo la figura 9.16. En la figura 9.16 se presentan dos casos, en la parte superior un fluido con una composición de 10 % peso total de NaCl y en la parte inferior un fluido con 50% peso total de NaCl. Entre ellas podemos notar como el punto crítico del sistema, CP (10 wt%) y CP (50 wt%) respectivamente, se mueve sobre la curva de “lugar de puntos críticos” de la figura 18, implicando que un sistema con 10 wt% de NaCl genere su zona de inmiscibilidad a menores presiones y a moderadas temperatura comparado con el sistema a 50 wt% NaCl, en el cual la separación de fase es generada a temperaturas y presiones altas.

Como la inmiscibilidad en el sistema H₂O-NaCl al 10 % en peso de NaCl sucede bajo condiciones de temperaturas magnéticas pero presiones esperables a niveles superficial de la

corteza, es extrapolable a las condiciones de los ambientes de formación de los pórfidos cupríferos, por lo que resaltamos el entendimiento de como este fluido puede generar una fase líquida rica en sal (salmuera) y una fase gaseosa. Notemos que la salinidad del sistema es de 10% según la presión y la temperatura a la que este sistema esté sometido puede hallarse dentro del área amarilla, lo que significaría que el sistema no puede estar en una sola fase y debe presentarse como líquido y vapor manteniendo su composición total de 10% (L + V (10 wt%)). Sin embargo, si se tienen ciertas combinaciones de P-T tales que se esté sobre las curvas del diagrama, se puede tener un fluido líquido con alta salinidad en equilibrio con una fase gaseosa de salinidad variable, curva representada por L (10wt %) + V en la figura 9.16. El caso opuesto es que se tenga una fase gaseosa de alta salinidad en equilibrio con una fase líquida de salinidad variable, lo que estaría representando condiciones P-T sobre la curva indicada por V (10wt%) + L de la figura 9.16. Ante condiciones P-T que den fuera del polígono achurado en amarillo el fluido se presentaría en una sola fase, ya sea líquida, o gaseosa. El análisis es idéntico al sistema con salinidad de un 50% en peso total (nótese que si bien el análisis es similar, si o si la combinación de P-T para dichos casos son distintas, nuevamente, esta es la dependencia de la composición).

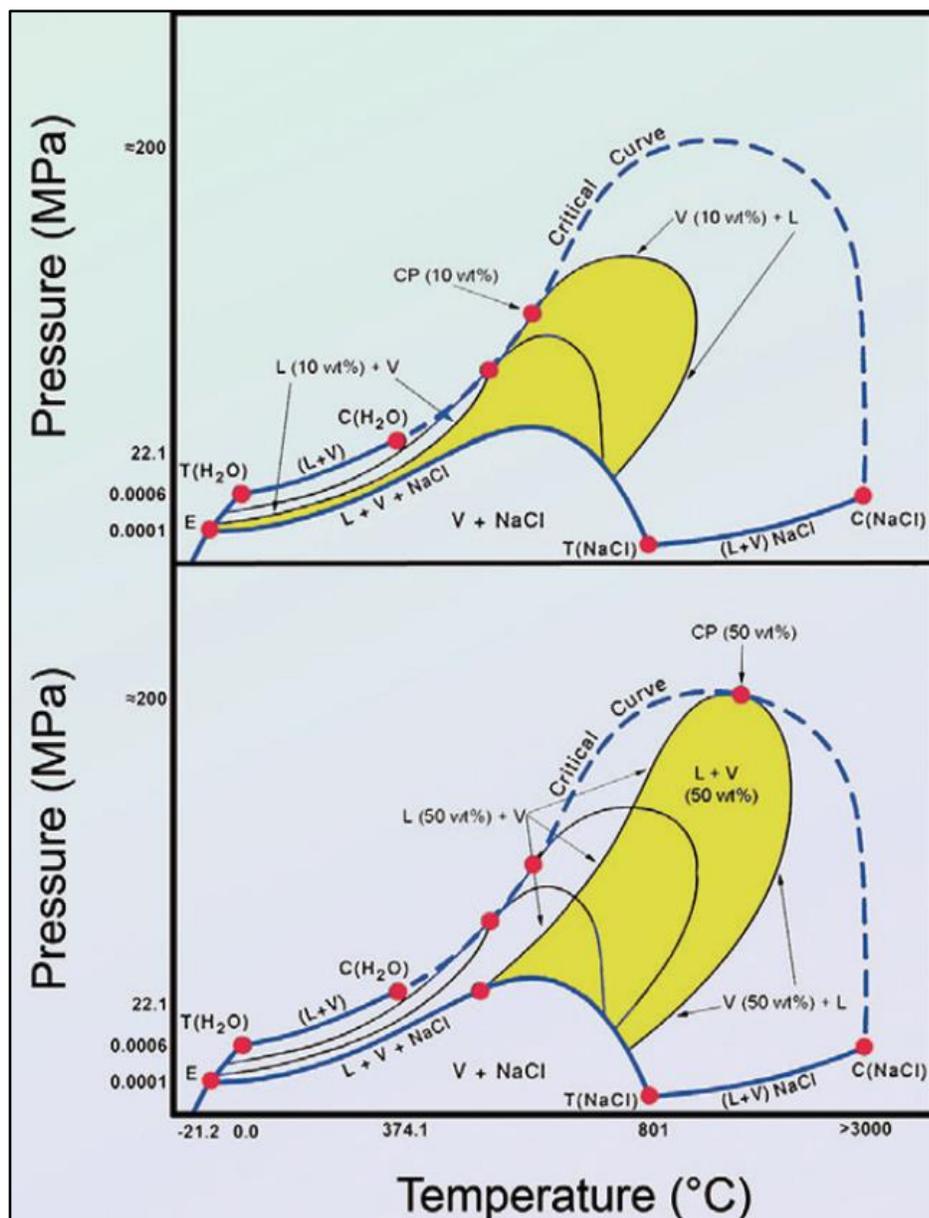


Figura 9.16 Diagrama P-T del sistema H₂O-NaCl. La parte superior el fluido del sistema contiene 10 % en peso total de NaCl y en la parte inferior un 50%. Se ilustra gráficamente la dependencia con respecto a la salinidad de la zona de no mezcla (área amarilla); a bajas salinidades (10 wt% NaCl, diagrama superior) la separación de fase ocurre a temperaturas magmáticas pero a presiones más corticales-superficiales, mientras que a mayor salinidad se requiere mayor presión y temperatura (50 wt% NaCl, diagrama inferior). Las condiciones P-T a la cual se somete el fluido indicara en qué lugar del diagrama se encuentre y el consecuente escenario esperable.

Producto de que los parámetros suelen ser obtenidos mediante microtermometría, se da a conocer una información relevante ligada a las inclusiones fluidas al respecto.

Las inclusiones fluidas suelen presentar 3 maneras de homogenizarse al sufrir calentamiento cuando se les realiza microtermometría. Estas maneras se definen a partir de cuál es la última fase en desaparecer, teniéndose: una homogenización mediante la desaparición de burbuja de vapor (caso A, lado izquierdo de la figura 9.17), homogenización mediante la desaparición conjunta de burbuja de vapor y solido salino (caso B, lado izquierdo de la figura 9.17) y por ultima una

homogenización tras la desaparición de la halita (caso C, lado izquierdo de la figura 9.17). Según el porcentaje de salinidad que presente la inclusión fluida y el comportamiento de homogenización se utilizarán gráficos P-T como se ve al lado derecho de la figura 9.17, para determinar las isocoras. Estos gráficos presentan zonas generadas según los modos de homogenización, llamadas campo A o campo C, y representan el campo en el cual las inclusiones fluidas fueron atrapadas si presenta tal comportamiento al calentarse (Bodnar, 1994).

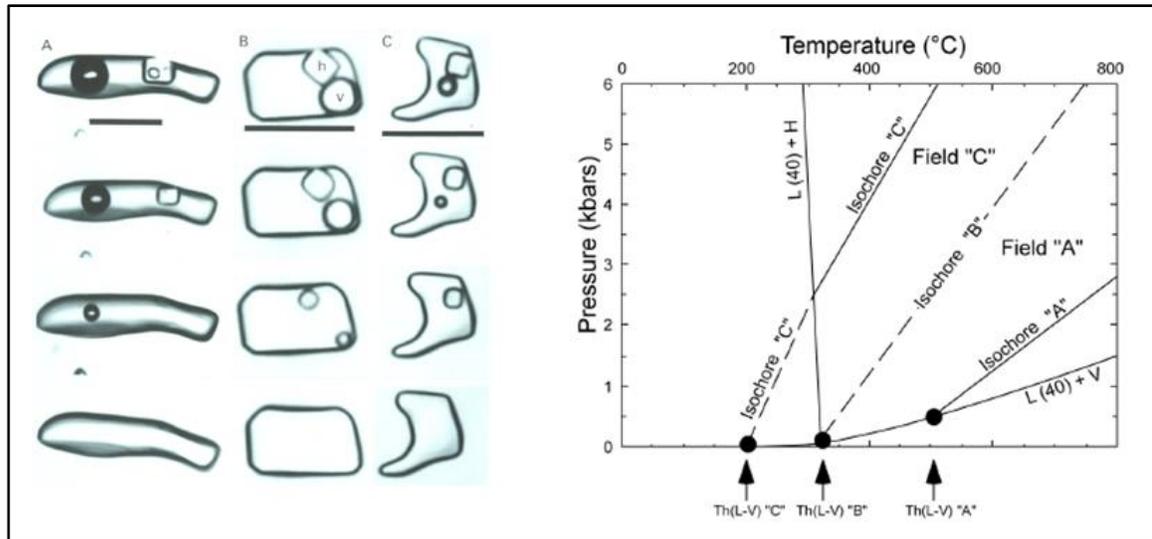


Figura 9.17 En la parte izquierda se muestran tres comportamientos de homogenización de inclusiones fluidas con 40% de NaCl (homogenización caso A, B y C) y que reflejan condiciones de presión y temperatura en las cuales fueron atrapadas. Estas condiciones con sus isocoras definen zonas PT visualizadas en el gráfico de la derecha. Tomado y modificado de Bodnar (2003).

Considerando que al observar las inclusiones fluidas a temperatura ambiente, petrográficamente no se puede conocer cuál será el comportamiento de homogenización que presentaran, y producto de esto no es posible conocer inmediatamente la zona PT en el gráfico de la figura 9.17 en el cual fue atrapado el fluido. Lo que sí es posible conocer mediante el uso de la petrografía es si la inclusión posee una alta salinidad o una baja a moderada salinidad, esto dado únicamente por la presencia o ausencia de halita, ya que esta **no precipita** a concentraciones menores de 23 wt% de NaCl, y su precipitación indica valores más altos de 23 wt%. Tras realizar esta primera observación es importante luego determinar si la inclusión con halita o sin halita se encuentra coexistiendo o no con inclusiones ricas en vapor, dado que de ser así nos estaría indicando que las inclusiones muy probablemente fueron atrapadas en zona inmiscible, zona que se produce principalmente tras sufrir el fluido una separación de fase, ya sea por ebullición, desgasificación, etc., mecanismos – procesos - comunes en los fluidos magmático hidrotermal. Esta representación de coexistencia solo puede ser comprobada mediante microtermometría (Bodnar, 1994; Bodnar, 1995; Burnham, 1997; Roedder y Bodnar, 1997; Bodnar, 2003).

La figura 9.18, da un entendimiento del escenario antes planteado sobre la coexistencia de inclusiones líquidas con salinidades altas e inclusiones ricas en vapor con salinidades bajas, en dicho gráfico P-X se muestra la región de coexistencia de estas fases dependiendo de la salinidad total del fluido, que en la figura es de 20% de salinidad, generándose tras la inmiscibilidad del fluido un líquido con 49 wt.% NaCl y un vapor con 1 wt.% de NaCl.

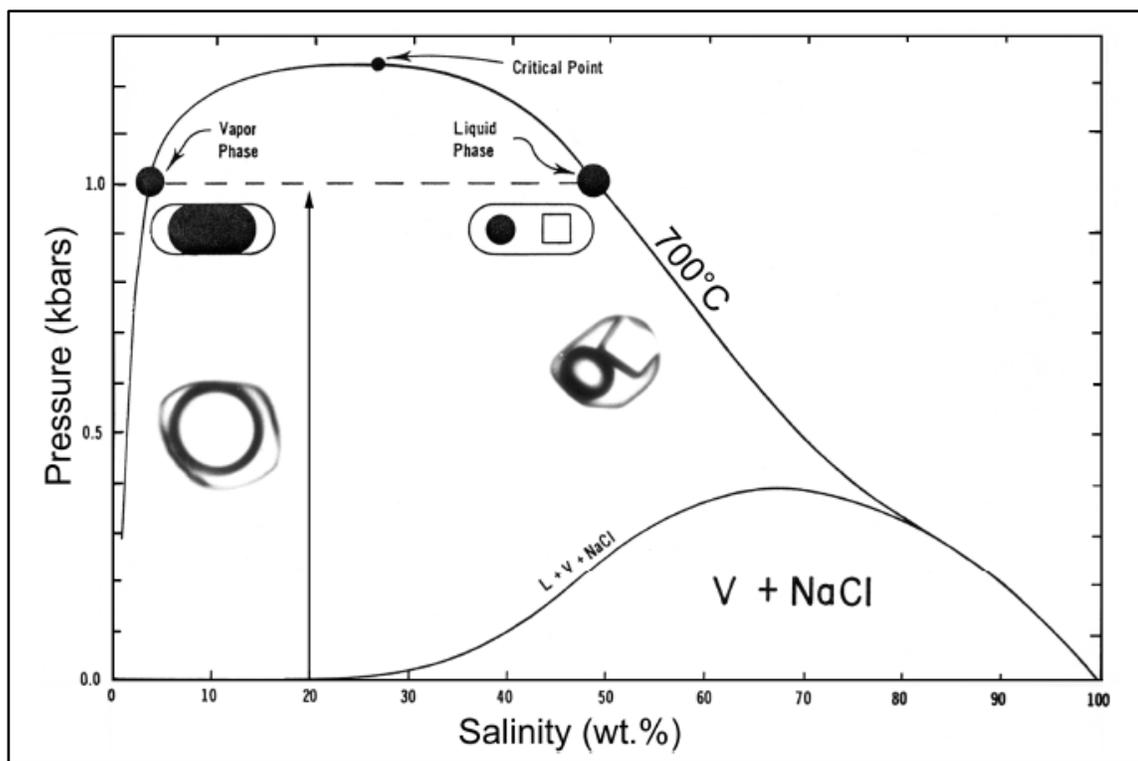


Figura 9.18 Esquema ilustrativo de cómo se verían petrográficamente coexistiendo inclusiones ricas en vapor y ricas en halita producto a la separación de fases que el fluido haya sufrido. Tomado de Bodnar (2003).

A pesar de que mediante la petrografía de inclusiones fluidas se pueda comprender que los fluidos inicialmente traen una salinidad total y que luego de sufrir una separación de fases, produciendo que coexistan distintas fases con salinidades distintas entre sí y diferentes a la salinidad de la fase homogénea inicial, el entendimiento de la situación es más completo utilizando microtermometría. Como esta investigación no utiliza microtermometría se pretende resaltar el uso de la petrografía para tratar este asunto de separación y coexistencia de fase utilizando las ilustraciones presentadas en las figuras 9.19 y 9.20.

Estas dos figuras, 9.19 y 9.20, destacan en como las inclusiones fluidas son observadas a temperatura ambiente al realizar su petrografía y por lo tanto como la información de las proporciones de las fases presentes en función de la similitud visual con esta gráfica señalaría alguna situación, combinación, de presión-temperatura-composición particular. Se destaca de estas figuras la importancia de la presencia de inclusiones ricas en vapor con presencia de calcopirita, dado que esto estaría indicando un fluido con sobresaturación en su contenido de metal y, además, se le ha dado la importancia de representar fases de vapor producidas tempranamente en los sistemas porfido cuprífero cuando el fluido magmático-hidrotermal sufre su separación de fase (Burham, 1997; Roedder y Bodnar, 1997).

Comprendiendo que al ver las inclusiones fluidas a temperatura ambiente se está observando una proporción de las fases presentes en ella y sabiendo que estas proporciones están ligadas a las condiciones de atrapamiento que estas sufrieron, Bodnar (1982) presenta una serie de tablas gráficas útiles para comprender estas condiciones mediante una petrografía proporcional de las fases presentes en la inclusión.

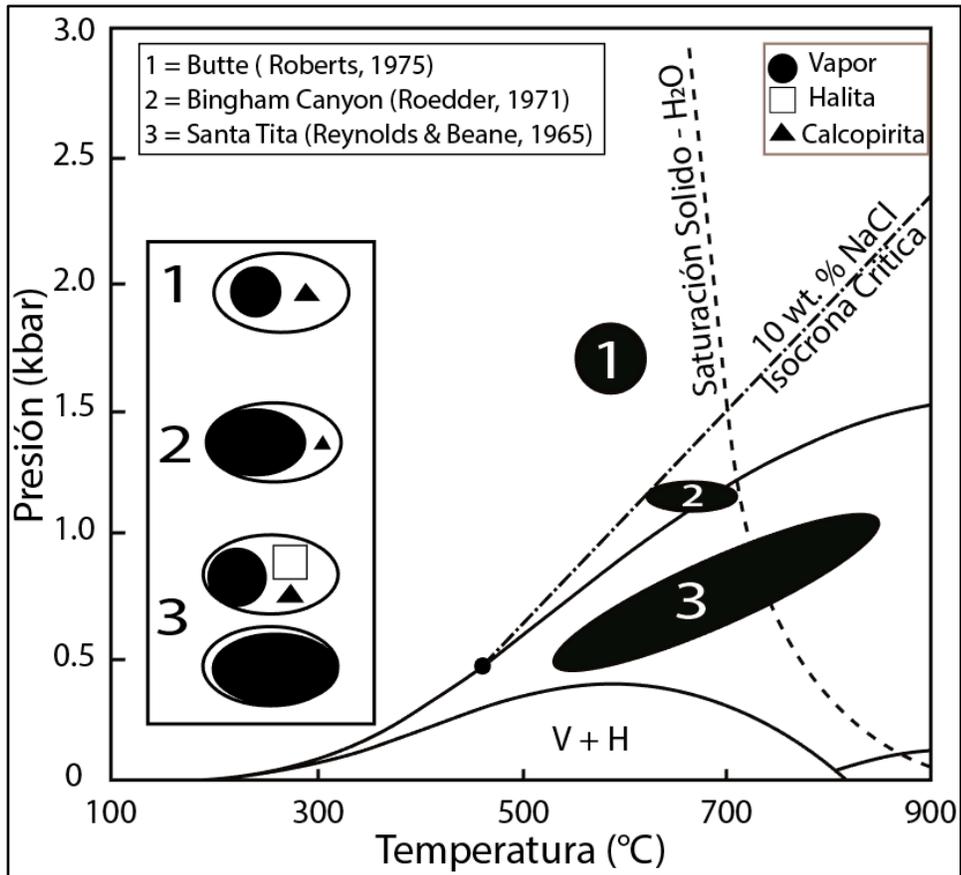


Figura 9.19 Ilustraciones esquemáticas de la apariencia observable a temperatura ambiente de inclusiones fluidas pertenecientes a sistemas tipo pórfido y como la proporción de fases u coexistencia de inclusiones indicarían condiciones de formación, atrapamiento, de estas, y por consiguiente, del fluido. Ejemplo de fluido con alto contenido de cobre que permite la precipitación y formación de calcopirita en la inclusión, con un contenido total del 10% wt de NaCl. Tomada y modificada de Bodnar (1995).

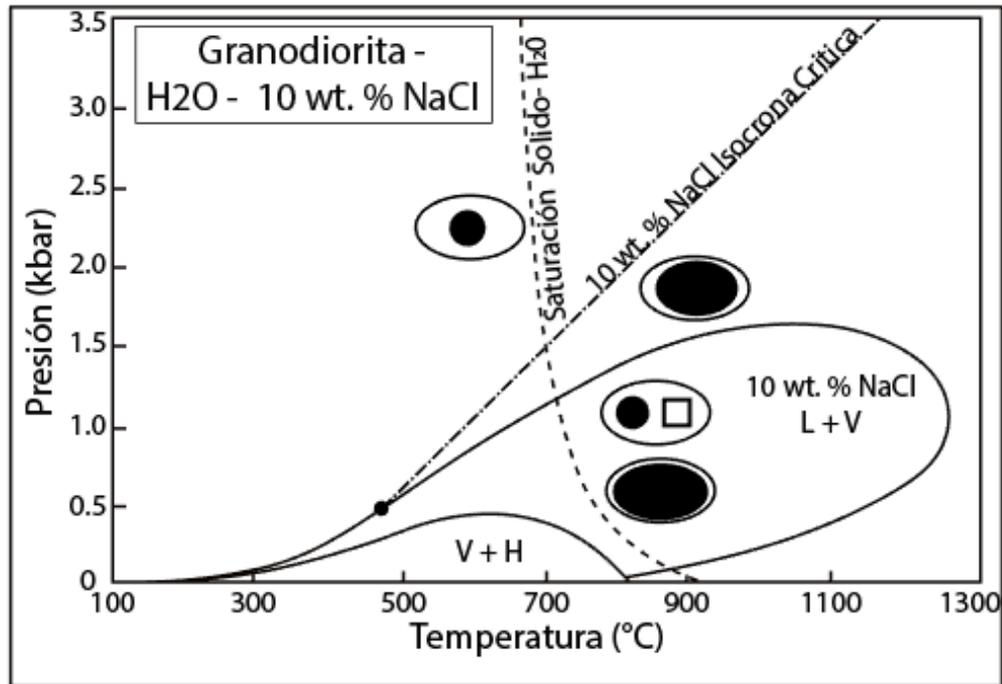


Figura 9.20 Esquema representativo de como la apariencia de una inclusión fluida a temperatura ambiente indica condiciones de atrapamiento y formación P-T e incluso de composición del fluido. Esquema realizado con fluido sin contenido alto de cobre que no facilita la precipitación o formación de calcopirita en la inclusión, en particular, considera un fundido granodiorítico con 10% wt NaCl total, caracterizando la zona de no mezcla. Tomada y modificada de Singer et al. (2002).

9.4 Las inclusiones fluidas y los yacimiento tipo pórfido cuprífero

Se expuso rápidamente algunas relaciones entre los sistemas pórfido cuprífero y las inclusiones fluidas en el punto 9.3. Investigadores (Ej: Nash, 1976; Bodnar, 1982; Beane, 1995) han realizado trabajos en este ámbito que buscan de manera más detallada el establecer conceptos, analogías, relaciones entre los sistemas de depósitos tipo pórfido y las inclusiones fluidas dado que el estudio de inclusiones fluidas es la forma más rápida y directa de relacionar los fluidos entre un estudio de campo y de laboratorio.

Se debe tener siempre en cuenta que la formación de un depósito pórfido cuprífero involucra una serie de procesos, por ejemplo, considerando desde la generación de magma este puede y/o pasa por diferenciación, comenzando su ascenso y posterior emplazamiento junto con etapas de cristalización y desgasificación mientras que al mismo tiempo pueden ocurrir reacciones a altas temperaturas entre el fundido y otros fluidos provocando que cambios en sus propiedades fisicoquímicas cambios que pueden ser también efectuados por reacciones fundido-roca o fluido-rocas mientras ocurre el emplazamiento. A toda esta serie de procesos que un fundido al ascender y emplazarse esta propenso se le puede agregar un nuevo evento de ascensión magmática que modifique las condiciones del antiguo fundido y produzca otra cadena de procesos o que simplemente aparezca este nuevo intrusivo emplazado cercanamente. En todos estos escenarios debe considerarse también la tardía influencia de las aguas meteóricas y sus reacciones a menores temperaturas. Por estas razones es de sumo cuidado saber que fluido (evento de flujo) estudiar y porque estudiarlos.

Nash (1976) en su recopilación de información sobre depósitos pórfido cupríferos para establecer analogías con respecto a las inclusiones fluidas destaca la presencia de inclusiones ricas en halita coexistiendo con inclusiones ricas en gas y/o con asociación de inclusiones que indiquen ebullición como una característica favorable en la búsqueda, presencia, de pórfidos.

9.4.1 Distribución temporal-espacial de las inclusiones fluidas con respecto al pórfido cuprífero

Nash (1976) indica que los más tempranos stockworks asociados a la mineralización de cobre (cuarzo-calcopirita \pm biotita \pm feldespatos potásicos) suelen estar asociados a fluidos de alta salinidad y a su vez establece que en todos los depósitos estudiados contienen inclusiones fluidas de moderada salinidad más jóvenes que las de alta salinidad.

Bodnar et al. (2014) y sus referencias establecen una secuencia en el desarrollo de un DPC que soportaría las observaciones de Nash (1976), iniciando la secuencia con un fluido magmático que se emplaza con una salinidad entre el 5 -15 wt% para comenzar a originar un DPC el cual, desarrollándose bajo las condiciones apropiadas de presión y temperatura, continuaría con un fluido que pasa a una salinidad del 35wt% debida a cambios de fases producidos, y ya en etapas más tardías de su desarrollo los fluidos pasan a ser más diluidos cambiando de alta salinidad a una baja salinidad 1 – 10 wt%.

De manera simple, sin considerar sobre imposiciones de eventos y otros procesos que puedan alterar los fluidos, temporalmente se podría establecerse una secuencia de baja – alta –moderada –baja salinidad.

Apoiando estas ideas anteriores Beane y Bodnar (1985) establecen una temporalidad a los tipos de inclusiones fluidas postuladas por Nash (1976), aquellas definidas como inclusiones ricas en líquido (tipo 1), inclusiones ricas en vapor (tipo 2), inclusiones saturadas en halita (tipo 3), inclusiones ricas en CO₂ (tipo 4), donde encontraríamos que las inclusiones ricas en líquido (tipo 1 de Nash, 1976) representarían el evento temprano de un fluido magmático primario o como el resultado de vetilleos tardíos (en caso de no ser de origen magmáticas la inclusión).

De igual manera, las inclusiones ricas en vapor, o de baja densidad (tipo 2 de Nash, 1976) si son producto por la separación de fase vapor de manera directa de fluidos magmáticos y sin coexistencia con los otros tipos de inclusiones representarían evento temprano en zona profunda del pórfido, sin embargo si se hallan coexistiendo con inclusiones fluidas ricas en líquido o saturadas en halita podría representar ebullición de fluidos más tardíos en niveles más someros del pórfido.

Las inclusiones ricas en halita (tipo 3 de Nash, 1976) podrían desarrollarse por separación de fases (líquido, vapor y su consecuencia división de porcentaje de salinidad en cada fase) en etapas tardías de los fluidos magmáticos durante sus últimas etapas de cristalización en niveles más someros del sistema porfídico, sin embargo es típico también encontrarlas en zonas profundas de batolitos coexistiendo con inclusiones ricas en vapor como también en cuerpos litológicos en zona superior, superficial, con presencia de alteración argílica (llamado lithocap), post mineralización o por sobreimposición.

Ante las múltiples observaciones composicionales de las inclusiones fluidas y su distribución con la paragénesis de mineral y zonas de alteración. Bodnar (1982) esquematiza la relación espacial de la temporalidad de los tipos de inclusiones fluidas y su proximidad con respecto a la

superficie-profundidad y centro-periferia de un sistema porfídico postulado en la figura 9.21. Ilustrado gráficamente en las figuras 9.22 y 9.23. En la figura 9.21 se esquematiza que inclusiones fluidas deberían ser observadas a temperatura ambiente según la posición de la muestra estudiada con respecto al sistema porfídico asociado también a la edad de formación que el yacimiento presente y que enmarque a la muestra estudiada. Dicho de otra manera, si se toman muestras distribuidas verticalmente y que todas se enmarcan bajo la misma temporalidad de los eventos de formación del pórfido cuprífero, se debería observar la distribución de inclusiones fluidas a temperatura ambiente, del centro a la periferia y verticalmente de superficie a profundidad, por aquellas inclusiones enmarcadas en rectángulo rojo en la figura 9.21. Cada inclusión presente en la figura 9.21 es definida en la tabla 9.5.

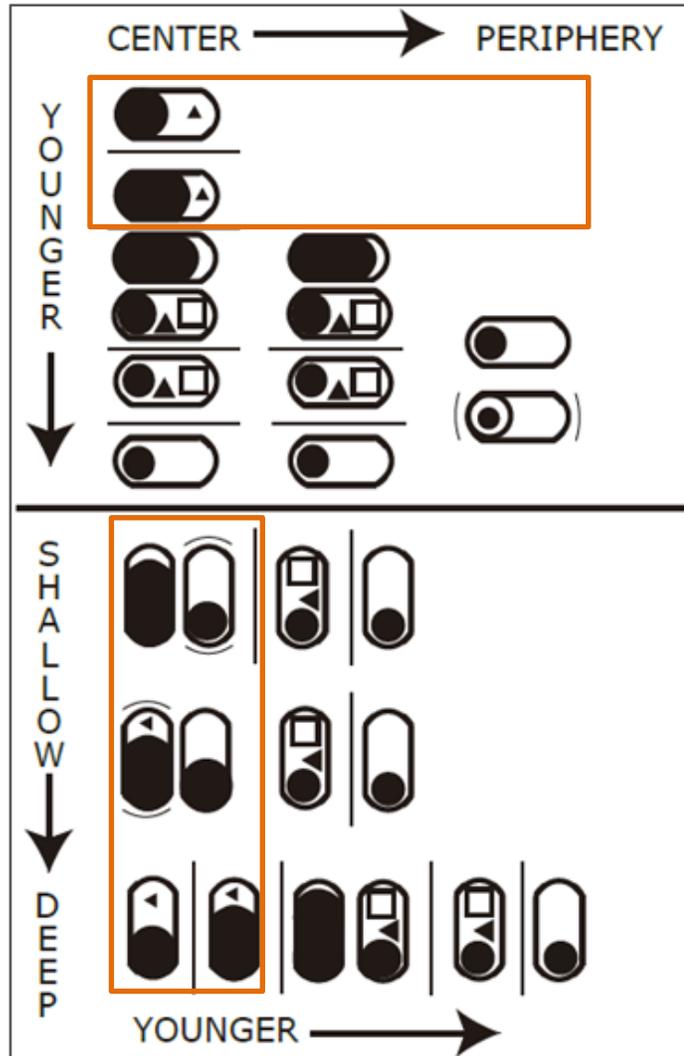


Figura 9.21 Distribución del tipo de fluido en tiempo y espacio al atravesar a lo largo desde el centro a la periferia y de superficie a zonas profundas de un sistema pórfido cuprífero. Lo encerrado en el rectángulo es la correlación de las distribuciones relativas esperadas de las inclusiones según su relación temporal temporalmente, es decir, como en la zona central profunda de un sistema pórfido cuprífero las inclusiones se modifican según la edad del sistema. Tomado y modificado de Bodnar (1982).

Tabla 9.5 Explicación de las inclusiones del modelo de distribución espacio-temporal de Bodnar (1982), figura 2.21. (Bodnar, 1982; Roedder y Bodnar, 1997; Beane y Bodnar, 1995)

Inclusión Fluida	Descripción del fluido de la inclusión	Ubicación en sistema porfídico.
	Fluido de moderada densidad con precipitación de calcopirita a partir del fluido atrapado.	Característico de etapas tempranas en lugares centrales y profundos.
 (tipo 2 de Nash, 1976)	Fluido de baja densidad con precipitación de calcopirita (vapor de baja salinidad).	Característico de la parte más somera en estadios tempranos.
 (tipo 1 de Nash, 1976)	Fluido de alta densidad de baja a moderada salinidad (liquido diluido).	Estadios tempranos en la parte más profunda y central, o estadios tardíos en la parte más somera y central.
 (tipo 3 de Nash, 1976)	Fluido de alta salinidad y concentración de cobre favoreciendo la precipitación de calcopirita y halita (salmuera).	Distribuido verticalmente en etapas intermedias desde la superficie hasta la profundidad y lateralmente del centro a la periferia, útil como limitador de área de mineralización.
	Coexistencia de fluidos de baja densidad con fluidos de alta salinidad y concentración de cobre, caracteriza evento de ebullición (característico de DPC)*.	Característico de la parte central del pórfido
	Coexistencia de fluidos de alta y baja densidad, característico de eventos de ebullición.	Estadios iniciales del sistema porfídico característico de ebullición, en zona superficial, con presencia de calcopirita es zona más profunda.

* Esta coexistencia de inclusiones es característico en pórfidos cupríferos con mineralización económica, sin embargo es posible encontrarla en otros sistemas hidrotermales que transportaban metales y evidenciaron ebullición, porque no es una coexistencia de inclusiones fluidas que solo se puede observar petrográficamente en muestras provenientes de depósitos pórfidos cupríferos. Sin embargo, observarlas estudiando un sistema que se cree o se sabe que es tipo pórfido cuprífero es buen indicio (Bodnar et al, 1985).

Distribución gráfica de inclusiones fluidas en pórfido joven

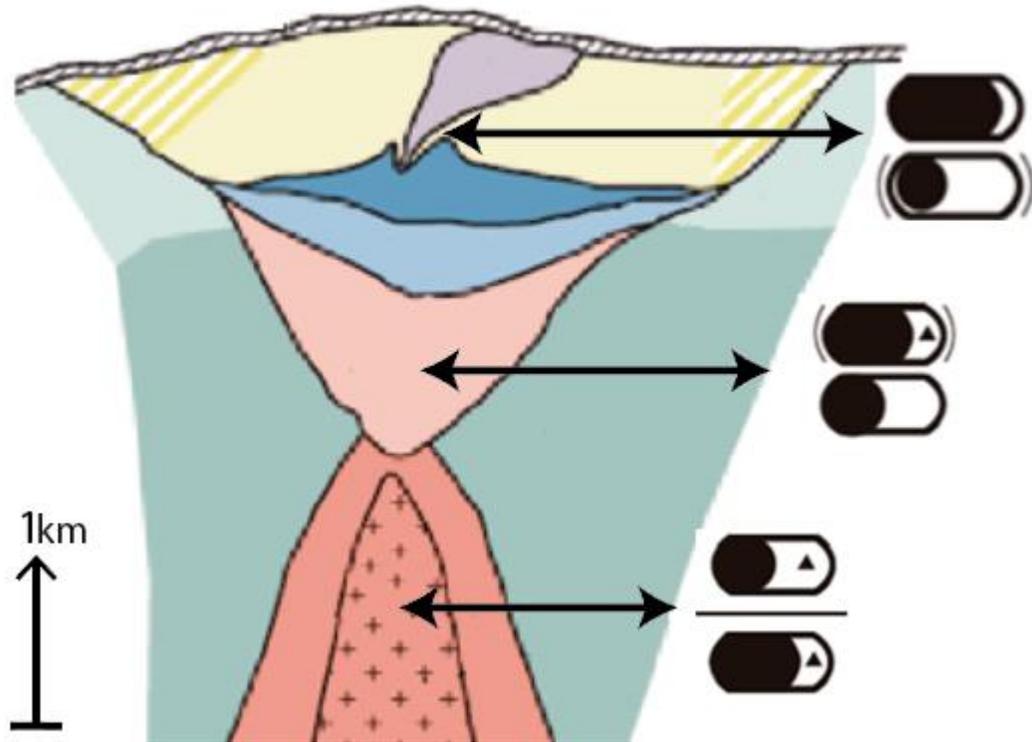


Figura 9.22 Representación esquemática de la ubicación relativa de las inclusiones fluidas esperables según la edad del sistema. En la formación de un sistema pórfido cuprífero joven no se espera variación del centro a su periferia con respecto a las inclusiones fluidas, principalmente existe una variación en el tipo de las inclusiones en la dirección vertical, de la parte más somera a la más profunda por la zona central del sistema. Figura de modelo esquemático de sistema porfídico tomada y modificada de Sillitoe (2010).

Distribución grafica de inclusiones fluidas en pórfido mediana edad

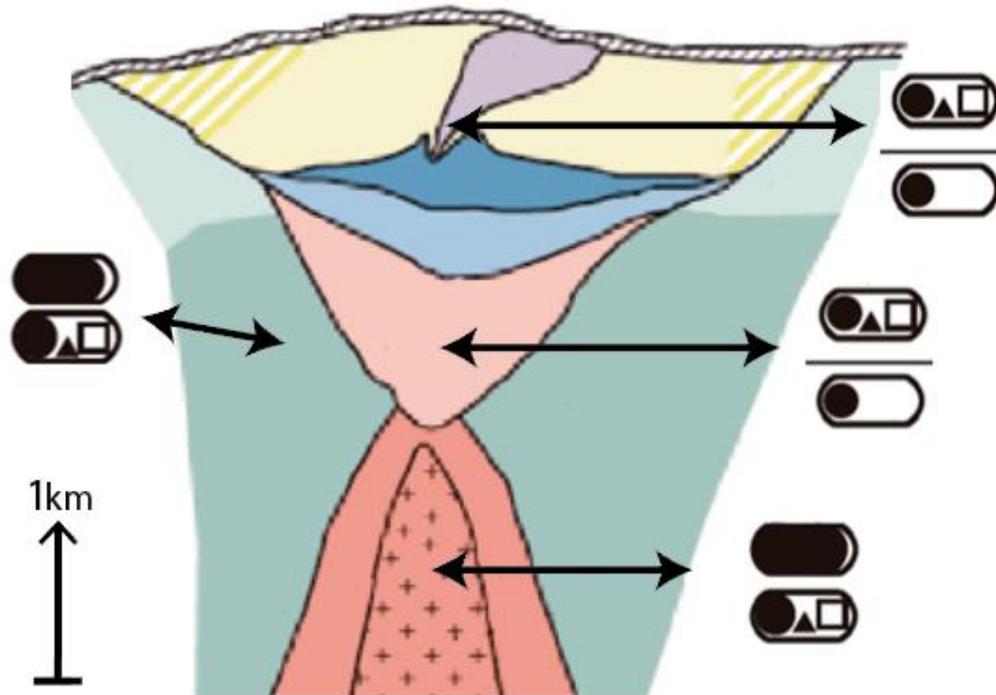


Figura 9.23 Representación esquemática de la ubicación relativa de las inclusiones fluidas esperables según la edad del sistema. En la formación de un sistema pórfido cuprífero de mediana edad se espera una leve variación del centro a su periferia en las inclusiones fluidas a nivel intermedio con respecto a la vertical. Existe una variación de las inclusiones en la dirección vertical de la parte más somera a la más profunda por la zona central del sistema, y estas a su vez son diferentes a las de un sistema joven. Figura de modelo esquemático de sistema porfídico tomada y modificada de Sillitoe (2010).

9.4.2 Relación entre inclusiones fluidas y las alteraciones de un pórfido cuprífero

Un estudio realizado en 79 depósitos pórfido cuprífero recopiló información de inclusiones fluidas asociadas a alteraciones hidrotermales presentes en 13 de esos yacimientos, generando una base de 1915 datos en total graficados como puntos en la figura 9.24 tras realizarle a las inclusiones fluidas microtermometría (Bodnar et al., 2014). En ella se puede apreciar como las inclusiones fluidas abundan más en la alteración potásica y filica que en la propilitica y argílica, las cuales últimas dos están agrupadas en el mismo recuadro por su difícil distinción además se puede apreciar que en estas alteraciones (propilitica y argílica) dominan las inclusiones ricas en líquido. Siguiendo con un análisis similar, podemos notar que las alteraciones filica y potásica presentan una similitud en la salinidad (0-60 wt% NaCl) de sus inclusiones pero con diferencia en su temperatura de homogenización, característica de la temperatura a la cual suceden dichas alteraciones.

Beane y Bodnar (1995) indican que las inclusiones tipo 3, que vendrían siendo las ricas en halita, presentes en la alteración potásica son atrapadas en los momentos tempranos al desarrollarse la alteración. A su vez, las tipo 1 que representan las ricas en líquido pueden presentarse a unos pocos kilómetros lejos de alteración de biotita – potásica mientras que las tipos 2, ricas en vapor, se presentarían en el núcleo del pórfido cuando están asociadas a la alteración potásica.

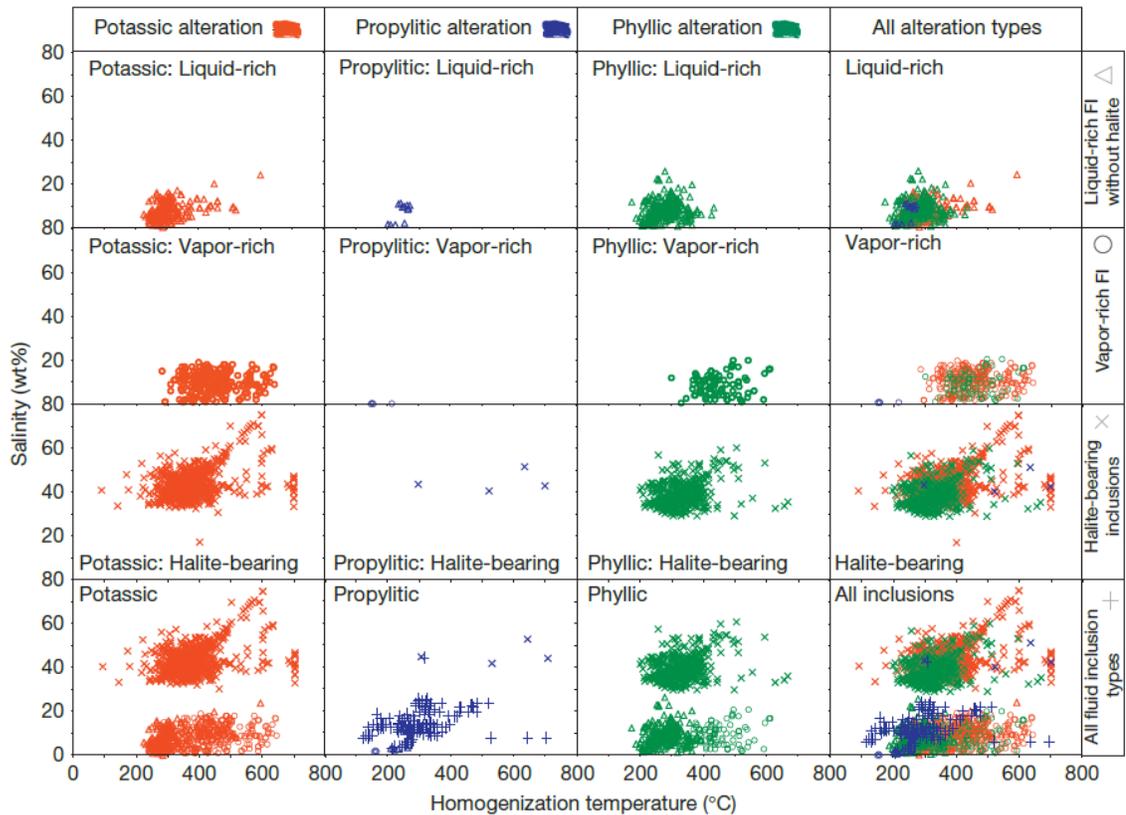


Figura 9.24 Grafica en función de los valores de temperatura de homogenización y salinidad tomados en inclusiones fluidas ricas en líquido, ricas en vapor y saturadas en halita asociadas a una zona de alteración (potásica, filica y argílica). Tomada de Bodnar et al. (2014).

9.4.3 Relación entre inclusiones fluidas y tipos de vetillas presentes en un pórfido cuprífero

La generalización exacta de que tipos de inclusiones fluidas se encontraran en qué tipo de vetilla en un sistema hidrotermal tipo pórfido cuprífero es de difícil determinación por las múltiples variedades de procesos que estos depósitos sufren y la variedad misma en la que estos se presentan en el mundo. Sin embargo las investigaciones que recopilan información como las ya mostradas y utilizadas en los puntos anteriores (Nash 1976, Singer, 2012; Beane y Bodnar, 1995; Bodnar, 2014) han destacado ciertos aspectos de los cuales destacamos los siguientes:

1. Fluido de alta salinidad suelen acompañar la deposición de cuarzo-calcopirita en las vetillas.
2. Generalmente la mineralización importante económicamente se halla en vetillas de cuarzo-calcopirita y cuarzo-molibdeno las cuales contienen solo inclusiones de moderada salinidad.
3. Inclusiones tipo 1 de Nash (1976) están presente en todas las vetillas, variando solo en grados de salinidad.

Es frecuente que en las investigaciones de pórfido cuprífero al realizar descripciones de vetillas se realice un análisis de las inclusiones fluidas atrapadas en ellas. Se presentara dos casos ejemplos que servirán para enmarcar teóricamente el proceso y que no escapa de la contextualización del depósito pórfido Rosario estudiado en el presente trabajo.

El primer caso de estudio es el realizado por Gustafson y Hunt (1975) que al desarrollar su trabajo en el pórfido El Salvador establecieron los tipos de vetillas A, B y D en las cuales se describieron inclusiones fluidas. Sus observaciones fueron las siguientes:

Las vetillas tipo A y tipo B presentan inclusiones caracterizadas por burbujas de moderado tamaño con presencia de halita y minerales opacos, pensado a priori como hematita, rara vez también puede haber presencia de silvita y en otras ocasiones opacos triangulares supuestos como calcopirita. Estas inclusiones **nunca** fueron observadas en vetillas tipo D, mientras que inclusiones de alta salinidad son altamente abundantes en las vetillas tipo A.

Inclusiones fluidas con burbujas de gran tamaño, tales que ocupan entre el 40 y 80 por ciento del volumen de la inclusión, y que pueden presentar o no opacos pequeños (probablemente hematita) son encontradas en vetillas tipo A y B, pero **nunca** en vetillas tipo D.

Las inclusiones presentadas en las vetillas tipo D están caracterizadas por presentar una burbuja pequeña, sin presencia de ninguna fase sólida, y que al efectuarles microtermometría representarían temperaturas de homogenización entre 175°C a 310°C, mientras que las presentes en las vetillas tipo A y B homogenizan a rangos de temperatura entre 360°C y más de 600°C.

En resumen, podríamos decir que las observaciones realizadas por Gustafson y Hunt (1975) sería:

Vetilla tipo A, en El Salvador: Alta abundancia de inclusiones tanto de alta salinidad como de baja densidad.

Vetillas tipo B, en El Salvador: Abundancia de inclusiones de alta salinidad y baja densidad, a veces hallándose inclusiones que tienden a ser de baja salinidad.

Vetillas tipo D, en El Salvador: Solamente inclusiones esparcidas de baja salinidad vistas en cuarzo, anhidrita y esfalerita.

Si transformamos las observaciones realizadas sobre las inclusiones fluidas por Gustafson y Hunt (1975) a la clasificación de tipo de inclusiones fluidas establecida por Nash (1976), tenemos que las inclusiones descritas por ellos (Gustafson y Hunt) como de alta salinidad corresponderían a inclusiones fluidas tipo 3 de Nash (1976), la baja densidad como tipo 2 de Nash (1976) y la baja salinidad como tipo 1 de Nash (1976). Concluyendo las observaciones realizadas por Gustafson y Hunt sobre las inclusiones fluidas presentes en el tipo de vetilla en El Salvador, vistas en función a los tipos propuestos por Nash (1976), se tendría lo siguiente:

Las vetillas tipo A presentan alta abundancia de I.F. ricas en vapor y saturadas en halita (tipo 2 y 3 correspondientemente según Nash, 1976).

Las vetillas tipo B presentan I.F. ricas en líquido, ricas en vapor y saturadas en halita (tipo 1, 2 y 3, respectivamente según Nash, 1976).

Las vetillas tipo D presentan solo I.F. ricas en líquido (tipo 1 según Nash, 1976).

9.4.4 Trabajos previos en el distrito minero Collahuasi utilizando inclusiones fluidas

Resaltamos el trabajo realizado sobre el pórfido Rosario por Masterman (2005, 2010), dada la influencia que este efectúa en las hipótesis trabajadas en la actual investigación, hipótesis que

Masterman establece tras estudios de tipo de vetilla y microtermometría en las inclusiones fluidas presentes en ellas. Masterman identifico los **tipos** de inclusiones fluidas atrapadas en los diferentes tipos de vetillas presentes en el pórfido, resumiendo sus descripciones y análisis de la siguiente manera práctica:

Vetillas tipo A presentan I.F. ricas en líquido, ricas en vapor y saturadas en halita (tipo 1, 2 y 3)*.

Vetillas tipo B presentan I.F. ricas en líquido y ricas en vapor (tipo 1 y 2)*.

Vetillas tipo C presentan solo I.F. ricas en líquido (tipo 1)*.

Vetillas tipo E presentan I.F. ricas en líquido, ricas en vapor y saturadas en halita (tipo 1, 2 y 3)*.

Vetillas de eventos tardíos de Tennantita-Ennargita (TES) exhiben I.F. ricas en líquido (tipo 1)*.

**Para ver ilustración de los tipos de inclusiones fluidas de Nash (1976) consultar la figura 17.*

9.4.5 Método de exploración de pórfidos cupríferos cuantificando inclusiones fluidas

Producto de que el estudio de inclusiones fluidas caracteriza propiedades fisicoquímicas de los fluidos, la temporalidad de los eventos formadores de los depósitos tipo pórfido y como se ha expuesto previamente también puede establecer correlaciones con las alteraciones y las vetillas mineralizadoras e incluso alcanzar una estimación de la ubicación espacial del fluido con respecto a un sistema pórfido cuprífero. Bodnar (1982) propuso un índice cuantitativo (figura 9.25) bajo la asunción de que la mineralizaciones importantes de cobre en la formación de un pórfido cuprífero ocurren en el núcleo del sistema al desarrollarse la alteración potásica y que esta alteración y mineralización está caracterizada por un abundante atrapamiento de inclusiones fluidas salinas saturadas en NaCl e inclusiones fluidas ricas en vapor, ambas con la posibilidad de contener calcopirita como mineral adyacente.

Este índice puede ser usado con fines exploratorios producto a que genera una noción espacial de estar en presencia de la frontera entre la alteración potásica y el filica de un sistema porfídico. Esta frontera en muchos depósitos pórfido cuprífero del suroeste de Estados Unidos vendría siendo la zona mineralizadora de cobre. Debe decirse que el índice establecido por Bodnar (1982) usado de manera aislada no es concluyente dado que estas inclusiones fluidas, saturadas en halita y rica en vapor, pueden hallarse en otros contextos geológicos, un ejemplo de ello vendría siendo representados por intrusiones epizonales **pobremente** mineralizado, sin embargo la presencia de calcopirita como mineral adyacente es un indicador de que por lo menos los fluidos transportaron y mineralizaron cobre. Por estas razones es recomendable complementar el uso de esta posible herramienta exploratoria.

<u>CARACTERISTICA</u>	<u>ABUNDANCIA RELATIVA</u>
INCLUSIONES CON HALITA	0 → 12
INCLUSIONES RICAS EN VAPOR	0 → 6
INCLUSIONES CON CALCOPIRITA	0 → 4
INDICE DE PROBABILIDAD DE PORFIDO CU =	Σ

Figura 9.25 Metodo de cuantificar características y distribución de inclusiones fluidas en depósitos tipo pórfido cuprífero para establecer un índice para uso en la exploración. El valor máximo asignado a cada característica es proporcional a su relevancia. A mayores valores de “Índice de probabilidad de pórfido cuprífero” (IPPC) mayor probabilidad de encontrar mineralización cuprífera económicamente importante. Tomado y modificado de Bodnar (1982).

La figura 9.25, es un resultado propuesto luego de considerar las inclusiones fluidas más importantes en la representación de un depósito pórfido cuprífero, dándole mayor importancia a las inclusiones con halita precipitadas directamente del fluido pues indica una elevada concentración de cloro, elemento importante por su participación como complejo clorurado en el transporte de los metales, en particular, favorece el transporte de cobre en la fase acuosa. En menor medida las ricas en vapor producto a la noción de separación de fase, indicando modificaciones en las condiciones fisicoquímicas del sistema lo que suele gatillar precipitaciones, además si se tiene una coexistencia de dos fases representada por inclusiones fluidas ricas en vapor y ricas en líquido puede hablarse de un posible evento de ebullición, evento que influye fuertemente en las salinidades resultantes de la nueva fase líquida y fase gaseosa generada, produciendo un enriquecimiento en la salinidad de la fase líquida aumentando en ellas la posibilidad de transportar el cobre como complejos clorurados. Por último la presencia de calcopirita precipitada dentro de la inclusión es un indicador de concentraciones (saturación) de cobre favorable en el sistema. (Roedder y Bodnar, 1997).

Anexo B Tabla Base

Catálogo B.1 Tabla base construida mediante las observaciones de cada muestra de la presente investigación. L: liquido; H: Halita; V: vapor; X: sólido opaco (en tipo 3 corresponde a calcopirita). Valor 1 indica presencia del tipo de inclusión y valor 0 ausencia.

				I.F. Tipo 0	I.F. Tipo 6	I.F. Tipo 5	I.F. Tipo 1	I.F. Tipo 2	I.F. Tipo 4	I.F. Tipo 3			
MUESTRAS	Metros s.n.m.	Roca	Tipo de Vetilla	L	V	L+V	L+H	L+X	L-V-H	L+V+X	L+H+X	L+V+H+X	IPPC
VD-01-03-10	4312.119	PCO	A-B	0	1	1	1	0	0				11
VD-02-03-10	4296.229	PCO	B	0	1	1	0	1	0				6
VD-03-03-10	4271.439	PCO	B	1	0	1	0	0	0				6
VD-04-03-10	4245.569	PCO	D	0	1	1	0	0	0				7
VD-05-03-10	4219.549	PRO	A-B	1	1	1	0	0	0				4
VD-06-03-10	4205.279	PRO	D	1	0	1	1	0	0		1		7
VD-07-03-10	4189.289	PRO	B-D	0	1	1	0	1	0				7
VD-08-03-10	4183.169	PRO	A	0	1	0	0	1	0				8
VD-09-03-10	4186.119	PRO	B-D	0	1	1	0	1	0				12
VD-10-03-10	4176.119	PRO	D	0	1	1	0	0	0				8
VD-11-03-10	4152.409	PRO	E	0	1	1	0	0	0				5
VD-12-03-10	4146.999	PRO	B-D	0	1	0	0	0	0		1		8
VD-13-03-10	4137.189	PRO	D	1	0	1	0	0	0				7.5
VD-14-03-10	4133.189	PRO	D	0	0	0	0	0	0				0
VD-15-03-10	4108.539	PRO	B-D	1	1	1	0	0	0				10
VD-16-03-10	4101.149	PRO	E	0	1	1	0	0	0				5.5
VD-17-03-10	4096.929	PRO	B-D	1	0	1	1	0	0				6.5
VD-18-03-10	4095.959	PRO	B	1	1	1	0	0	0				9
VD-01-04-10	4295.591	PRO	A-B	0	1	1	0	0	0				3.5
VD-02-04-10	4282.351	PRO	D	1	1	1	0	0	0				3.5
VD-03-04-10	4279.001	PRO	D	1	1	0	1	0	0				5
VD-04-04-10	4271.551	PRO	D	1	0	1	0	1	0				6

VD-05-04-10	4256.151	PRO	D	1	1	1	1	0	0		7
VD-06-04-10	4245.301	PRO	A	1	0	0	1	1	0		7
VD-07-04-10	4222.551	PRO	A	1	1	0	0	0	0		2
VD-08-04-10	4216.301	PRO	D	1	0	0	0	0	0		2
VD-09-04-10	4232.42	PCO	A-B	1	0	0	0	0	0		3
VD-10-04-10	4213.550	PCO	D	1	0	0	1	0	0		9
VD-11-04-10	4189.890	PCO	D	0	1	1	0	0	0		8
VD-12-04-10	4165.800	PCO	C	1	0	1	0	0	0		4
VD-13-04-10	4141.750	PCO	B-D	0	1	1	0	1	0		11
VD-14-04-10	4119.420	PCO	E	0	1	1	0	0	0		8
VD-15-04-10	4092.950	PCO	D	0	1	1	0	0	0	1	14
VD-16-04-10	4092.150	PCO	B	0	1	1	1	0	0	1	14
VD-17-04-10	4104.650	PRO	D	1	1	1	1	0	0		5
			propilítica								
VD-18-04-10	4100.260	PRO	- E	1	1	1	0	0	1		7
VD-19-04-10	4057.540	PRO	E	1	0	1	0	0	0		4
VD-20-04-10	4037.660	VET	E	0	1	1	0	0	0		2
			roca con								
VD-21-04-10	3996.860	PRO	ccp	1	1	1	0	1	1		5.5
VD-22-04-10	3984.820	PRO	B	0	0	1	0	0	1		6
VD-23-04-10	3963.510	PRO	B-D	0	1	1	0	0	1		10
VD-24-04-10	3939.410	PRO	D	1	0	0	1	0	0		6.5
VD-25-04-10	3913.660	PRO	B	1	0	1	1	0	0		8.5
VD-26-04-10	3868.060	PRO	B-D	1	0	1	0	0	0		8
VD-27-04-10	3814.510	PRO	D	1	0	1	1	1	0		7
VD-28-04-10	4195.093	POR	D	0	1	1	0	0	0		5
VD-29-04-10	4148.893	POR	D	1	1	1	1	0	0		7
VD-30-04-10	4102.943	POR	D	0	1	1	0	0	1		11
VD-31-04-10	4033.543	POR	A-B	1	1	1	0	0	0		4.5
VD-32-04-10	3986.743	POR	D	1	1	1	0	0	1	1	11

VD-33-04-10	3925.023	POR	B-D	0	1	0	0	1	1				6
VD-34-04-10	3877.973	POR	A-D	1	0	0	0	0	0				2.5
VD-35-04-10	3834.613	POR	B-D	0	1	1	0	0	0		1		10.5
VD-36-04-10	4414.974	AND	propilítica	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
VD-37-04-10	4390.274	AND	propilítica	1	0	1	1	0	0				8
VD-38-04-10	4373.474	USED	propilítica	0	1	1	0	0	0				4
VD-39-04-10	4317.874	AND-VET	propilítica	0	1	0	0	0	0				3
VD-40-04-10	4194.232	PRO	propilítica	0	1	1	0	0	0		1		10
VD-41-04-10	4140.332	TOB	A-B	0	0	1	0	0	0				2
VD-42-04-10	4120.632	TOB	D							SIN INCLUSIONES FLUIDAS			
VD-43-04-10	4091.232	TOB	B-D	0	1	1	0	0	0				9
VD-44-04-10	4039.032	PQZ	D	1	1	0	0	0	0				3
VD-45-04-10	3997.032	BRV	B	1	1	0	0	0	0				2
VD-46-04-10	3949.732	PRO	A-B	1	0	1	0	0	1				10
VD-47-04-10	3871.932	PRO	A-B	1	0	1	0	0	1		1		12
VD-48-04-10	3845.332	PRO	A	1	1	1	0	0	0				10
VD-01-05-10	4236.895	OCO	E	0	1	1	0	0	0				2
			propilítica-										
VD-02-05-10	4226.395	OCO	A	0	1	1	0	0	0				5
VD-03-05-10	4221.345	BRH	D	1	1	0	0	0	0				5
VD-04-05-10	4117.145	BRH	B	1	0	0	0	1	0				6
VD-05-05-10	4103.995	TOB	D	0	1	0	0	0	1				5
VD-06-05-10	4081.295	VET	E	0	1	0	0	0	0				1
VD-07-05-10	4080.995	VET-TOB	E-D	0	0	0	0	0	0				0
VD-08-05-10	4075.305	TOB	B-D	1	1	0	0	0	0				7
VD-09-05-10	4619.642	TOB	D	0	0	1	0	0	0				2
VD-10-05-10	4406.842	USED	B-D	1	0	1	0	0	0				3
VD-11-05-10	4394.442	USED	E	1	0	1	1	0	0				6
VD-12-05-10	4129.570	DIO	propilítica	0	0	0	0	0	0				0

VD-13-05-10	4119.850	DIO	lixiviado- propilítica	1	1	1	0	0	0	2	
VD-14-05-10	4318.807	DAC	D	0	0	1	0	0	0	4	
VD-15-05-10	4324.307	DAC	E	1	1	1	0	0	0	5	
VD-16-05-10	4330.557	DAC	E	1	0	1	1	0	0	9	
VD-17-05-10	4304.007	DAC	D	0	1	1	0	0	0	4	
VD-18-05-10	4308.507	DAC	E	0	1	0	0	0	0	5	
VD-19-05-10	4449.947	DIO	B-D	1	0	1	0	0	0	4	
VD-20-05-10	4484.347	DIO	propilítica	1	0	1	0	0	0	4	
VD-21-05-10	4393.997	DIO	propilítica	1	1	0	0	0	0	1	
VD-22-05-10	4407.297	DIO	E	1	1	0	0	0	0	6.5	
VD-23-05-10	4405.997	DIO	E	1	1	0	0	0	0	2	
VD-24-05-10	4409.547	DIO	propilítica	1	1	0	0	0	0	2	
VD-25-05-10	4412.997	BRH-DIO	D	1	1	1	0	0	0	3	
VD-27-05-10	4305.043	TOB	roca	1	1	1	0	0	0	6	
VD-28-05-10	4313.493	TOB	propilítica	1	1	1	0	0	0	4	
VD-29-05-10	4317.913	AND-TOB	lixiviado	1	1	0	0	0	0	1	
VD-30-05-10	4326.043	AND	propilítica	1	0	1	0	0	0	4	
VD-31-05-10	4288.243	TOB	E	0	0	1	0	0	1	2	
VD-32-05-10	4260.143	TOB	E	1	0	1	1	0	1	3	
VD-33-05-10	4264.343	TOB	E	1	1	1	0	0	0	2	
VD-34-05-10	4270.693	BRV	E	1	0	1	0	0	0	3	
VD-35-05-10	4274.293	BRH	TES	0	1	1	0	0	0	5	
VD-38-05-10	4295.045	PCO	B	0	1	1	1	0	0	7	
			propilítica vetilla de								
VD-39-05-10	4306.225	PCO	cuarzo	0	1	1	0	0	0	8	
VD-40-05-10	4311.475	PCO	B-D	0	1	1	0	0	1	9	
VD-41-05-10	4321.875	PCO	A	0	1	0	1	0	0	1	8.5
VD-42-05-10	4330.325	PCO	roca con	1	1	0	1	0	0	9	

ccp											
VD-43-05-10	4331.125	PCO	D	0	1	1	0	0	0		9
VD-45-05-10	3803.025	PRO	A	0	1	1	0	0	0	1	10
VD-46-05-10	3811.525	PRO	propilítica	0	1	1	0	0	0	1	8
VD-47-05-10	3876.375	PRO	D	0	1	1	1	0	1		8
VD-48-05-10	3781.475	PRO	B	1	1	0	0	0	0		8
VD-49-05-10	3677.475	PRO	D	1	1	1	1	0	1		9
VD-50-05-10	3574.525	PRO	B	0	1	1	1	0	0		9
VD-51-05-10	3578.475	PRO	B	0	0	1	0	0	0		4
VD-52-05-10	3587.275	PRO	B	1	0	1	0	0	0		7
VD-53-05-10	3634.375	PRO	B	1	1	1	0	0	0		7
VD-54-05-10	3490.475	PRO	B	1	1	1	0	0	1	1	9
VD-55-05-10	3508.475	PRO	B	0	0	1	0	0	1	1	10
VD-56-05-10	3526.795	PRO	B	0	1	1	0	0	0		8
VD-57-05-10	4274.438	TOB	E	1	1	0	0	0	0		4
VD-58-05-10	4293.388	TOB	E	1	0	0	0	0	0		3.5
VD-60-05-10	4313.038	RND-AND	propilítica	0	1	1	0	0	0		9
VD-61-05-10	4208.288	TOB	D	1	1	0	1	0	0		6
VD-62-05-10	4213.388	DIO	propilítica	0	1	0	0	0	0		6
VD-63-05-10	4145.838	AND	D	1	1	0	0	0	0		5
VD-64-05-10	3902.318	PRO	roca con ccp	1	0	1	0	0	0		5
VD-65-05-10	3901.688	PRO	roca con ccp	1	0	1	0	0	0		3.5
VD-66-05-10	3886.538	PRO	roca con ccp	0	1	1	0	0	0	1	9
VD-67-05-10	3773.638	PRO	B	0	1	1	0	0	0		6.5
VD-69-05-10	3649.938	PRO	B	0	1	1	0	0	0		7
VD-70-05-10	3651.838	PRO	B	1	1	1	0	1	0		5
VD-71-05-10	3729.338	PRO	B	1	1	1	0	0	0		5

NA-4	4345.710	B	1	1	0	0	0	0	1	9
NA-5	4335.010	D	1	1	0	1	0	0		10
NA-6	4316.460	E	1	0	0	1	0	1		10.5
NA-7	4131.210	B	1	1	1	1	0	0		8
NA-8	4105.610	B-D	1	1	1	1	0	0		5
NA-9	4101.040	E	1	1	1	1	0	0		6
NA-10	4097.960	B	1	1	1	1	0	0		5.5
NA-11	4087.460	D-E	1	1	0	0	0	0		2
NA-12	4076.860	E	1	1	0	1	0	0		6
NA-13	4035.110	D	1	0	0	0	1	0		3
NA-14	4030.460	D	1	1	1	0	0	0		5
NA-15	4010.260	D	1	1	1	1	0	0		9
NA-16	4200.630	A-B	1	1	1	1	0	0		7.5
NA-17	4178.530	B	1	0	1	0	0	1		6.2
NA-18	4169.530	B-E	1	0	0	1	0	0		2
NA-19	4161.930	B-D	1	1	1	1	1	0	1	9.5
NA-20	4157.367	B-D	1	0	0	0	0	0		2
NA-21	4148.667	B-D								
NA-22	4136.917	D	1	1	0	0	0	0		3
NA-23	4483.478	propilítica	1	1	0	0	0	0		2
NA-24	4475.478	propilítica	1	0	0	0	0	0		0
NA-25	4332.128	lixiviado	1	1	1	0	0	0		2
NA-26	4266.528	E	1	1	1	0	0	0		3
NA-27	4257.678	TES	1	1	1	0	0	0		4
NA-28	4254.128	E	1	1	1	0	0	0		4
NA-29	4244.728	E	1	0	0	0	0	0		2
NA-30	4306.967	TES	1	0	1	0	0	0		2
NA-31	4288.797	TES	1	1	0	0	0	0		2
NA-32	4162.467	lixiviado	1	1	0	0	0	0		3
NA-33	4484.420	alteración	1	1	1	0	0	0		2

NA-34	4376.470	propilítica	1	1	0	0	0	0			3
NA-35	4062.300	A-B-D	1	1	0	1	1	0			5.5
NA-36	4054.900	A-D	1	1	1	0	0	0	1		5.5
NA-37	4025.100	B-D	1	1	1	1	0	0		1	8
NA-38	4012.050	A-B	1	1	1	0	0	0			5.5
NA-39	4002.750	B-D	1	1	1	1	0	0			5
NA-40	3983.100	B-D	1	1	1	1	0	0			6.5
NA-41	3946.800	D	0	1	0	0	1	0		1	9
NA-42	3924.600	B-D	1	1	1	0	0	0			5
NA-43	3880.394	B-D	1	0	1	1	1	0			6.5
NA-44	3865.594	B-D	0	1	1	1	1	0			7
NA-45	3785.194	C	0	1	1	1	0	1		1	10
NA-46	3748.294	B-D	1	1	1	1	0	0			5.5
NA-47	3729.944	B-D	1	1	1	1	0	0			6.5
NA-48	3686.394	E	1	1	0	0	0	0		1	6
NA-49	3675.844	D	0	1	1	1	0	1		1	9
NA-50	3675.144	D-E	1	1	1	0	1	0		1	8
NA-51	4561.290	cuarzo	1	1	0	1	1	0		1	5.5
NA-52	4561.740	cuarzo	1	1	1	1	0	0			5.5
NA-53	4462.790	AoC	1	1	0	1	0	0		1	9.5
NA-54	4443.690	D	1	1	0	1	0	0		1	5
NA-55	4422.290	B-C	1	1	1	0	0	0		1	6.5
NA-56	4421.310	D	1	1	1	0	0	1			8.5
NA-57	4382.390	D	0	1	0	1	0	1			8
NA-58	4328.640	D	1	0	0	1	0	0			4
NA-59	4317.990	D-B	0	1	1	0	0	0			3
NA-60	4309.940	D	1	1	0	0	0	0			4
NA-61	4286.490	D	0	1	1	1	0	1		1	9
NA-62	4279.540	B-D	1	1	1	1	0	1		1	8
NA-63	4353.326	A	1	1	0	0	0	0			1

NA-64	4348.226	D	1	1	0	0	0	0	1
NA-65	4340.226	C	1	0	0	1	0	0	2
NA-66	4320.646	E	1	1	0	0	0	0	2
NA-67	4305.826	E	1	0	1	0	0	0	3
NA-68	4290.980	lixiviado	1	0	0	0	0	0	1
NA-69	4287.280	lixiviado	1	0	1	0	0	0	1
NA-70	4265.180	A	1	0	0	0	0	0	1
NA-71	4265.680	E-TES	1	1	0	0	0	0	6
NA-72	4249.130	E-TES	1	1	0	0	0	0	2
NA-73	4244.080	TES	1	1	1	0	0	0	2
NA-74	4227.880	E	1	1	1	0	0	0	2
NA-75	4209.420	E	1	0	1	0	0	0	2
NA-76	4209.060	E	1	1	0	0	0	0	2
NA-77	4444.910	C	1	1	1	0	0	0	3
NA-78	4433.160	D	1	1	1	1	0	0	5
NA-79	4427.610	A	1	1	1	1	0	0	5
NA-80	4284.860	B-D	0	1	0	0	0	0	7.5
NA-81	4259.310	D	0	1	0	0	0	0	7
NA-82	4252.860	C	0	1	0	1	0	0	8.5
NA-83	4233.060	E	1	1	0	0	1	0	6.5
NA-84	4216.510	C-D	1	1	0	0	0	0	8.5
NA-85	4202.760	D	0	1	0	0	0	0	9
NA-87	4169.960	TES	1	0	0	0	0	0	1
NA-88	4164.790	E	0	1	1	1	0	0	10
NA-89	4146.790	D	1	1	1	1	0	0	8.5
NA-90	4067.480	D	1	0	0	0	0	0	1
NA-91	4180.195	D	1	1	1	0	0	1	11
NA-92	4281.095	D	1	1	1	1	0	0	11
NA-93	4260.075	B-D	1	1	0	0	0	1	9
NA-94	4248.995	B-D	1	1	1	1	0	0	8.5

NA-95	4239.695	B-D	1	1	0	1	0	0	1	9
NA-99	4053.595	D	1	1	1	0	0	0	1	7.5
NA-100	4050.095	E	1	0	0	0	0	0		1
NA-101	4044.845	E	1	0	0	0	0	0		0.5
NA-102	4043.445	E	1	0	0	0	0	0		0.5
NA-103	4040.645	D	1	1	1	0	0	0		5
NA-104	4036.995	B-D	0	1	1	1	0	0		6
NA-105	4026.795	B-D	1	1	1	0	0	0	1	6
NA-106	4002.795	A	0	1	1	1	0	1		6.5
NA-107	3998.845	B-D	1	1	1	1	0	0		8
NA-108	3984.595	B-D	1	1	1	1	0	0		8
NA-109	3972.795	D	1	1	1	0	0	0		4
NA-110	3958.195	D	1	1	1	1	0	0	1	8
NA-20.1	4135.620	D-A	1	1	1	1	0	0		8
NA-21.1	4022.480	D	0	1	1	1	0	0	1	11.5

Significado de abreviaciones en tipo de roca: PRO: pórfido Rosario; POC: pórfido Collahuasi; USED: unidad sedimentario; TOB: toba; AND: andesita; DIO: diorita; DAC: dacita; VET: veta-vetilla; BRH: brecha hidrotermal; BRV: brecha con vetilla; OCO: ocoíta.

Significado de abreviaciones en tipo de vetilla: A: vetilla tipo A; B: vetilla tipo B; C: vetilla tipo C; D: vetilla tipo D; E: vetilla tipo E; TES: vetilla de tenantita-enargita; A-B,C-D, D-B,A-D, E-TES, D-E, A-B-D: todas aquellas combinadas con guion representan un entrecruzamiento o presencia en la misma muestra de las vetilla correspondiente a su letra; Cuarzo: vetilla de solo cuarzo; Lixiviada: muestra sin vetillas o vetillas de óxidos de hierro; Propilítica: vetillas asociadas a alteración propilítica; Roca con ccp: muestra sin vetillas pero con calcopirita diseminada. En las columnas y filas de los tipo de inclusiones fluidas: tipo 0, tipo 1, tipo 2, tipo 3, tipo 4, tipo 5 y tipo 6, hacen referencia a la figura 5.1. Los valores de 1 o 0, indican tipo de inclusión fluida observada en la muestra o no presente en la muestra, respectivamente. Y las letras en los títulos significan: L: liquido; V: vapor; H: Halita; X: opaco, este último para las inclusiones tipo 3 representa la presencia de calcopirita. La unión de letras con guion “-“indican la coexistencia o el tipo de inclusión ejemplo: L-X: inclusión rica en liquido con opacos, L-V; inclusión rica en liquido coexistiendo con inclusión rica en vapor.

IPPC: Índice de probabilidad de pórfido cuprífero, Bodnar (1982), figura 9.25.

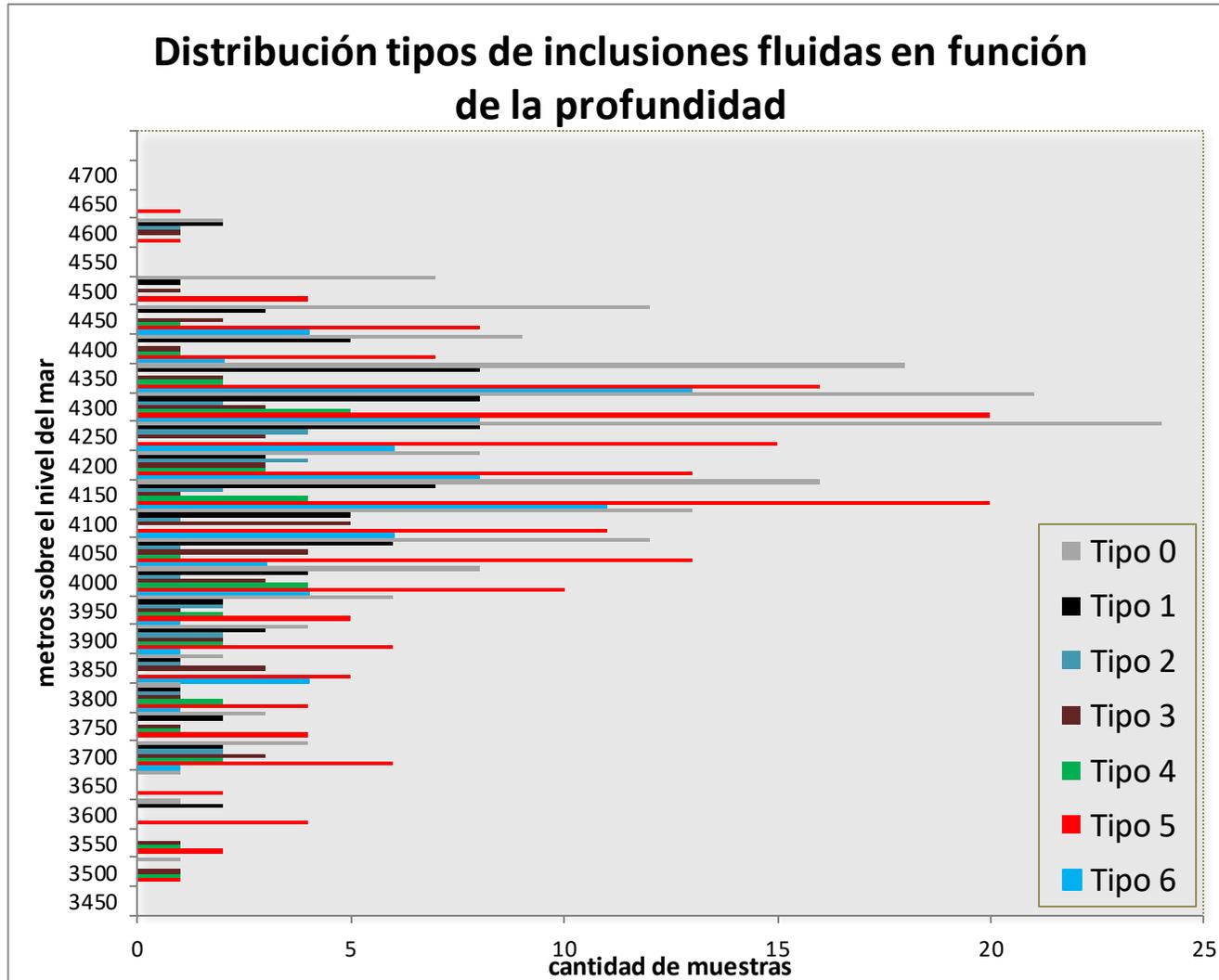
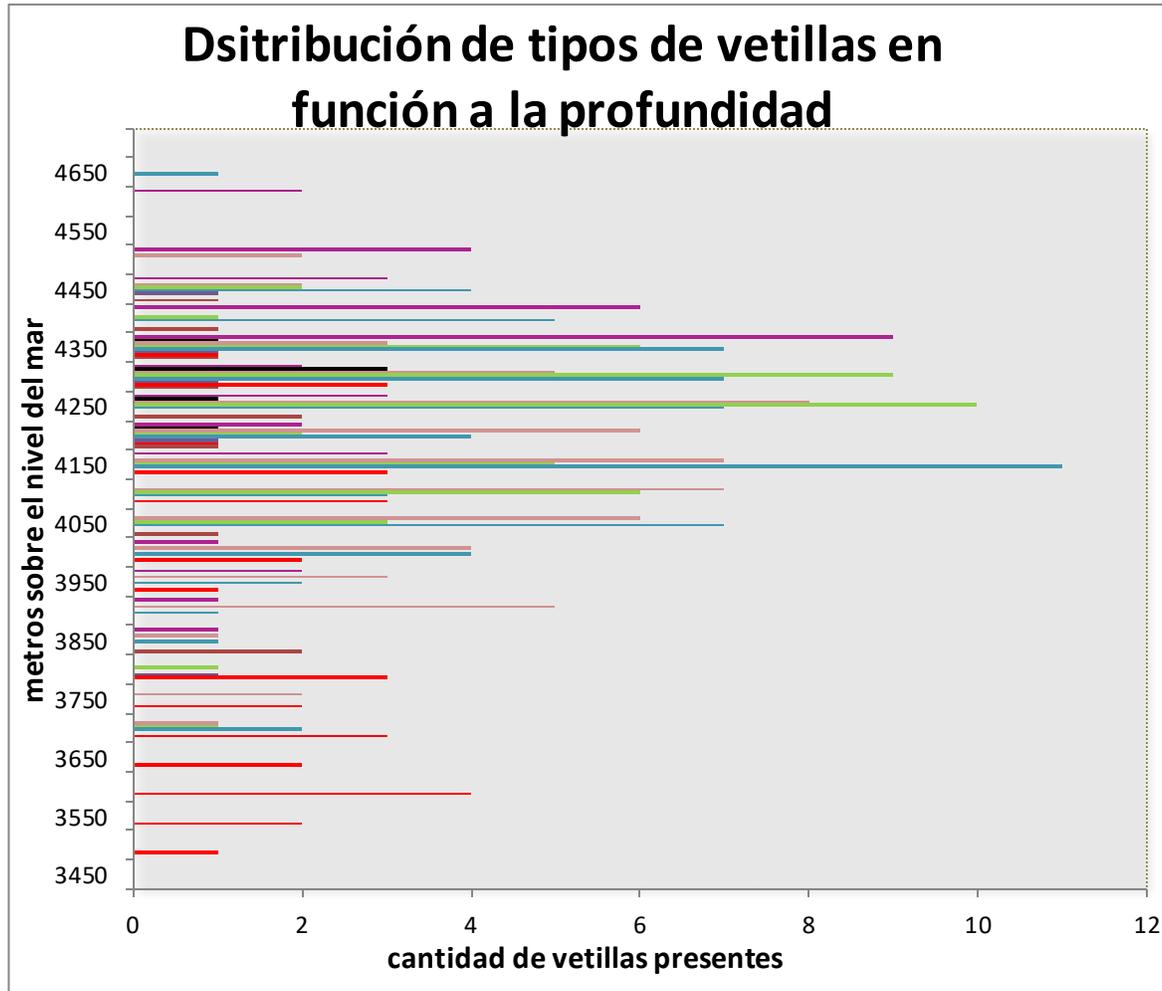


Ilustración C.1 Unión de los tipos de inclusiones fluidas distribuidas en función de la profundidad.



- Vetillas de alteracion
- Vetillas E
- Vetillas B
- Vetillas TES
- Vetillas D
- vetillas A
- Vetillas cruzadas
- Vetillas C

Ilustración D.1 Unión de los tipos de vetillas distribuidos en función de la profundidad.

Anexo E Tabla tipo de vetillas en función de intervalos IPPC

Catálogo E.1 Tabla tipos de vetillas en función de intervalos de valor índice probabilidad pórvido cuprífero (IPPC).

IPPC 0	IPPC [0-3]	IPPC [4-8]	IPPC [9-13]	IPPC [14-18]	IPPC [17-22]
0	3	4	3	0	0
0	3	20	7	1	0
0	3	0	2	0	0
2	17	30	16	1	0
1	25	16	4	0	0
0	5	1	0	0	0
2	12	32	16	0	0
	(9 son B)	(28 son B y 23 son B-D)	(14 son B y 11 son B-D)		
2	20	13	4	0	0
	(14 son propilítica)	(5 son propilítica)	(2 son propilítica)		

Anexo F Distribuciones de los parámetros visualizados en perspectivas 3D

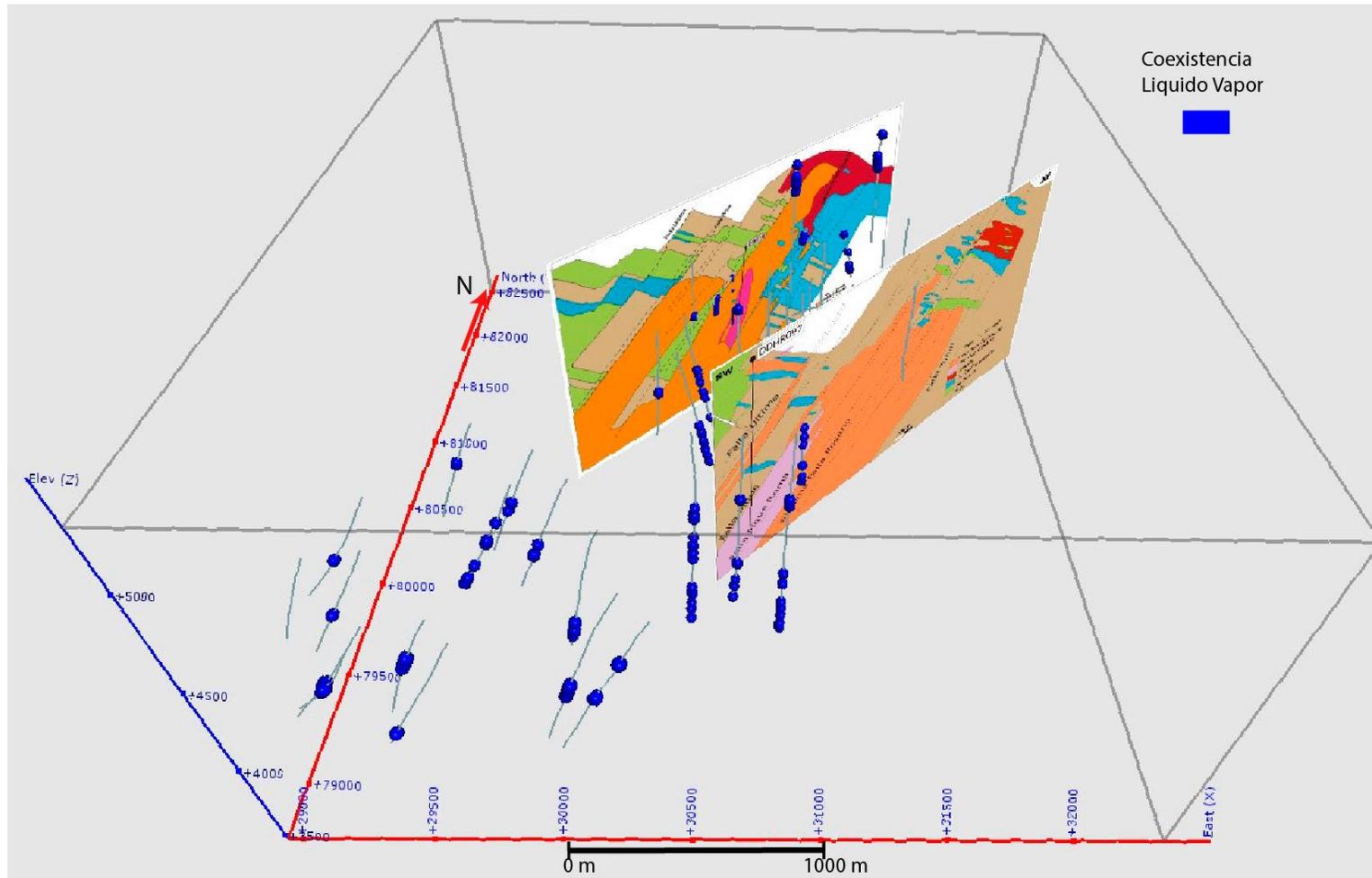


Ilustración F.1 Perspectiva en 3D de muestras en las que se identificó la coexistencia de inclusiones ricas en líquido con ricas en vapor, representando así eventos de separación de fases en el área estudiada. Se puede notar una abundancia de ebullición cerca de los perfiles en los sondajes más verticales. La zona más cercana al eje vertical son muestras elevadas, las cercanas a los perfiles son muestras más profundas.

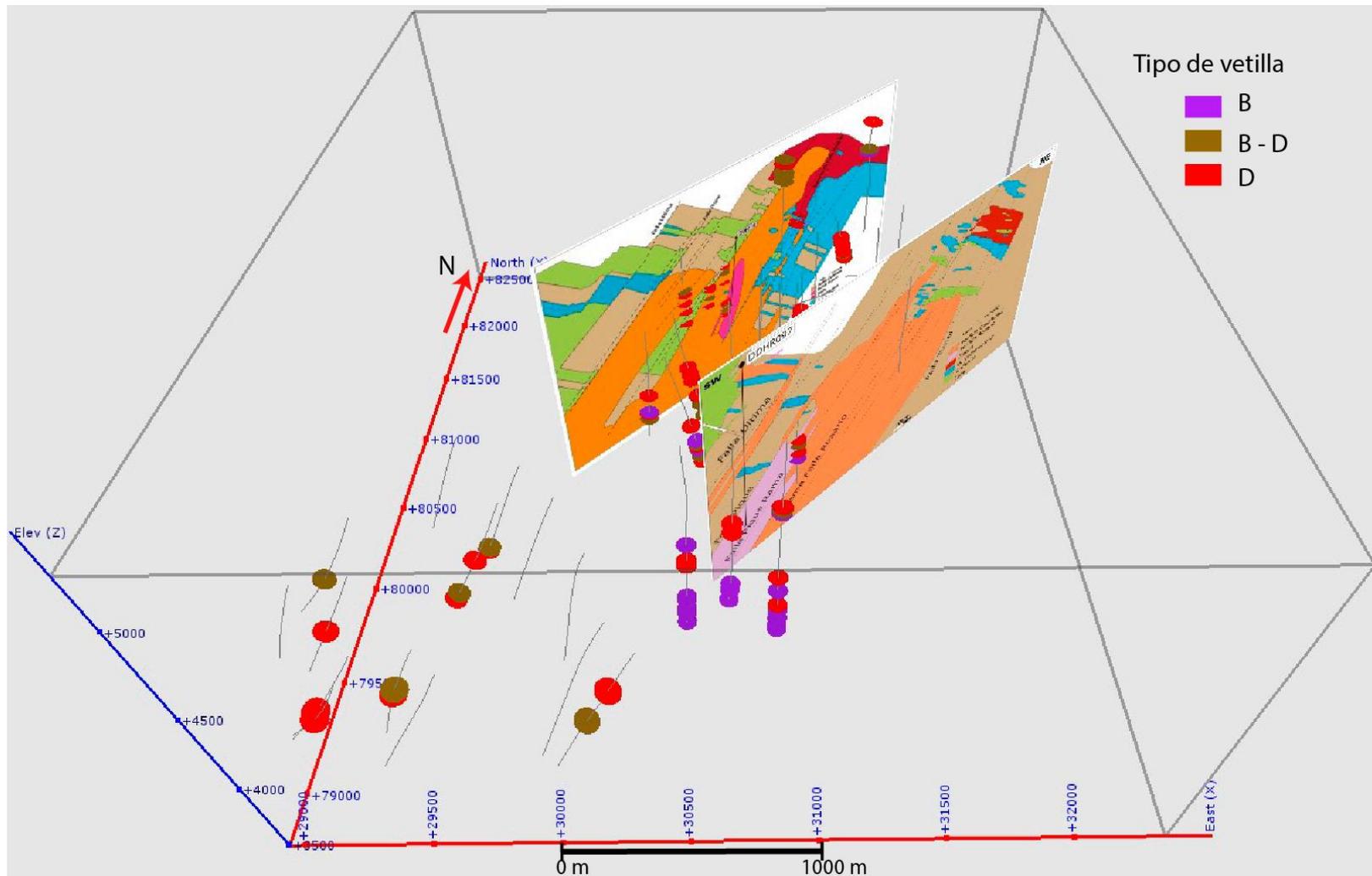


Ilustración F.2 Perspectiva en 3D de las muestras que presentan vetillas tipo B, tipo D y entrecruzamiento de ellas, B-D. Nótese como la parte más cercana al eje Z, que son muestras más superficiales, carecen de vetillas tipo B, mientras que en los sondajes cercanos a los perfiles abundan en muestras que son de mayor profundidad. En morado: vetillas tipo B, en rojo las tipo D y en café muestras con cruzamiento de ambas.

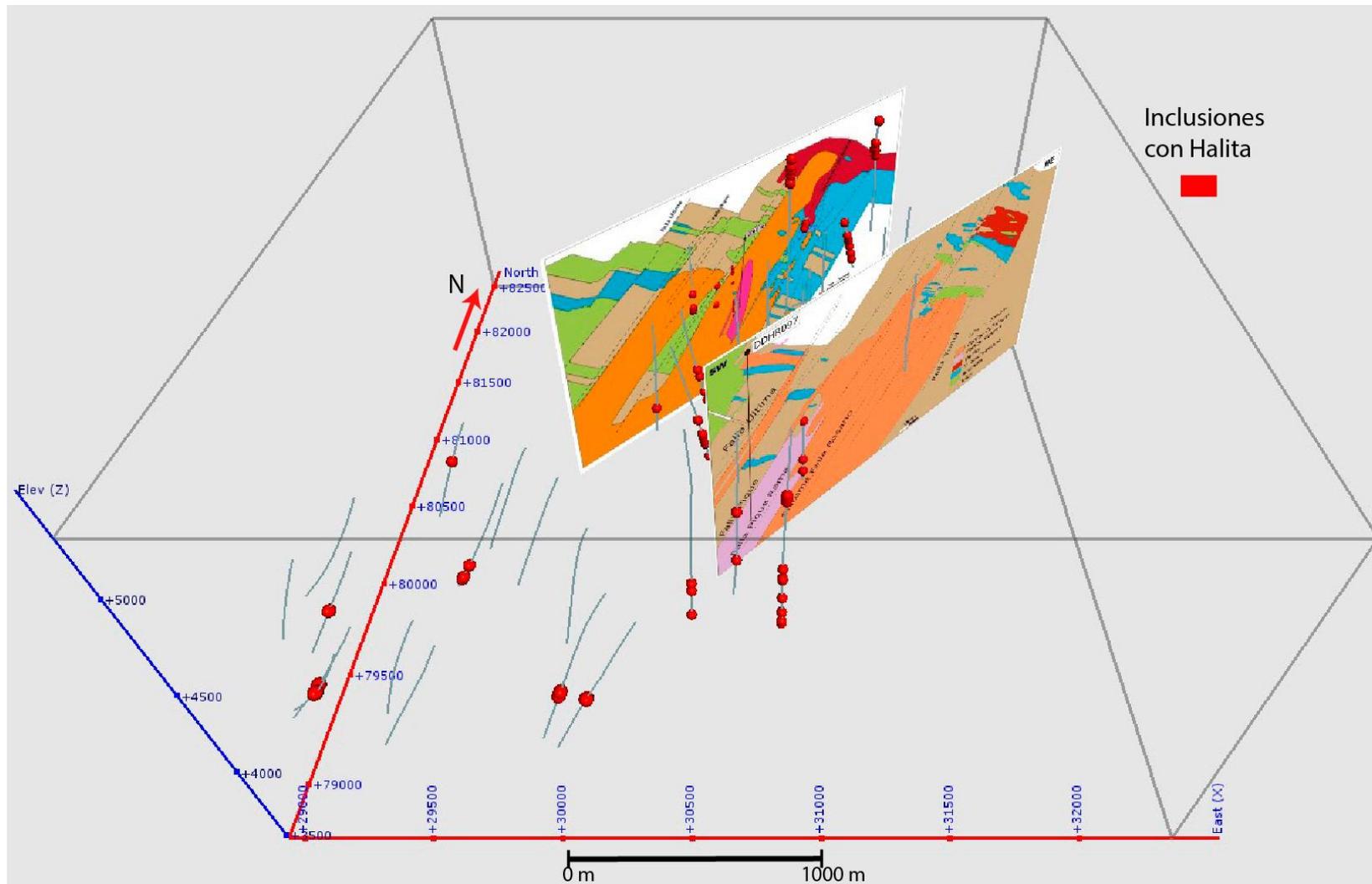


Ilustración F.3 Perspectiva en 3D de muestras con saturación de halita, indicando elevadas concentraciones de salinidad en el fluido. Se puede notar una preferente abundancia cercana a los perfiles. Esta zona está constituida, a su vez, por muestras profundas.

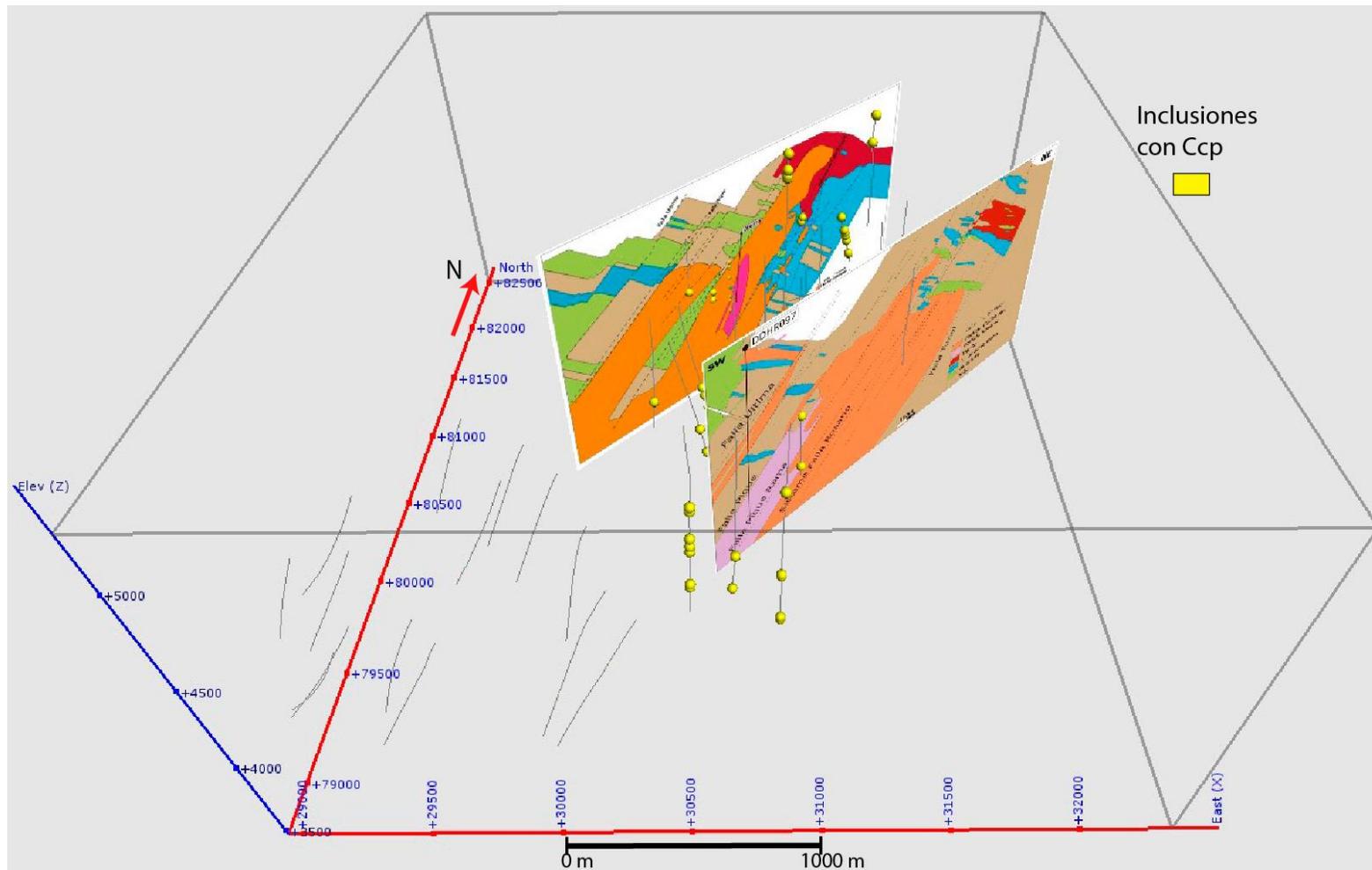


Ilustración F.4 Perspectiva en 3D de muestras con precipitación de calcopirita. A diferencia de todas las anteriores, se puede observar una mayor preferencia o una distribución más discreta de las muestras donde el fluido se encontraba saturado en calcopirita, Cu.

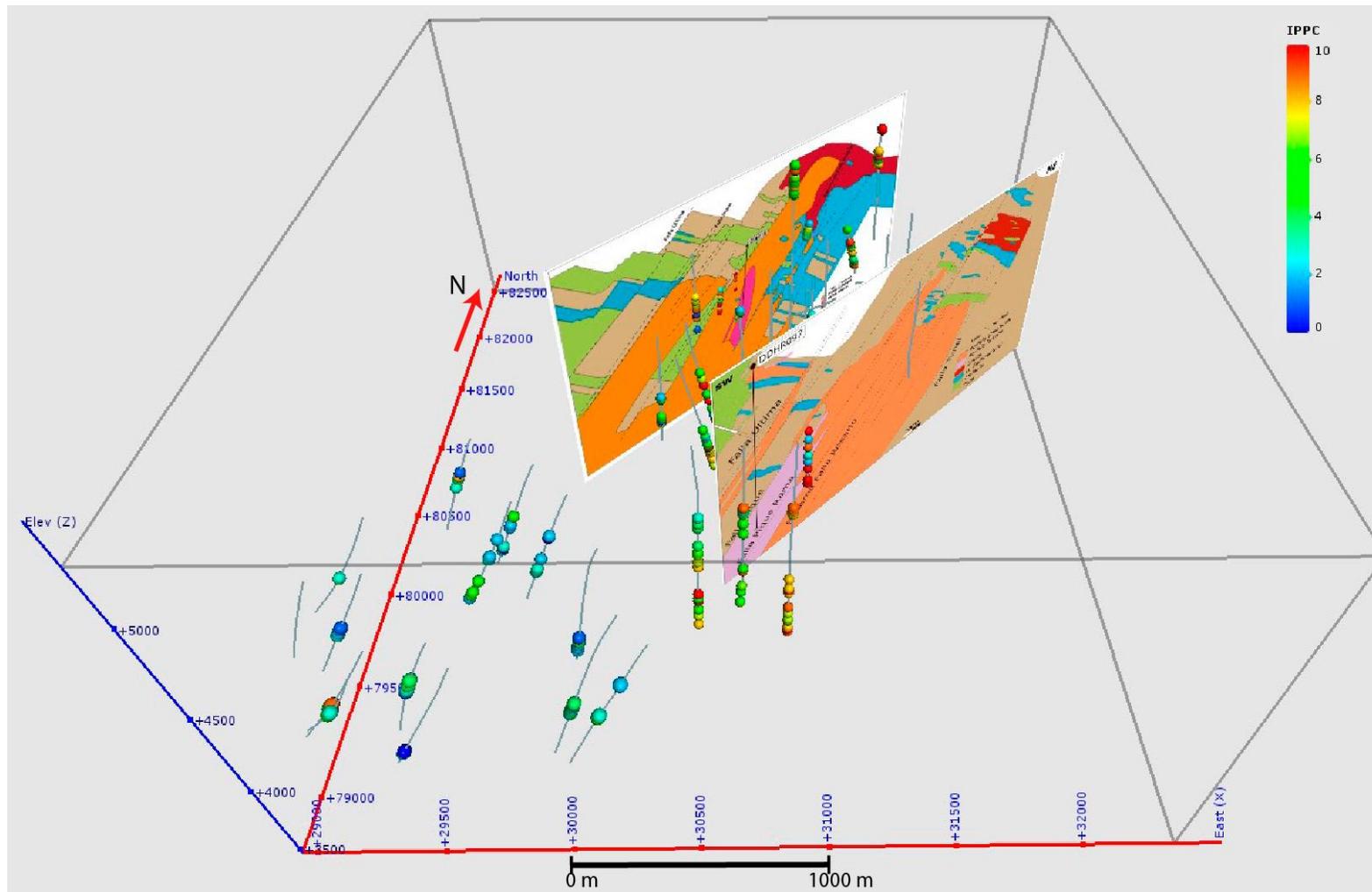


Ilustración F.5 Perspectiva 3D de la distribución de los valores Índice de Probabilidad de Pórfido Cuprífero (IPPC). Se puede notar como en las muestras más superficiales, cercanas al eje Z, presentan valores bajos vistos por los colores más cálidos, y que entorno a las cercanías de los perfiles en las zonas de pórfido Rosario, valores más altos.

Anexo G Perfiles esquemático de litología e índice de probabilidad de pórfido cuprífero

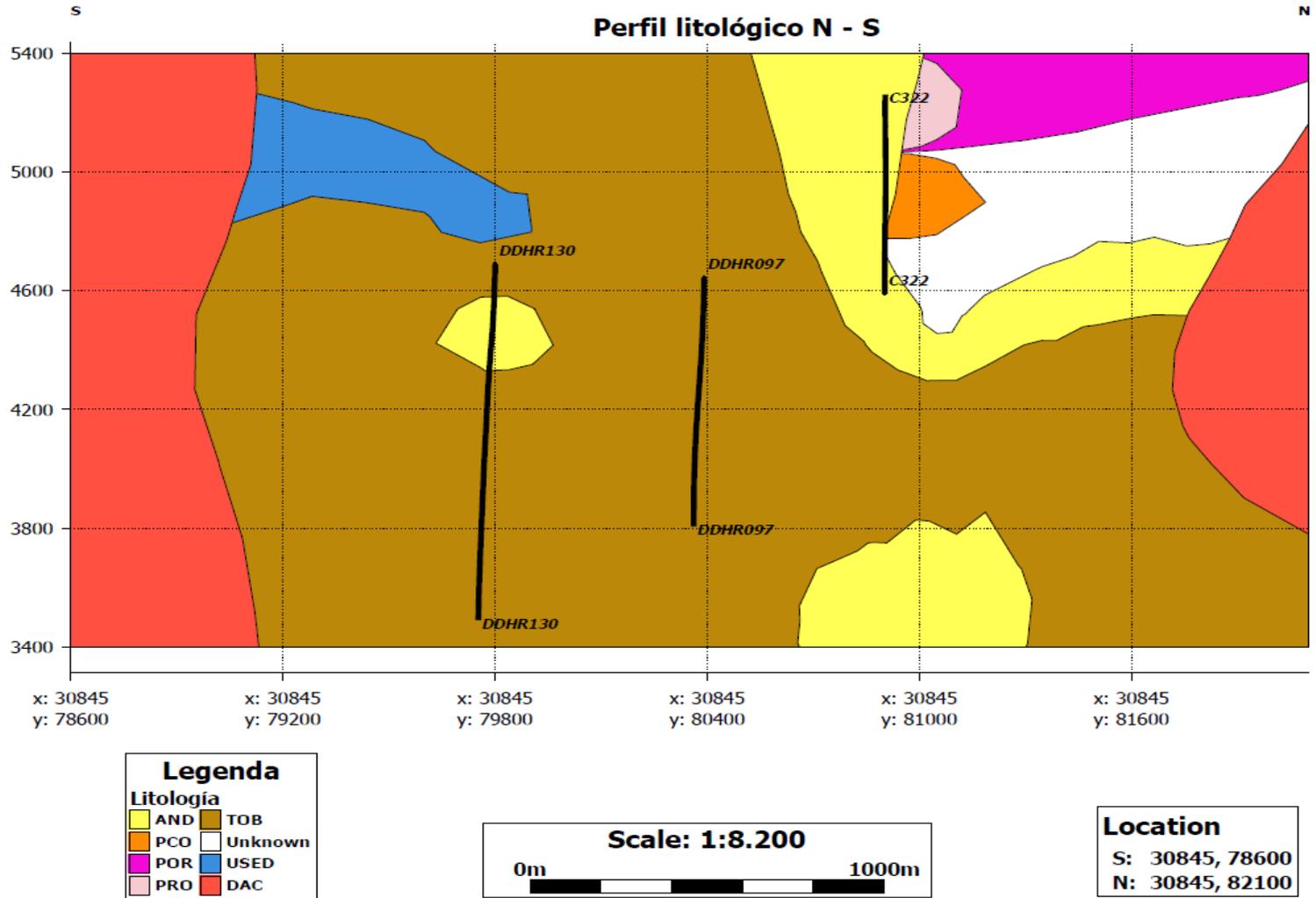


Ilustración G.1 Perfil representativo efectuado en Leapfrog tras la construcción de un modelo geológico basado en las principales litologías. Sección Norte-Sur, se puede apreciar como en la zona norte domina el pórfido rosario en lugares más altos, en conjunto con pórfido Collahuasi. AND: andesita; TOB: toba; PCO: pórfido Collahuasi; POR: pórfido Rosario; PRO: pórfido Rosario Oeste; DAC: dacita; USED: unidad sedimentaria; Unknown: Otra litología.

Perfil litológico SW - NE

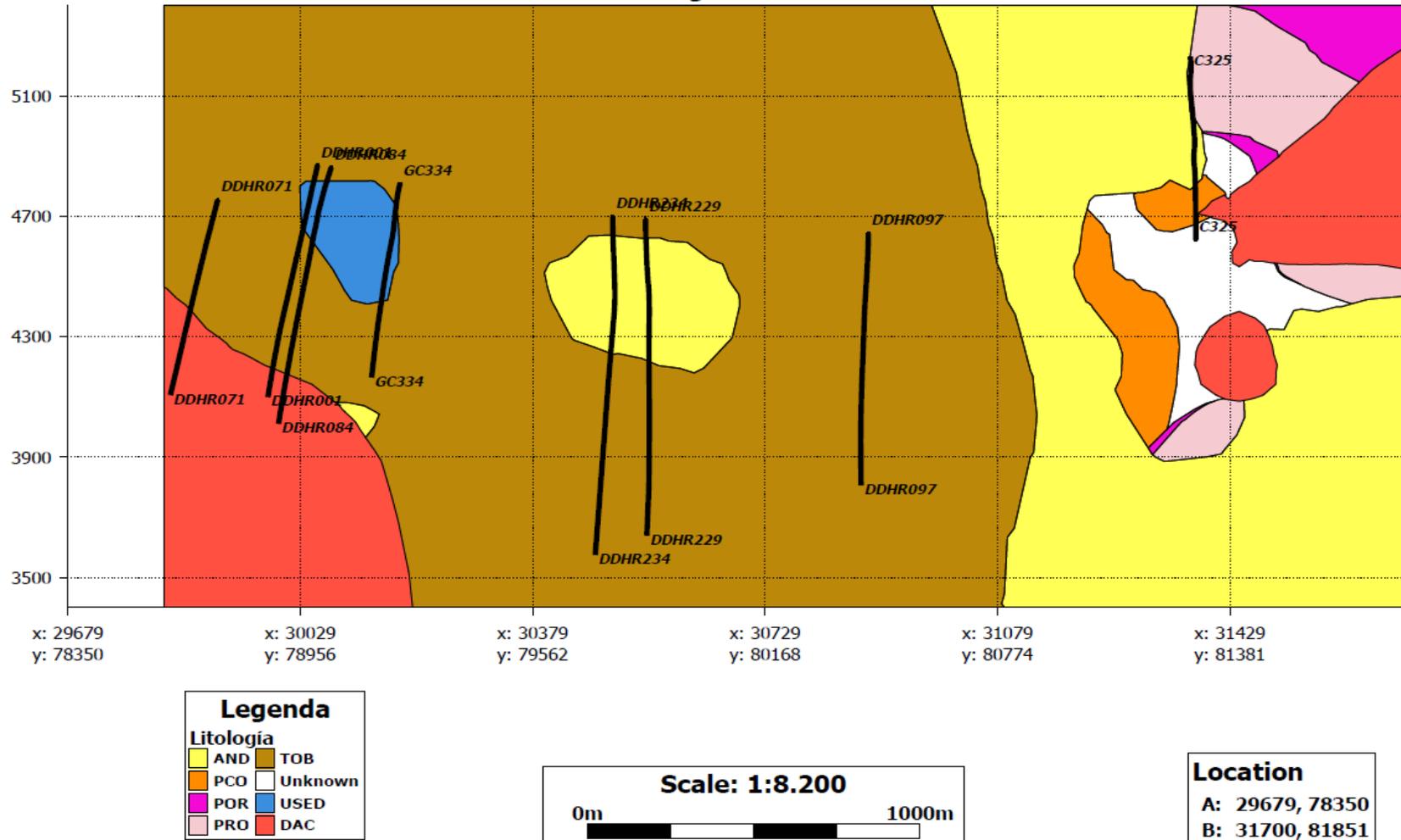


Ilustración G.2 Perfil representativo efectuado en Leapfrog tras la construcción de un modelo geológico basado en las principales litologías. Sección Suroeste-Noreste. En el extremo derecho de la imagen puede notarse una profundización del pórfido Rosario en dirección de Noreste hacia Suroeste. AND: andesita; TOB: toba; PCO: pórfido Collahuasi; POR: pórfido Rosario; PRO: Pórfido Rosario Oeste; DAC: dacita; USED: unidad sedimentaria; Unknown: Otra litología.

Perfil SW - NE valores IPPC

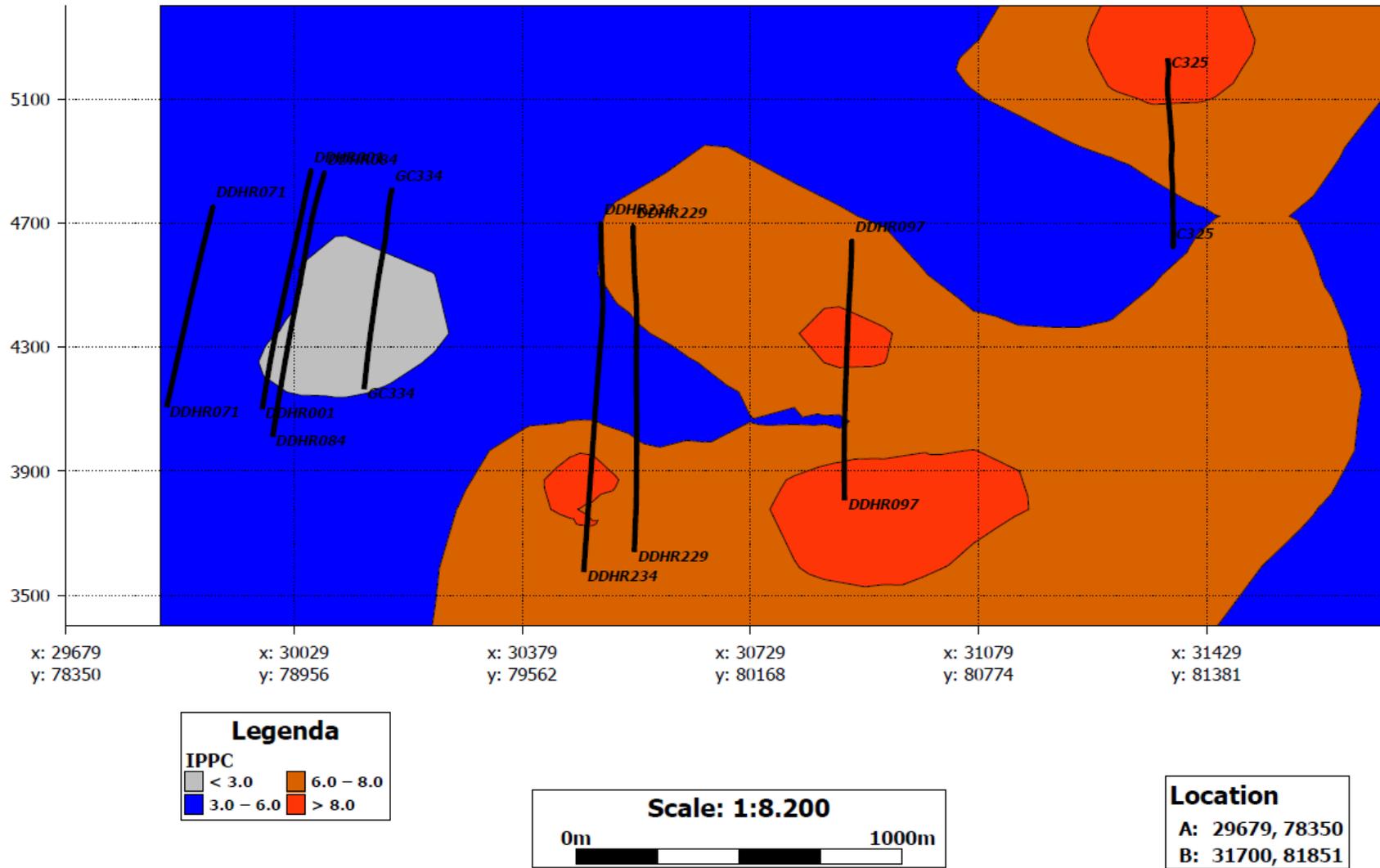


Ilustración G.3 Perfil de distribución de los valores de índice de probabilidad de pórvido cuprífero en una sección Suroeste-Noreste, a partir de un modelo numérico generado por Leapfrog. Se puede destacar como se aumentan el valor de IPPC desde la parte Noreste alta hacia el Suroeste en p rofundidad.

Anexo H Tabla Rechazo

Catálogo H.1 Rechazo de las muestras con un resumen de la/s vetilla/s, inclusión/es, profundidad y alteración como sus características .

Rechazo	Código muestra	Tipo vetilla	Tipo inclusión fluida	Alteración	Metros s.n.m.
	VD- 01 – 03 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 1, 5 y 6	Potásica	4312.119
	VD- 02 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 2, 5 y 6	Fílica	4296.229
	VD- 03 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0 y 6	Potásica	4271.439

	VD- 04 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Sericítica	4245.569
	VD- 05 – 03 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 5 y 6	Potásica con plagioclasas seritizadas	4219.549
	VD- 06 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 3 y 5	Cuarzo de alteración argílica	4205.279
	VD- 07 – 03 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 2, 5 y 6	Fílica	4189.289

	VD- 08 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 2 y 6	Potásica con agilización	4183.169
	VD- 09 – 03 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 2, 5 y 6	Potásica con alteración fílica	4186.119
	VD- 10 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Fílica	4176.119
	VD- 11 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Argílica	4152.409

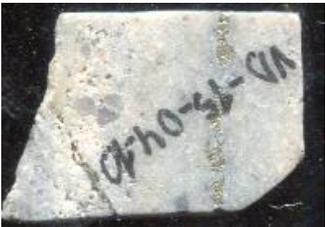
	VD- 12 – 03 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 3 y 6	Potásica con sericitización	4146.999
	VD- 13 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 5	Fílica alteración argílica con	4137.189
	VD- 14 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Sin inclusiones	Fílica alteración argílica con	4133.189
	VD- 15 – 03 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo sericita con alteración argílica	4108.539

	VD- 16 – 03 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Argílica	4101.149
	VD- 17 – 03 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1 y 5	Cuarzo - sericita	4096.929
	VD- 18 – 03 - 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 5 y 6	Potásica	4095.959
	VD- 01 – 04 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4295.591

	VD- 02 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas	de con	4282.351
	VD- 03 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1 y 6	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas	de con	4279.001
	VD- 04 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 2 y 6	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas	de con	4271.551
	VD- 05 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas	de con	4256.151

	VD- 06 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 0, 1 y 2	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4245.301
	VD- 07 – 04 – 10	Vetillas tipo A	Tipo 0 y 6		4222.551
	VD- 08 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Solo tipo 0	Argílica	4216.301
	VD- 09 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Solo tipo 0	Argílica	4232.42
	VD- 10 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 1		4213.550

	VD- 11 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Fílica con leve alteración argílica	4189.890
	VD- 12 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo C	Tipo 0 y 5	Fílica con leve alteración argílica	4165.800
	VD- 13 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 2, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4141.750
	VD- 14 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Fílica	4119.420

	VD- 15 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 3, 5 y 6	Fílica	4092.950
	VD- 16 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 1, 3, 5 y 6	Potásica con leve alteración fílica	4092.150
	VD- 17 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4104.650
	VD- 18 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 4, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4100.260
	VD- 19 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 5	Argílica	4057.540

	VD- 20 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Cuarzo alteración argílica	de	4037.660
	VD- 21 – 04 – 10	Vetilla de alteración, roca con calcopirita	Tipo 0, 2, 4, 5 y 6	Cuarzo alteración argílica	de	3996.860
	VD- 22 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 4 y 5	Fílica con leve alteración argílica	leve	3984.820
	VD- 23 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 4, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas	de con	3963.510

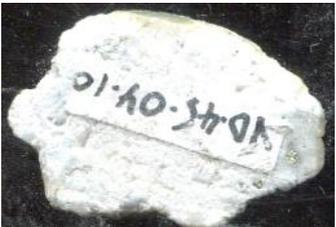
	VD- 24 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 1	Potásica	3939.410
	VD- 25 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 1 y 5	Fílica	3913.660
	VD- 26 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzadas tipos B-D	Tipo 0 y 5		3868.060
	VD- 27 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 2 y 5	Fílica con leve alteración argílica	3814.510
	VD- 28 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6		4195.093

	VD- 29 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Fílica con leve alteración argílica	4148.893
	VD- 30 – 04 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Fílica	4102.943
	VD- 31 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4033.543
	VD- 32 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 3, 4, 5 y 6	Fílica	3986.743

	VD- 33 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 2, 4 y 6	Fílica y argílica	3925.023
	VD- 34 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-D	Tipo 0	Fílica y argílica	3877.973
	VD- 35 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 3, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3834.613
	VD- 36 – 04 – 10	Vetilla de alteración propílica	Sin inclusiones	Propílica	4414.974

	VD- 37 – 04 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0, 1 y 5	Propilítica	4390.274
	VD- 38 – 04 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0, 5 y 6	Propilítica	4373.474
	VD- 39 – 04 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Solo tipo 6	Argílica	4317.874
	VD- 40 – 04 - 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 3, 5 y 6	Cuarzo - sericita	4194.232

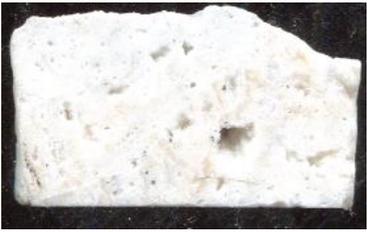
	VD- 41 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-D	Solo tipo 5	Cuarzo - sericita	4140.332
	VD- 42 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Sin inclusiones	Argílica	4120.632
	VD- 43 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 5 y 6	Potásica con leve alteración argílica	4091.232
	VD- 44 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 6	Propíltica	4039.032

	VD- 45 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0 y 6	Argílica	3997.032
	VD- 46 – 04 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 4 y 6	Cuarzo - sericita	3949.732
	VD- 47 – 04 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 3, 4 y 5	Fílica con leve alteración argílica	3871.932
	VD- 48 – 04 – 10	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 0, 5 y 6		3845.332
	VD- 01 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Argílica	4236.895

	VD- 02 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica- A	Tipo 5 y 6		4226.395
	VD- 03 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 6	Cuarzo - sericita	4221.345
	VD- 04 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0 y 2	Cuarzo de alteración potásica	4117.145
	VD- 05 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 4 y 6	Argílica	4103.995
	VD- 06 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 6	Argílica	4081.295

	VD- 07 – 05 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos D-E	Sin inclusiones	Argílica	4080.995
	VD- 08 – 05 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 9 y 6		4075.305
	VD- 09 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Solo tipo 5	Argílica	4619.642
	VD- 10 – 05 - 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0 y 5		4406.842
	VD- 11 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 1 y 5	Argílica	4394.442

	VD- 12 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Sin inclusiones	Propilítica	4129.570
	VD- 13 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0, 5 y 6	Propilítica	4119.850
	VD- 14 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Solo tipo 5	Fílica	4318.807
	VD- 15 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4324.307
	VD- 16 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 1 y 5	Argílica	4330.557

	VD- 17 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Potásica con alteración cuarzo - sericita	4304.007
	VD- 18 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Solo tipo 6	Argílica	4308.507
	VD- 19 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 5	Propilítica	4449.947
	VD- 20 – 05 - 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 5	Propilítica	4484.347
	VD- 21 – 05 - 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 6	Propilítica	4393.997

	VD- 22 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 6	Argílica	4407.297
	VD- 23 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 6	Argílica	4405.997
	VD- 24 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 6	Fílica	4409.547
	VD- 25 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4412.997
	VD- 26 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D		Argílica	

	VD- 27 – 05 – 10	Roca	Tipo 0, 5 y 6	Potásica alteración argílica con	4305.043
	VD- 28 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0, 5 y 6	Propilítica	4313.493
	VD- 29 – 05 – 10	Vetilla de alteración lixiviado	Tipo 0 y 6	Argílica	4317.913
	VD- 30 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 5	Propilítica	4326.043
	VD- 31 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 4 y 5	Argílica	4288.243

	VD- 32 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 4 y 5	Argílica	4260.143
	VD- 33 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4264.343
	VD- 34 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 5	Argílica	4270.693
	VD- 35 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo TES	Tipo 5 y 6	Argílica	4274.293
	VD- 36 – 05 – 10				
	VD- 37 – 05 – 10				
	VD- 38 – 05 – 10	Presencia de vetillas	Tipo 1, 5 y 6		4295.045

		tipo B			
	VD- 39 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 5 y 6	Fílica con leve alteración argílica	4306.225
	VD- 40 – 05 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 4, 5 y 6	Fílica con leve alteración argílica	4311.475
	VD- 41 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 1, 3 y 6		4321.875
	VD- 42 – 05 – 10	Roca con calcopirita diseminada	Tipo 0, 1 y 6	Cuarzo de alteración potásica	4330.325

	VD- 43 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 5 y 6	Argílica	4331.125
	VD- 44 – 05 – 10				
	VD- 45 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 3, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica de	3803.025
	VD- 46 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 3, 5 y 6	Propilítica	3811.525
	VD- 47 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 1, 4, 5 y 6	Cuarzo sericita	3876.375

	VD- 48 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0 y 6	Cuarzo alteración potásica de	3781.475
	VD- 49 – 05 – 10	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 4, 5 y 6	Potásica con leve alteración fílica	3677.475
	VD- 50 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 1, 5 y 6	Potásica	3574.525
	VD- 51 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Solo tipo 5	Cuarzo alteración potásica de	3578.475

	VD- 52 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0 y 5	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3587.275
	VD- 53 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 5 y 6	Potásica con alteración fílica	3634.375
	VD- 54 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 3, 4, 5 y 6	Fílica con leve agilización	3490.475
	VD- 55 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 3, 4 y 5	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3508.475
	VD- 56 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 5 y 6		3526.795

	VD- 57 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0 y 6		4274.438
	VD- 58 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo E		Argílica	4293.388
	VD- 59 – 05 – 10				
	VD- 60 – 05 – 10	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 5 y 6	Propilítica	4313.038
	VD- 61 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1 y 6	Argílica	4208.288

	VD- 62 – 05 – 10	Vetilla de alteración propílica	Solo tipo 6	Propílica	4213.388
	VD- 63 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 6	Argílica	4145.838
	VD- 64 – 05 – 10	Roca con calcopirita	Tipo 0 y 5	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	3902.318
	VD- 65 – 05 – 10	Roca con calcopirita	Tipo 0 y 5	Fílica	3901.688

	VD- 66 – 05 – 10	Roca con calcopirita	Tipo 3, 5 y 6	Potásica	3886.538
	VD- 67 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 5 y 6	Cuarzo alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3773.638
	VD- 68 – 05 – 10				3649.938
	VD- 69 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 5 y 6	Potásica	3651.838
	VD- 70 – 05 – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 2, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3729.338

	VD- 71 – 05 – 10	Roca lixiviada	Tipo 0, 5 y 6	Argílica avanzada	4457.288
	VD- 72 – 05 – 10	Roca lixiviada	Tipo 0, 5 y 6	Argílica avanzada	4446.688
	VD- 73 – 05 – 10	Vetilla de alteración propílica	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4313.038
	DM – 01	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	4279.047

	DM – 02	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 2 y 5	Argílica	4241.647
	DM – 03	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0, 2, 5 y 6	Propilítica	4218.097
	DM – 04	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Argílica	4062.997
	DM – 05	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 3, 5 y 6	Argílica	4053.447

	DM – 06	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 3, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	4006.777
	DM – 07	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 3, 5 y 6	Potásica con leve alteración argílica		3973.047
	DM – 08	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	4107.797
	DM – 09	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 4, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	3791.747

	DM – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 2, 5 y 6	Potásica	3761.997
	DM – 11	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 3, 4 y 5	Potásica	3743.247
	DM – 12	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 5 y 6	Potásica	3683.217
	DM – 13	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con plagioclasas arcilladas	3641.497

	DM – 14	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 1 y 5	Cuarzo alteración potásica	de 3577.597
	DM – 15	Presencia de vetillas tipo TES	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4235.630
	DM – 16	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4232.780
	DM – 17	Roca con vetillas de alteración propilítica-lixiviada	Solo tipo 5	Argílica	4379.170

	DM – 18	Roca lixiviada	Tipo 0 y 5	Argílica	4363.070
	DM – 19	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 1, 5 y 6	Argílica	4225.720
	DM – 20	Presencia de vetillas tipo E	Sin inclusiones	Argílica	4210.620
	DM – 21	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 4, 5 y 6	Potásica alteración argílica con	4152.320

	DM – 22	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 4 y 5	Argílica	4136.170
	DM – 23		Tipo 0 y 5	Fílica con alteración argílica	4133.920
	DM – 24	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 5 y 6	Argílica	4110.620
	DM – 25	Vetillas de lixiviación	Tipo 5 y 6	Argílica	4362.587

	NA – 01	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 6	Fílica	4391.960
	NA – 02	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1 y 6	Potásica con alteración argílica	4371.560
	NA – 03	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Argílica	4350.860
	NA – 04	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 3 y 6	Potásica con arcillas	4345.710

	NA – 05	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1 y 6	Potásica con plagioclasas arcilladas	4335.010
	NA – 06	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 1 y 4	Potásico con plagioclasas arcilladas	4316.460
	NA – 07	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 1, 5 y 6	Potásica con leve alteración argílica	4131.210
	NA – 08	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Potásica con leve alteración argílica	4105.610

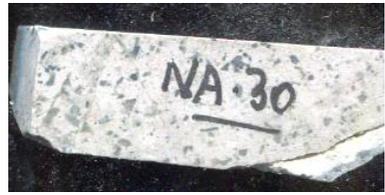
	NA – 09	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 1, 5 y 6	Argílica	4101.040
	NA – 10	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 1, 5 y 6	Potásica	4097.960
	NA – 11	Presencia de vetillas cruzada de tipos D-E	Tipo 0 y 6	Argílica	4087.460
	NA – 12	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 1 y 6	Argílica	4076.860

	NA – 13	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 2	Filica		4035.110
	NA – 14	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	4030.460
	NA – 15	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	4010.260
	NA – 16	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica alteración argílica	de con	4200.630

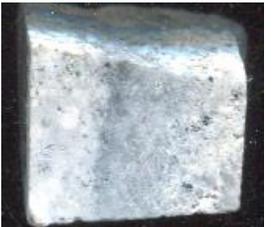
	NA – 17	Presencia de vetillas tipo B	Tipo 0, 4 y 5	Cuarzo alteración potásica plagioclasas arcilladas de con	4178.530
	NA – 18	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-E	Tipo 0 y 1	Argílica	4169.530
	NA – 19	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 2, 3, 5 y 6	Argílica	4161.930
	NA – 20	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Solo tipo 0	Potásica Argílica -	4157.367

	NA – 21	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Sin inclusiones	Potásica argílica	- 4148.667
	NA – 22	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 0 y 6	Argílica	4136.917
	NA – 23	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 6	Propilítica	4483.478
	NA – 24	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0	Propilítica	4475.478

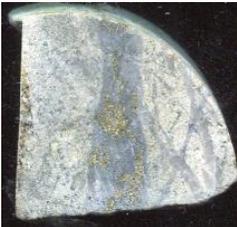
	NA – 25	Roca lixiviada	Tipo 0, 5 y 6	Argílica avanzada	4332.128
	NA – 26	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4266.528
	NA – 27	Presencia de vetillas tipo TES	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4257.678
	NA – 28	Presencia de vetillas tipo E	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4254.128

	NA – 29	Presencia de vetillas tipo E	Solo tipo 0	Argílica	4244.728
	NA – 30	Presencia de vetillas tipo TES	Tipo 0 y 5	Argílica	4306.967
	NA – 31	Presencia de vetillas tipo TES	Tipo 0 y 6	Argílica	4288.797
	NA – 32	Roca lixiviada	Tipo 0 y 6	Argílica avanzada	4162.467

	NA – 33	Presencia de vetillas tipo A	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4484.420
	NA – 34	Vetilla de alteración propilítica	Tipo 0 y 6	Propilítica con oxidación	4376.470
	NA – 35	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B-D	Tipo 0, 1, 2 y 6	Cuarzo alteración potásica de	4062.300
	NA – 36	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-D	Tipo 0, 3, 5 y 6	Cuarzo alteración potásica de	4054.900

	NA – 37	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 3, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica	4025.100
	NA – 38	Presencia de vetillas cruzada de tipos A-B	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración filica	4012.050
	NA – 39	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	4002.750
	NA – 40	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica	3983.100

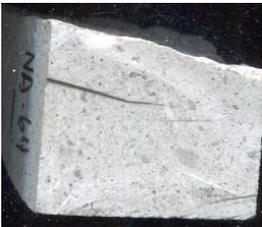
	NA – 41	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 2, 3 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	3946.800
	NA – 42	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	3924.600
	NA – 43	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 2 y 5	Propilítica	3880.394
	NA – 44	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 1, 2, 5 y 6	Propilítica con leve alteración argílica	3865.594

	NA – 45	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 1, 3, 4, 5 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	3785.194
	NA – 46	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Argílica	3748.294
	NA – 47	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Alteración Potásica cloritizada y argilizada	3729.944
	NA – 48	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0 y 6	Cuarzo de alteración potásica con leve alteración argílica	3686.394

	NA – 49	Presencia de vetillas tipo D	Tipo 1, 3, 4, 5 y 6	Argílica	3675.844
	NA – 50	Presencia de vetillas cruzada de tipos D-E	Tipo 0, 2, 3, 5 y 6	Fílica	3675.144
	NA – 51	Vetilla de cuarzo	Tipo 0, 1, 2, 3 y 6	Argílica	4561.290
	NA – 52	Vetilla de cuarzo	Tipo 0, 1, 5 y 6	Argílica	4561.740

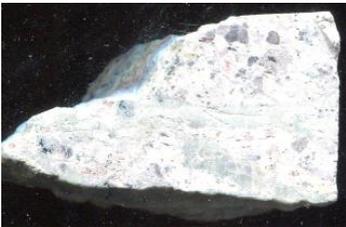
	NA – 53	Presencia de vetillas tipos A	Tipo 0, 1, 3 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4462.790
	NA – 54	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 1, 3 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4443.690
	NA – 55	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-C	Tipo 0, 3, 5 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4422.290
	NA – 56	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 4, 5 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4421.310

	NA – 57	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 1, 4 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4382.390
	NA – 58	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0 y 1	Fílica con leve alteración Argílica	4328.640
	NA – 59	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 5 y 6	Argílica	4317.990
	NA – 60	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0 y 6	Argílica	4309.940

	NA – 61	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 1, 3, 4, 5 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4286.490
	NA – 62	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0,1, 4, 5 y 6	Fílica con leve alteración Argílica	4279.540
	NA – 63	Presencia de vetillas tipos A	Tipo 0 y 6	Alteración potásica con leve alteración argílica	4353.326
	NA – 64	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0 y 6	Alteración potásica con leve alteración argílica	4348.226

	NA – 65	Presencia de vetillas tipos C	Tipo 0 y 1	Argílica	4340.226
	NA – 66	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0 y 6	Argílica	4320.646
	NA – 67	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0 y 5	Argílica	4305.826
	NA – 68	Roca lixiviada	Solo tipo 0	Argílica avanzada	4290.980

	NA – 69	Roca lixiviada	Tipo 0 y 5	Argílica avanzada	4287.280
	NA – 70	Presencia de vetillas tipos A	Solo tipo 0	Potásica con leve alteración argílica	4265.180
	NA – 71	Presencia de vetillas cruzada de tipos E-TES	Tipo 0 y 6	Argílica	4265.680
	NA – 72	Presencia de vetillas cruzada de tipos E-TES	Tipo 0 y 6	Argílica	4249.130

	NA – 73	Presencia de vetilla tipo TES	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4244.080
	NA – 74	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	4227.880
	NA – 75	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0 y 5	Argílica	4209.420
	NA – 76	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0 y 6	Argílica	4209.060

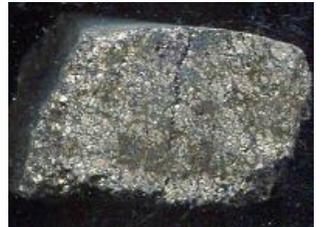
	NA – 77	Presencia de vetillas tipos C	Tipo 0, 5 y 6	Alteración Potásica con leve alteración argílica	4444.910
	NA – 78	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Alteración Potásica con leve alteración argílica	4433.160
	NA – 79	Presencia de vetillas tipos A	Tipo 0, 1, 5 y 6	Alteración Potásica con oxidación	4427.610
	NA – 80	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Solo tipo 6	Alteración potásica con alteración filica	4284.860

	NA – 81	Presencia de vetillas tipos D	Solo tipo 6	Fílica	4259.310
	NA – 82	Presencia de vetillas tipos C	Tipo 1 y 6	Fílica	4252.860
	NA – 83	Presencia de vetillas tipos E	Tipo 0, 2 y 6	Argílica	4233.060
	NA – 84	Presencia de vetillas cruzada de tipos C-D	Tipo 0 y 6	Fílica alteración argílica con	4216.510

	NA – 85	Presencia de vetillas tipos D	Solo tipo 6	Fílica	4202.760
	NA – 86	Presencia de vetillas tipos TES	Sin inclusiones	Argílica	
	NA – 87	Presencia de vetillas tipos TES	Solo tipo 0	Argílica	4169.960
	NA – 88	Presencia de vetillas tipos B	Tipo 1, 5 y 6	Fílica alteración argílica con	4164.790

	NA – 89	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Argílica	4146.790
	NA – 90	Presencia de vetillas tipos D	Solo tipo 0	Argílica	4067.480
	NA – 91	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 3, 4, 5 y 6	Fílica con alteración argílica	4180.195
	NA – 92	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 1, 3, 5 y 6	Fílica con alteración argílica	4281.095

	NA – 93	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 4 y 6	Argílica	4260.075
	NA – 94	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 3, 5 y 6		4248.995
	NA – 95	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 3 y 6	Cuarzo alteración Potásica arcillas alteración argílica de con de	4239.695
	NA – 96				
	NA – 97				
	NA – 98				

	NA – 99	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 3, 5 y 6	Argílica	4053.595
	NA – 100	Presencia de vetillas tipos E	Solo tipo 0	Argílica	4050.095
	NA – 101	Presencia de vetillas tipos E	Solo tipo 0	Argílica	4044.845
	NA – 102	Presencia de vetillas tipos E	Solo tipo 0	Argílica	4043.445

	NA – 103	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 5 y 6	Fílica	4040.645
	NA – 104	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 1, 5 y 6	Fílica	4036.995
	NA – 105	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 3, 5 y 6	Propilítica	4026.795
	NA – 106	Presencia de vetillas tipos A	Tipo 1, 4, 5 y 6	Propilítica	4002.795

	NA – 107	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Alteración potásica con leve alteración argílica	3998.845
	NA – 108	Presencia de vetillas cruzada de tipos B-D	Tipo 0, 1, 5 y 6	Fílica con alteración argílica	3984.595
	NA – 109	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 5 y 6	Argílica	3972.795
	NA – 110	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 0, 1, 3, 5 y 6	Argílica	3958.195
	NA – 111				

	NA – 112				
	NA – 113				
	NA – 114				
	NA – 115				
	NA – 116				
	NA – 117				
	NA – 118				
	NA – 20.A	Presencia de vetillas cruzada de tipos D-A	Tipo 0, 1, 5 y 6	Fílica alteración argílica con	4135.620
	NA – 21.A	Presencia de vetillas tipos D	Tipo 1, 3, 5 y 6	Fílica alteración argílica con	4022.480