



ESCUELA DE
GEOLOGÍA

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VETILLAS MEDIANTE MEDICIONES
DE TELEVIEWER PARA SU USO EN LA GEOLOGÍA DE
EXPLORACIÓN EN LA MINA LOS BRONCES**

Memoria entregada a la Universidad Mayor en cumplimiento de los requisitos para
optar al Título de Geólogo

FELIPE EDUARDO ROJAS VERASAY

Profesora guía:

MARIA ARDILES ARAYA

Miembros de la Comisión Evaluadora de Examen:

MATÍAS PEÑA GÓMEZ

MARIO ARRIETA HERRERA

SANTIAGO, CHILE

MAYO, 2022

ABSTRACT

The analysis and validation of data is a practice that is fundamental to ensuring that any measured data is highly reflective of reality, which allows for greater confidence in the modelling of a mining project.

The use of televiewer is a methodology that has efficiently contributed to the characterization of the orientation of deep structures, such as: seams, veinlets, fractures and faults. At the same time, its impact has generated significant improvements in the implicit 3D modelling and the structural models of the 'Los Bronces' mine. The uplifting of this information is considered mainly in the Superintendence of Geotechnics focused on geomechanics and structural geology, however, despite the fact that this data is available, other departments do not use it. On one side, there haven't been studies focused on evaluating the potential and contributions that this data could generate for other areas while, on the other side, there haven't been validations of this technique so that it may be applied in geological interpretation.

Faced with these circumstances, this study documents an analysis of optical and acoustic televiewer data in order to take advantage of this available information, generate continuous improvements and use it in the exploratory field. The objective is to determine trends in the orientation of veinlets through a data selection criteria designed to comprehend the structural behavior and define predictive exploratory indicators.

Based on the statistical and graphical analyzes of intrusive rocks, a clear trend is evidenced with regards to the direction of veinlets in alteration zones, generally displaying a first-order group in an almost E-W direction and a second-order group in a N-S direction. Other groups of trending veinlets are also identified in a subordinate manner. Other analyzes of veinlets classified according to their type also indicate trends, which have a direct correlation with the larger structures described in the structural models, potentially having the capacity to comprehend the direction of the emplacements of structures and allowing for interpretations to be generated with greater confidence. Finally, and as a generated impact, the data allows for complementing missing information, for example, in reverse air boreholes and to mostly validate the indirect mapping through quantitative data.

RESUMEN

El análisis y validación de datos es una práctica fundamental para asegurar que los datos que se miden sean lo más fiel a la realidad, lo cual proporciona mayor confianza en la confección de modelos de un proyecto minero.

La utilización de los televiewer es una metodología que ha contribuido de forma eficiente en la caracterización de orientación de estructuras en profundidad, tales como: vetas, vetillas, fracturas y fallas. A su vez, su impacto ha generado mejoras en los modelos implícitos 3D y en los modelos estructurales de la mina Los Bronces. En particular el levantamiento de esta información es considerada mayoritariamente en la Superintendencia de Geotecnia enfocado a la geomecánica y la geología estructural, sin embargo, a pesar de que estos datos se encuentran disponibles, otras gerencias no los utilizan. Por un lado, no se han hecho estudios para evaluar el potencial y aporte que pueden generar estos datos para otras áreas, por otro lado, no se han hecho validaciones de esta técnica para aplicarlos en la interpretación geológica.

Frente a esta interrogante, el presente trabajo documenta un análisis de datos de televiewer óptico y acústico con el fin de aprovechar esta información disponible, generar mejoras continuas y usarlo en el ámbito exploratorio. El objetivo es determinar tendencias de la orientación de vetillas mediante un criterio de selección de datos para comprender el comportamiento estructural y definir indicadores exploratorios predictivos.

En base a los análisis estadístico y gráfico en rocas intrusivas, se evidencia una clara tendencia de la dirección de vetillas en zonas de alteración, identificándose a modo general un grupo de primer orden en dirección casi E-W y otro de segundo orden en dirección N-S. También se identifican otros grupos de vetillas con tendencia de forma subordinada. Otros análisis de vetillas clasificadas según su tipo también indican tendencias, las cuales tienen directa correlación con las estructuras mayores descritas en los modelos estructurales, pudiendo tener potencial para comprender la dirección de los emplazamientos de estructuras y permitiendo generar interpretaciones con mayor confianza. Por último y como impacto generado, los datos permiten complementar información faltante, por ejemplo, en pozos de aire reverso y validar en su mayoría al mapeo indirecto mediante datos cuantitativos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a la empresa Anglo American como organización por la oportunidad y financiación del estudio. A la Gerencia de Geología de Los Bronces y al equipo de trabajo de cada superintendencia quienes aportan un infinito apoyo mutuo.

Personalmente quiero agradecer a María Ardiles por ser mi tutora, su buena onda, su apoyo, guía y por compartir su conocimiento, una gran colega. A Manuel Díaz por la propuesta del trabajo y aceptarme como memorista en la Superintendencia de Exploraciones. A Mauricio Carraza por su apoyo académico, su simpatía, sus consejos y por resolver todas mis dudas. A Cristian Astudillo por compartir su experiencia y conocimiento. A María Magdalena Díaz por su buena onda, ideas, entusiasmo y apoyo. A Carlos Barros por sus consejos y conocimiento. A Diego Salas por su interés, ayuda y consejos. Por último, a todas las personas de Anglo quienes me apoyaron directa o indirectamente. Agradezco también a Francisco Gonzales, por su excelente disposición, apoyo y por compartir su vasto conocimiento del software *MineSight*; su ayuda, dedicación y pasión por su función fue fundamental para este trabajo.

Agradezco al equipo de Ingeniería Guiñez. A Jorge Andrónico por su simpatía, buena onda, apoyo, ideas, consejos y buenas charlas, un excelente colega y compañero. A Gonzalo Cea, Juan Godoy, Diego Ortiz y al equipo en general quienes me orientaron y ayudaron en el área de testigoteca de Las Tórtolas, las charlas en los desayunos, almuerzo y tiempos libres.

Agradezco a los profesores de la universidad y académicos quienes me compartieron lecturas y trabajos. A Matías Peña por su apoyo académico. A los geólogos externos, amigos y colegas quienes me dieron apoyo, consejos e ideas. Personalmente agradezco a Mario Arrieta por sus enseñanzas, conocimiento y por aceptar ser miembro de la comisión. Agradezco también a mis compañeros de universidad, Fabian, Maxi, Pipe y Jeremy por la amistad y compañerismo. No puedo dejar de lado al Coco, Maca y Sopapo por su buena onda, carretes y buenos momentos. En este apartado especial, agradezco a mi grupo de campo I y el inolvidable campo II, Diego, Matías F. y Matías S. por su gran amistad en todos los escenarios, espero nunca perder contacto con ustedes, verlos cumplir sus objetivos y seguir juntándonos en el futuro.

La hoja es pequeña para nombrarlos a todos. La vida metafóricamente es como un tren, hay personas que se suben y otras que se bajan. Quienes están a bordo son las que probablemente nombré, pero no olvido a quienes me han acompañado en este viaje, ex compañeros de colegio y amigos de la vida. Sin ustedes no sería quien soy ahora. ¡MUCHAS GRACIAS!

A mi familia

Madre, padre y hermanos

SOLO USO ACADÉMICO

Índice

CAPÍTULO 1: Introducción	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Ubicación y Acceso.....	3
1.5. Alcances y Limitaciones.....	4
1.6. Antecedentes – Trabajos Anteriores.....	4
CAPÍTULO 2: Marco Geológico Regional	5
2.1. Generalidades.....	5
2.2. Rocas Estratificadas.....	7
2.2.1. Formación Abanico (Aguirre, 1960).....	7
2.2.2. Formación Farellones (Rivano, 1990).....	7
2.2.3. Formación Colorado-La Parva (Thiele, 1980).....	8
2.1.4. Depósitos Recientes.....	8
2.3. Rocas Intrusivas.....	9
2.3.1. Intrusivos Miocénicos.....	9
2.3.2. Intrusivos del Mioceno tardío al Plioceno.....	9
2.4. Marco Metalogénico.....	10
2.5. Marco Tectónico - Estructural.....	12
CAPÍTULO 3: Geología Distrital	14
3.1. Generalidades.....	14
3.2. Litologías del Distrito Rio Blanco – Los Bronces.....	16
3.2.1. Unidades Pre-mineral.....	16
3.2.1.1. Andesitas (AND).....	16
3.2.1.2. Unidad Cuarzo Monzonita (QM).....	16
3.2.1.3. Unidad Cuarzo Monzodiorita (QMD).....	17
3.2.1.4. Unidad Pórfido Cuarzo Monzodiorítico (PQMD).....	17
3.2.2. Unidades Intra-mineral.....	17
3.2.2.1. Unidad Pórfido Cuarzo Diorítico (PQD).....	17
3.2.2.2. Unidad Pórfido Cuarzo Monzonítico (PQM).....	18

3.2.2.3. Complejo de Brechas Los Bronces	18
A. Brecha Fantasma (BXF)	19
B. Brecha Central (BXC)	20
C. Brecha Occidente (BXO)	20
D. Brecha Infiernillo (BXI)	20
E. Brecha Anhidrita (BXA)	20
F. Brecha Gris Fina (BXGF)	21
G. Brecha Donoso (BXD)	21
3.2.3. Unidades Post-mineral	21
3.2.3.1 Complejo Riolítico La Copa	21
3.3. Estructuras del Sector Los Bronces	22
3.4. Alteración Hidrotermal y Mineralización	26
3.4.1. Alteración Potásica	26
3.4.2. Alteración Fílica	27
3.4.3. Alteración Propilítica	27
3.5. Clasificación de Vetillas del sector Los Bronces	28
3.5.1. Vetillas Tempranas	28
3.5.1.1. Vetillas M	28
3.5.1.2. Vetillas EB	28
3.5.1.3. Vetillas A	28
3.5.1.4. Vetillas B	29
3.5.2. Vetillas Transicionales	29
3.5.2.1. Vetillas C	29
3.5.2.2. Vetillas C1	29
3.5.2.3. Vetillas C2	30
3.5.2.4. Vetillas C3A	30
3.5.2.5. Vetillas C3B	31
3.5.3. Vetillas Tardías	31
3.5.3.1. Vetillas D	31
3.5.3.2. Vetillas DT	31
CAPÍTULO 4: Metodología	33
4.1. Instrumento de Medición	34
4.2. Equipo y Captura de Datos Mediante Mediciones con Televiewer	35
4.2.1. Medición de la Longitud del Pozo	35

4.2.2. Medición de Trayectoria	36
4.2.3. Adquisición de Registros de Televiewer	36
4.2.4. Procesamiento de Datos	37
4.2.4.1. Alineación de Imágenes	37
4.2.4.2. Identificación de Estructuras	38
4.2.4.3. Cálculo de Estructuras Reales a Partir de Aparentes	40
4.2.5. Obtención de Índice de Dureza (RH).....	42
4.3. Base de Datos y Procedimiento	43
4.3.1. Confección de Base de Datos	43
CAPÍTULO 5: Análisis de Resultados.....	46
5.1. Validación del Método	46
5.2. Detalle Estadístico.....	48
5.2.1. Base de Datos OTV y ATV.....	48
5.2.2. Mapeo de Número de Tipo de Vetillas	49
5.3. Análisis de Diagramas de Contorno de Polos (DCP).....	50
5.3.1. Tendencia General de Vetillas en Zonas de Alteración	50
5.3.2. Tramos con Tipo de Vetillas Específicos	58
5.4. Análisis y Correlaciones de Impedancia Acústica.....	61
CAPÍTULO 6: Discusión	63
6.1. Generalidades	63
6.2. Adquisición de Datos.....	63
6.3. Análisis de Datos.....	66
6.4. Correlación con Trabajos Previos.....	67
CAPÍTULO 7: Conclusiones y Recomendaciones	70
Referencias	72
ANEXO.....	78

Índice de Figuras

Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso a la mina Los Bronces	3
Figura 2.1: Mapa geológico regional de Chile Central.....	6
Figura 2.2: Mapa de la Sub-Franja Metalogénica Neógena de Chile Central	11
Figura 2.3: Mapa estructural regional de la franja Mioceno - Plioceno temprano	13
Figura 3.1: Mapa geológico del distrito Río Blanco	15
Figura 3.2: Mapa de litologías del distrito Río Blanco.....	19
Figura 3.3: Fallas principales en mina Los Bronces	23
Figura 3.4: Dominios estructurales de la mina Los Bronces.....	25
Figura 4.1: Zona acotada para selección de datos.....	33
Figura 4.2: Representación esquemática del punto de referencia en pozos	37
Figura 4.3: Alineación de imágenes con respecto al punto de referencia.....	38
Figura 4.4: Ejemplo de mapeo de sondajes con televiewer.....	39
Figura 4.5: Obtención de orientación aparente de estructuras con televiewer	40
Figura 4.6: Obtención de orientación real a partir de orientación aparente	41
Figura 4.7: Resumen del procedimiento de mediciones de televiewer	41
Figura 4.8: Representación gráfica de impedancia acústica en pozos	42
Figura 4.9: Estructura de la base de datos de televiewer en servidor local	44
Figura 4.10: Estructura de la tabla compositada	45
Figura 4.11: Esquema del flujo de trabajo para el análisis de datos.....	45
Figura 5.1: DPC correspondiente a la zona de alteración de biotita como mineral dominante .	51
Figura 5.2: DPC continuidad de zona de alteración de biotita como mineral dominante	52
Figura 5.3: DPC correspondiente a la zona de alteración de feldespatos K como mineral dominante.....	52
Figura 5.4: DPC correspondiente a la zona de alteración de albita como mineral dominante ..	53
Figura 5.5: DPC correspondiente a la zona de alteración de sericita como mineral dominante	54
Figura 5.6: DPC correspondiente a la zona de alteración de clorita como mineral dominante .	55
Figura 5.7: DPC continuidad la zona de alteración de clorita como mineral dominante.....	56
Figura 5.8: DPC correspondientes a vetillas de tipo A y B	58
Figura 5.9: DPC correspondientes a vetillas de tipo C, C1 y C2	59
Figura 5.10: DPC correspondientes a vetillas de tipo D y DT	60
Figura 5.11: Correlación de impedancia acústica con imágenes de televiewer del pozo LB210036	61

Figura 5.12: Correlación de impedancia acústica con imágenes de televiever del pozo LB190069	62
Figura 6.1: Análisis de DCP de posible sesgo.....	65
Figura 6.2: Distribución de celdas de exploración en frente de bancos	68
Figura 6.3: Proyección espacial de la distribución de arsénico de sondajes y pozos de tronadura	69
Figura A.1: DCP globales en intervalos de 100 metros desde la cota 3.800 a la 2.500.....	89

Índice de Fotografías

Fotografía 1: Fotografías de los tipos de vetillas del yacimiento Los Bronces.....	32
Fotografía 2: Correlación de fotografías con imágenes de televiever.....	47

Índice de Tablas

Tabla 1: Formato para clasificar las estructuras de televiever	38
Tabla 2: Ejemplo de la estructura de los datos obtenidos por televiever	43
Tabla 3: Tabla resumen con resultados de DCP de las zonas de alteración por mineral dominante.....	57
Tabla 4: Tabla de pozos de la base de datos global	84
Tabla 5: Tabla de pozos seleccionados de la fase Infiernillo 5	85
Tabla 6: Tabla de clasificación de Ranks en pozos globales y seleccionados	85
Tabla 7: Tabla comparativa de mapeo de numero de vetillas	86
Tabla 8: Resumen estadístico de la clasificación de vetillas mapeadas en celdas sistemáticas.....	87

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Resumen del número de estructuras en base de datos global	48
Gráfico 2: Resumen del número de estructuras en base de datos acotada	48
Gráfico 3: Histograma de número de tramos y número de vetillas	49
Gráfico 4: Gráfico porcentual de tipo de vetillas.....	49

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1. Generalidades

En minería, la exploración es una de las actividades fundamentales de un proyecto para el descubrimiento, seguimiento y estimación de los recursos y reservas de un yacimiento. La exploración *brownfield* se centra en explorar las minas actuales y sus alrededores con el objetivo de optimizar los activos principales, mejorar la calidad de los recursos en el mediano plazo y extender la vida útil de la mina.

Uno de los modelos de primer orden es el modelo estructural, el cual se utiliza para el diseño geotécnico y el desarrollo minero. La Superintendencia de Geotecnia, de la división Los Bronces de Anglo American, ha desarrollado una base de datos denominada “*Los Bronces structural-database*” que consiste en una compilación de más de 200.000 puntos individuales en superficie y profundidad de mediciones *dip / dip-direction* de estructuras, las cuales incluyen datos de mapeo directo de taludes, bancos, sondajes, mapeo con técnicas de fotogrametría y mediciones de pozos con televiewer acústico y óptico (Carrizo 2018).

La información de mediciones de televiewer acústico (ATV) y televiewer óptico (OTV) en Los Bronces, ha contribuido de forma eficiente en la caracterización de orientación de estructuras tales como vetillas, fracturas y fallas, las cuales han generado mejoras en los modelos implícitos 3D (Carrizo 2018). La aplicación de esta técnica se ha visto utilizada para un objetivo enfocado en la geomecánica y la geología estructural, sin embargo, a pesar de que estos datos se encuentran disponibles, otras gerencias no los utilizan.

En base a la información recopilada de ATV y OTV, por un lado, no se han hecho estudios para evaluar el potencial y aporte que pueden tener estos datos para otras áreas, por otra parte, no se han hecho validaciones en la adquisición técnica de metadatos y poder aplicarlos en la interpretación geológica.

Considerando los datos de ATV y OTV disponibles, la Superintendencia de Exploraciones, de la división Los Bronces de Anglo American, expone la necesidad de hacer un estudio con el fin buscar técnicas alternativas y de mejoras continuas para aprovechar la información de televiewer y usarlos en el ámbito exploratorio. El presente estudio se enfoca en la caracterización de vetas y vetillas para determinar tendencias en su dirección y así definir indicadores exploratorios predictivos. Cabe mencionar que es un trabajo experimental, por lo cual, los resultados varían según su adquisición y calidad de los datos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo general consiste en determinar tendencias de la orientación de vetillas mediante un criterio de selección de datos de ATV y OTV para comprender el comportamiento estructural y definir indicadores exploratorios.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar una base de datos con la información de televiewer a partir de archivos CSV para visualizar y graficar estructuras reales en los softwares *MineSight* de *Hexagon Mining*, *Dips* de *Rocscience* y otros.
- Evaluar la potencialidad de la información de ATV y OTV para maximizar su uso en la caracterización geológica y estructural de pozos.
- Determinar *sets*, direcciones preferenciales y/o tendencias de vetillas a partir de la información obtenida por ATV y OTV.
- Validar límites de litologías, zonas de alteración y zona mineral a partir de correlaciones de datos de impedancia acústica (%RH) con información histórica.

1.3. Hipótesis

Mediante la utilización del televiewer se logrará una correcta caracterización estructural de vetillas en general y las dependencias según su tipo (estructuras rellenas y no rellenas) para definir patrones de forma certera, con los cuales se podrá también definir por tipo de evento las alteraciones y tendencias estructurales de las vetillas.

Los datos del televiewer óptico y acústico, se pueden corroborar y correlacionar directamente con información del testigo extraído de los pozos. De forma homóloga, la imagen de la pared debiera coincidir con su contraparte respaldada físicamente.

Los datos estructurales tanto de fracturas continuas (*sets* de diaclasas) como vetillas, tienen una directa relación con los eventos tectónicos y control estructural a partir de las fallas principales. Dichos eventos podrían ser identificados según la determinación de esfuerzos.

1.4. Ubicación y Acceso

La mina Los Bronces se ubica en la Región Metropolitana a 65 km al noreste de la ciudad de Santiago, en la Cordillera de los Andes, colindante al este con la mina Andina, propiedad de CODELCO en el Valle San Francisco en el sector Rio-Blanco. La mina cuenta con una topografía base que va desde los 3.600 hasta los 4.600 m.s.n.m. en las coordenadas geográficas 33°08' latitud sur y 70°15' longitud oeste.

El acceso a la faena minera se realiza desde la ciudad de Santiago por la ruta que lleva a Farellones (Ruta G-21) hasta llegar al sector de Corral Quemado. Luego se toma la desviación norte por Camino La Disputada (Ruta G-245) por alrededor de 30 km. (Figura 1.1)

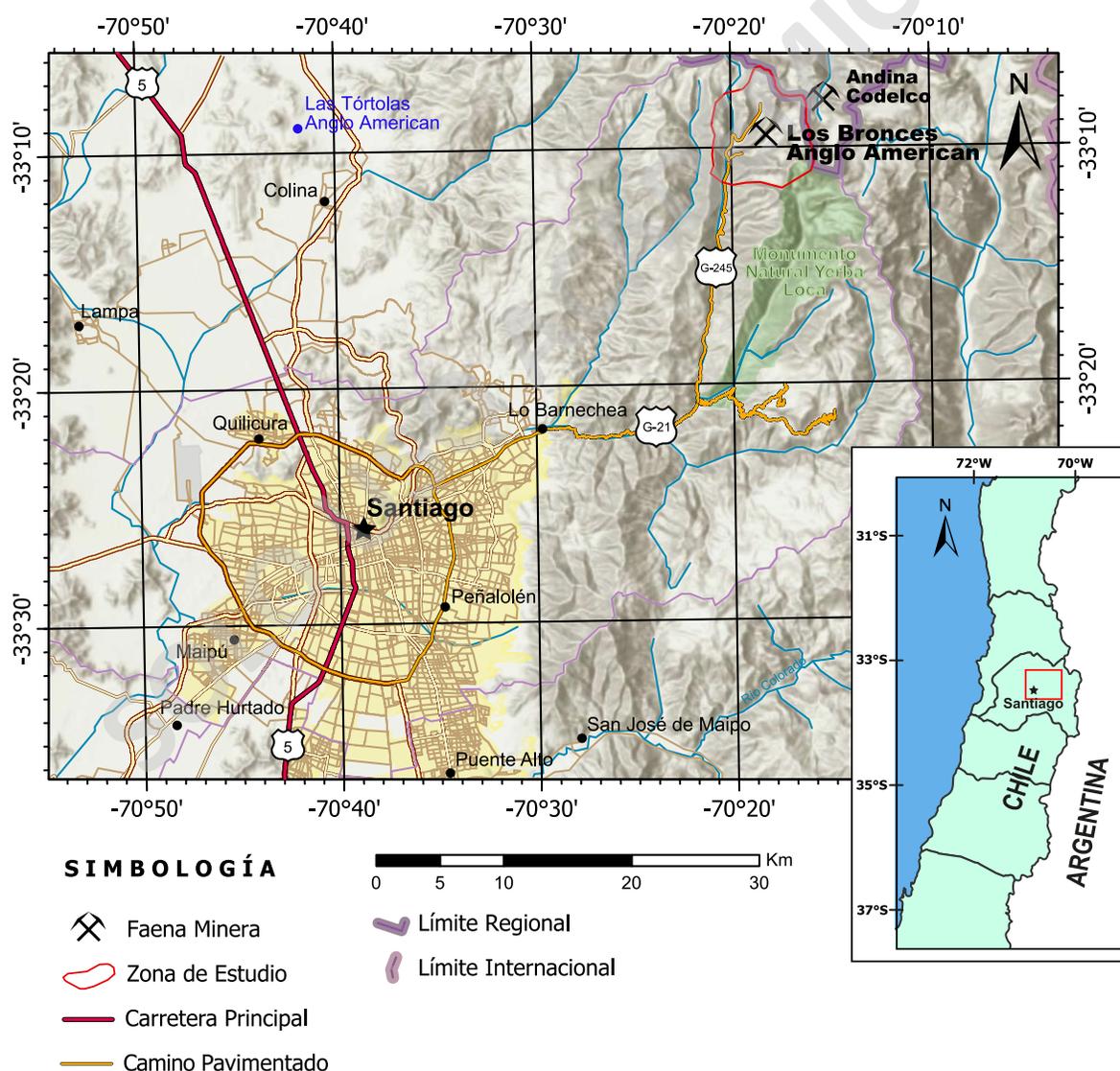


Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos a la mina Los Bronces. Créditos a las fuentes: ESRI, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS, Contribuidores de "OpenStreetMap ©" y "GIS User Community".

1.5. Alcances y Limitaciones

El estudio busca complementar la información geológica con la información estructural de vetas y vetillas acotadas en rocas intrusivas. Las zonas de brechas no serán parte del estudio debido a su complejidad estructural, sin embargo, las zonas con vetillas tardías pueden ser consideradas dentro del estudio a pesar de estar contenidas en brechas.

El estudio se limita a la información disponible entregada por el televiever acústico y óptico, la cual considera, posición espacial, tipo (no clasificable) y dirección del plano.

El análisis de datos exige una categorización que desde un comienzo no se ha incluido dentro de los mapeos de pozos hechos por televiever. Esta información a pesar de que puede ser obtenida, no se incluye dentro del producto entregable; por ejemplo: valor real de impedancias acústicas, metadatos y mapeos adicionales. Para validar y complementar los datos adquiridos, se extraerán de mapeos previos de sondajes.

1.6. Antecedentes – Trabajos Anteriores

Piquer y Skarmeta (2012): Propone un modelo estructural de escala regional-distrital del distrito Rio Blanco – Los Bronces. Describe la evolución tectónica de los Andes Centrales haciendo énfasis en las estructuras que controlan la mineralización en la franja.

Carrizo et al. (2012): Realiza un estudio de geología estructural basado en un trabajo de tomografía sísmica en el distrito Los Bronces. Se definen las estructuras principales y fallas mayores. Concluye que la dirección de los principales cuerpos de brechas es NNW-SSE sugiriendo un control estructural en los procesos de emplazamiento y mineralización del pórfido en Los Bronces.

Carrizo et al. (2013): Define el primer modelo estructural oficial de la mina Los Bronces y establece un protocolo de modelo estructural para su posterior actualización. Adicional define 7 dominios estructurales limitados por fallas principales y litologías.

Piquer et al. (2015): Propone un esquema regional de esfuerzos basado en la dirección de las fallas corticales profundas (mayores a 10km) de rumbo con orientaciones NE-SW y conjugados. Sugiere que la mineralización está controlada por fluidos magmáticos e hidrotermales los cuales fueron canalizados por estructuras preexistentes.

Andrade (2015): Trabajo de memoria de título. Realiza un levantamiento remoto de datos estructurales con el método de la estéreo fotogrametría. Sus resultados redefinieron los límites de los dominios estructurales de Los Bronces y generó un modelo vectorial de estructuras en superficie y profundidad.

Carrizo y Barros (2016): Actualizan el modelo estructural oficial basado en datos hasta el año 2015. El modelo recopila datos con más detalle de estructuras mayores y menores (Ema y Eme), mejora la cobertura de datos de banco con el método de levantamiento selectivo de datos remotos (*Shape Metrix*) e incluye datos profundos obtenidos por el método de televiewer acústico y óptico. Adicionalmente se caracteriza la diversidad y magnitud estructural a la que se somete la mina.

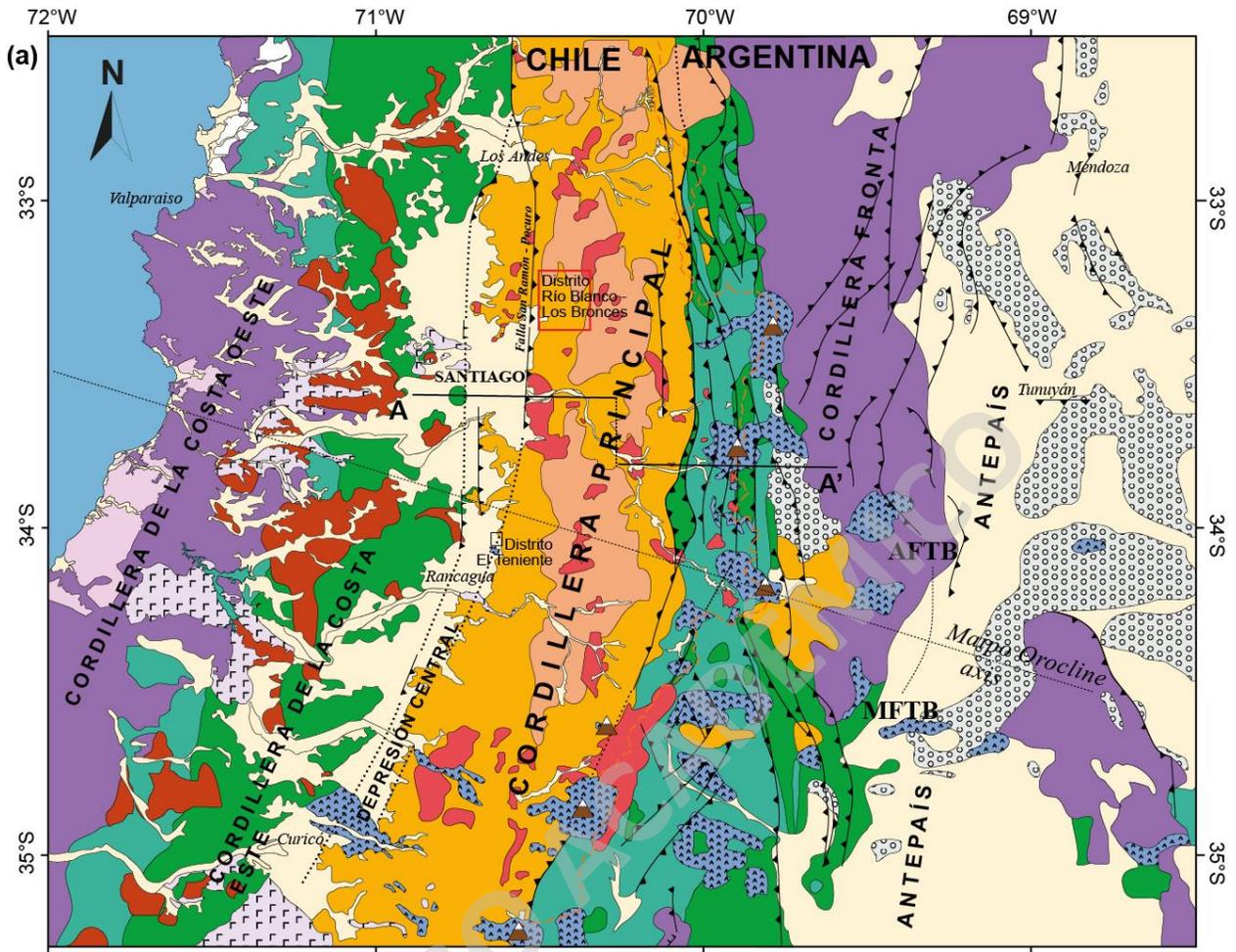
Carrizo et al. (2018): Realiza un estudio para ver la relación de corte que tienen las fallas basado en la distribución espacial de arsénico. El resultado indica que la distribución espacial del elemento concuerda con las fallas identificadas por técnicas de mapeo tradicional y la mineralización de enargita y tennantita en esas zonas.

CAPÍTULO 2: Marco Geológico Regional

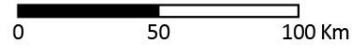
2.1. Generalidades

El yacimiento Río Blanco – Los Bronces se localiza en un cinturón de mineralización conocido como franja metalogénica de pórfidos de Cu-Mo del Mioceno tardío–Plioceno temprano (Toro et al., 2012) en la Cordillera Principal de Chile central entre las latitudes 32° y 35°S (Sillitoe y Perelló, 2005). La franja metalogénica se encuentran los yacimientos de categoría mundial Los Pelambres-El Pachón, Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, cercano al límite de la Zona Volcánica Sur (ZVS) y el segmento de “*flat-slab*” o segmento de bajo ángulo (Skewes y Stern, 1994). El distrito Río Blanco – Los Bronces se estiman reservas en más de 200 Mton de cobre y constituye uno de los yacimientos de mayor concentración de cobre en el mundo (Irrarrázaval et al., 2010).

En la zona de estudio afloran rocas andesíticas y volcano-sedimentarias pertenecientes a las Formaciones Abanico de edad Eoceno superior – Mioceno temprano (Charrier et al., 2002) y Formación Farellones de edad Mioceno temprano a medio (Rivano et al., 1990) intruidas por rocas plutónicas de tipo cuarzomonzonita y monzonita pertenecientes al Batolito San Francisco, las que a su vez, son intruidas por un complejo de brechas hidrotermales mineralizadas de edad Mioceno superior a Plioceno inferior y pórfidos tardíos de edad Plioceno inferior (Serrano et al, 1996).



LEYENDA Y SIMBOLOGÍA



- | | | |
|--|---|---------------------------------|
| Sedimentos Cuaternarios | Formación Farellones Mioceno | Volcanes activos |
| Depósitos volcánicos Cuaternarios | Formación Abanico Eoceno inferior - Mioceno | Falla Inversa |
| Depósitos volcánicos Plioceno tardío - Cuaternario | Secuencia Cretácica | Límite Internacional |
| Depósitos de antepaís synorogénicos (Neógeno) | Basamento Intrusivo - Metamórfico pre-Jurásico a Jurásico | Intrusivos Cretácicos |
| Formación Navidad Mioceno tardío - Plioceno | Secuencia Triásico - Jurásico | Intrusivos Oligoceno - Plioceno |
| | | Distrito Río Blanco-Los Bronces |

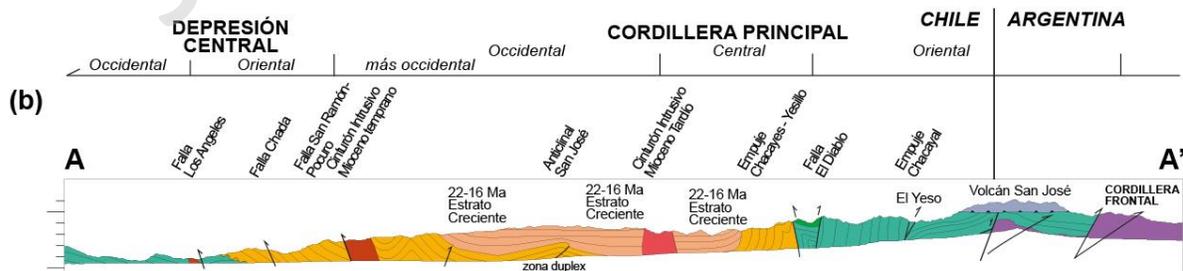


Figura 2.1: Mapa geológico regional de Chile Central. En la figura visualiza la ubicación aproximada de la mina Los Bronces en un recuadro de color rojo junto a las Formaciones volcánico-sedimentarias Abanico y Farellones, unidades intrusivas y principales fallas activas durante el Neógeno; todos estos elementos son de primer orden cercanos y presentes en la geología de la mina. Figura modificada de Andrade, 2015. Basado en Farías et al., 2010.

2.2. Rocas Estratificadas

2.2.1. Formación Abanico (Aguirre, 1960)

Eoceno superior-Mioceno temprano

Definida por Aguirre (1960) en la provincia de Aconcagua. Corresponde a (1) una unidad occidental formada por alternancias de tobas, brechas volcánicas andesíticas con intercalaciones de lavas andesíticas y rocas volcanoclásticas y (2) una unidad oriental constituida por una serie de rocas volcanoclásticas, tobas líticas, tufitas, areniscas tobáceas, niveles de ignimbritas y brechas volcánicas con una secuencia de rocas sedimentarias lacustres compuestas por lutitas, areniscas y conglomerados (Moreno et al., 1991). El espesor del conjunto se estima en 3.000 m considerando intrusiones de filones manto andesíticos (Thiele, 1980).

La Formación Abanico aflora entre los 33° y 34°S en la Cordillera de los Andes Centrales como dos franjas paralelas orientadas de N-S y separadas entre sí por depósitos volcánicos de la Fm. Farellones que la sobreyace (Charrier et al., 2002). Su límite inferior se encuentra en contacto por falla con la Fm. Colimapu (Charrier et al., 2002; Muñoz *et al.*, 2010) y su límite superior por discordancia angular con la Fm. Farellones (Thiele, 1980; Charrier *et al.*, 2002).

Dataciones y estudios de fauna fósil de mamíferos contenidos en rocas sedimentarias le asigna una edad Eoceno medio-superior – Mioceno medio (Wyss et al., 1994; Charrier et al., 2002; Fuentes et al., 2002). Otras dataciones radiométricas $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ en plagioclasa de flujos de lava entregaron edades entre el Oligoceno-Mioceno inferior con una edad máxima de $34,3 \pm 0,4$ Ma para la porción inferior y una edad de $21,4 \pm 1,0$ Ma en la porción media de la serie (Muñoz et al., 2006).

2.2.2. Formación Farellones (Rivano, 1990)

Mioceno

Definida por Klohn (1960) y redefinida por Rivano (1990). La Formación Farellones se divide en dos miembros: un miembro inferior (1) constituido por tobas e ignimbritas riolíticas y un miembro superior (2) compuesto por lavas andesítico-basálticas con intercalaciones de tobas andesíticas a riolíticas. (Rivano et al., 1990). El espesor de ambos miembros se estima en 2.500 m (Thiele, 1980).

La Formación Farellones aflora entre 32°S y 35°S con una orientación N-S y sobreyace la Fm. Abanico, sin embargo, su contacto es motivo de discusión debido a evidencias recientes que

indican la existencia de un contacto transicional, reportándose contactos de manera discordante y pseudo-discordante (Charrier et al., 2002). El límite superior de la formación corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980; Rivano et al., 1990; Charrier et al., 2002).

La edad asignada a la Fm. Farellones es Miocena de acuerdo con dataciones radiométricas (Beccar et al., 1986; Sellés, 2000; Aguirre et al., 2000). Dataciones U/Pb en circones realizadas en el sector Río Blanco entregaron un rango de edad entre 16.77 ± 0.25 Ma y 17.20 ± 0.05 Ma (Deckart et al., 2005) y se correlaciona con la Formación Colorado-La Parva utilizando dataciones radiométricas K/Ar (Beccar et al., 1986).

2.2.3. Formación Colorado-La Parva (Thiele, 1980)

Plioceno

Descrita por Thiele (1980) en la carta geológica "Hoja Santiago" N°39. Corresponde a un conjunto de rocas volcánicas y subvolcánicas de textura porfírica compuestas por flujos de lavas, tobas, brechas de composición traquítica, andesítica, dacítica y riolítica. El límite inferior está definido por una leve discordancia angular con la Fm. Farellones que la subyace, mientras que el límite superior corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980).

Las primeras dataciones radiométricas corresponden a K/Ar en biotita realizadas en riolitas en la localidad de Río blanco con valores de $3,92 \pm 0,1$ y $4,59 \pm 0,08$ Ma (Quirt et al., 1971). Otras dataciones K/Ar en plagioclasa y biotita resultan en $4,9 \pm 0,2$ y $4,1 \pm 0,1$ Ma respectivamente (Drake et al., 1976). Sin embargo, dataciones radiométricas K/Ar posteriores, demostraron que la localidad donde se definió esta formación corresponde a edad Mioceno y deberían incluirse dentro de la Formación Farellones (Beccar et al., 1986).

2.1.4. Depósitos Recientes

Cuaternario

Según Thiele (1980) corresponden a depósitos de sedimentos aluviales, fluviales, fluvio-glaciares y glaciares de variada granulometría. Los sedimentos aluviales y fluviales son de mayor extensión y se encuentran rellenando valles. Los de origen glacial se desarrollan en la cabecera de los ríos por sobre la cota 2.500 m.s.n.m. y se componen por morrenas marginales y acumulaciones de detritos ubicado en los circos o nichos de las altas cumbres. Debido a la meteorización física, las acumulaciones de detritos ocurren en la base de las pendientes.

2.3. Rocas Intrusivas

El magmatismo en el margen occidental de Cordillera de los Andes Centrales entre los 32° y 34° S formó numerosos cuerpos intrusivos de diferente naturaleza emplazado en la cuenca volcánica neógena (Warnaars et al., 1985). En general son de poca extensión en superficie y sus edades son progresivamente más jóvenes hacia el oriente (Thiele, 1980).

El batolito San Francisco es parte del conjunto de cuerpos intrusivos desarrollados en la región cordillerana de Chile Central, cuyas edades abarcan desde el Mioceno al Plioceno e intruyen a las rocas de la Formación Abanico y Farellones, siendo a su vez intruidos por cuerpos subvolcánicos porfídicos del Mioceno superior al Plioceno (Serrano et al., 1996). La edad del Batolito San Francisco mediante K-Ar y U/Pb se estima entre 20,1 y 8,4 Ma. (Serrano et al. 1996; Deckart et al. 2005)

2.3.1. Intrusivos Miocénicos

Definida por Thiele (1980) como “Unidad Intrusiva I” y posteriormente por Stambuk et al. (1982) como Plutón Río Blanco-San Francisco. Corresponden a un conjunto cuerpos intrusivos asociados al Batolito San Francisco y se compone por granodioritas, monzonitas cuarcíferas, monzogranitos, diorita cuarcífera y en menor grado granitos y sienitas con texturas variables de porfídica a fanerítica (Thiele, 1980; Serrano et al. 1996).

Las primeras dataciones radiométricas de K/Ar en biotitas indican una edad de 24 Ma a 10,6 Ma (Vergara y Drake, 1979). Otras dataciones K-Ar en roca total estima un rango entre 20.1 a 7.4 Ma (Serrano et al. 1996), sin embargo, estudios posteriores a través del método U/Pb se obtienen valores de $8,4 \pm 0,23$ y $11,96 \pm 0,4$ Ma. en la granodiorita Cascada y Río Blanco respectivamente, y 8.16 ± 0.45 Ma en la Diorita (Deckart et al., 2005) Considerando las evidencias de edades y la relación de contacto acotada por la Fm. Farellones, permiten asignar una edad Miocena a estos cuerpos intrusivos.

2.3.2. Intrusivos del Mioceno tardío al Plioceno

Definida por Thiele (1980) como “Unidad Intrusiva II”. Corresponden a cuerpos intrusivos de poca extensión de tipo stocks, lacolitos, filones-manto, diques y en menor medida por chimeneas de brecha. Se compone por microdioritas, pórfidos dioríticos, dacíticos y andesíticos e intruyen a la Formación Farellones y al Batolito San Francisco. Dataciones de U/Pb en muestras de pórfido cuarzo monzonítico y dacitas estiman edades de emplazamiento entre $6,32 \pm 0,09$ a $4,92 \pm 0,07$ Ma. (Deckart et al. 2005).

2.4. Marco Metalogénico

El distrito Río Blanco – Los Bronces se localiza en sector sur de la franja metalogénica del Mioceno al Plioceno inferior, la cual se extiende de manera semicontinua por aproximadamente 6000 km a lo largo de la cordillera, desde el suroeste de Colombia hasta la parte central de Chile y Argentina. Regionalmente el yacimiento se ubica en la sub-franja de Chile Central, la cual se extiende por aproximadamente 400 km a lo largo de la Cordillera de Los Andes, entre los 32° y 35° latitud sur (Sillitoe y Perelló, 2005). La mitad sur de esta sub-franja, desde aproximadamente los 33°S, es donde se encuentran los principales yacimientos de cobre, la cual sobreyace el segmento norte de la zona de subducción normal caracterizada por la presencia del volcanismo activo de la Zona Volcánica Sur. La parte norte de esta sub-franja se extiende sobre la zona de subducción plana (*flat-slab*), desprovista de volcanismo activo (Stern, 2004). El aplanamiento progresivo de la subducción hacia el norte de los 33°S coincide con la migración hacia el sur de la subducción de la Dorsal de Juan Fernández (Yáñez et al., 2002). La migración de esta dorsal hacia el sur de los 33°S se habría producido entre los 6 y 3 Ma, período durante el cual se produjo la actividad magmático-hidrotermal y la rápida exhumación de los pórfidos de cobre-molibdeno Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, además del desarrollo tardío de complejos de diatremas en ambos sistemas (Maksaev et al., 2009).

La sub-franja de Chile Central incluye los mega-yacimientos de clase mundial Los Pelambres, con un recurso de 31 Mt de Cu fino contenido (Perelló et al., 2009), El Teniente, con un recurso >90 Mt de Cu fino contenido (Vry et al., 2009) y Río Blanco - Los Bronces, con un recurso de 150 Mt de Cu fino (Maksaev et al., 2009). Los cuales, en conjunto, permiten estimar un recurso para la franja que alcanzaría los 300 Mt de cobre fino (Toro et al., 2009). Entre éstos mega yacimientos se encuentran distribuidos en sus alrededores una serie de yacimientos de tipo pórfido de menor envergadura los cuales destacan los prospectos Rosario de Rengo, Estero Valenzuela, Altar, Yunque, West Wall, Vizcachitas, Pimentón, Las Ojotas, Cerro Mercedario, El Pelado, Cerro Bayo del Cobre, Amos Andrés y Novicio, a los que se debería agregar los sistemas de Arpa, Leiva, Valle Hermoso y Río de las Vacas los últimos tres prospectos se encuentran en territorio argentino (Cortés, 2011; Figura 2.2). Estos sistemas porfídicos se habrían formado entre los 15 y 9 Ma. (Toro et al., 2009)

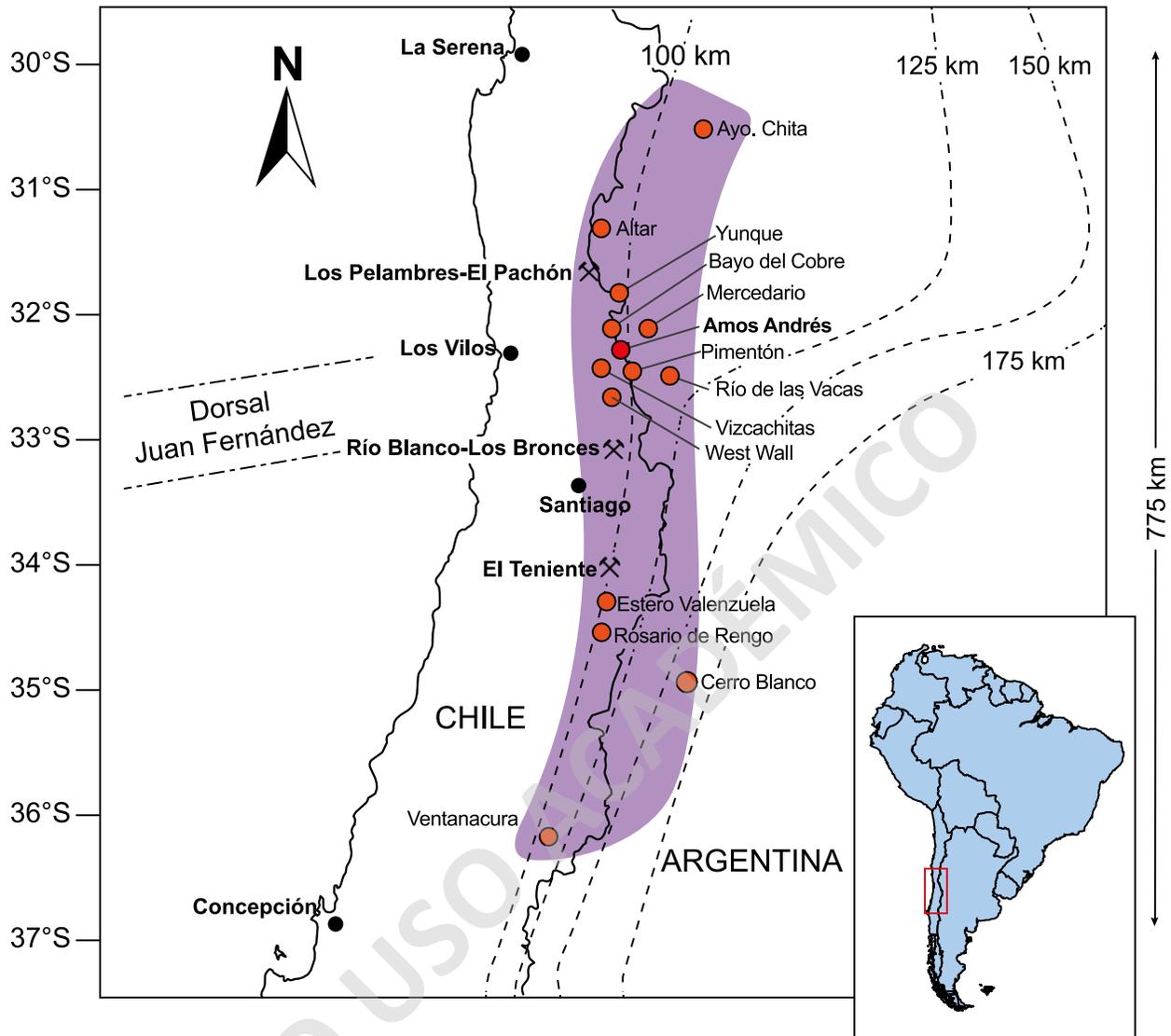


Figura 2.2: Sub-Franja Metalogénica Neógena de Chile Central. El sector de color violeta representa la sub-franja de Pórfidos de Cobre de Farellones donde se distribuyen las minas y prospectos mineros de edades Mioceno Medio – Plioceno Inferior (Cortés 2011). Las líneas segmentadas representan la posición aproximada de la Dorsal Juan Fernández y los contornos de profundidad de la placa oceánica propuesto por Yáñez et al. 2002. Figura modificada de Cortés, 2011. (Basada en Gígola, 2004 y Yáñez et al., 2002).

Los Recursos totales de cobre en la sub-franja que alcanzan las 300 Mt de Cu fino, se debe a los constantes hallazgos de nuevos depósitos dentro del distrito Río Blanco – Los Bronces: Los Sulfatos, localizado a 6 km al sur de Los Bronces (4500 Mt @ 0.9% Cu) y San Enrique Monolito, ubicado inmediatamente al sureste de Los Bronces, adyacente al rajo Sur Sur (3700 Mt @ 0.7% Cu). Estos descubrimientos permiten estimar recursos de más de 200 Mt de cobre fino contenido para este distrito, convirtiéndolo en el distrito cuprífero más grande del mundo (Toro et al., 2012).

2.5. Marco Tectónico - Estructural

El distrito Rio Blanco – Los Bronces se localiza en el dominio estructural denominado Cuenca del Abanico (CA), en la Cordillera Principal de Chile Central entre los 33° - 34°S y corresponde a un sistema de cuencas extensionales desarrolladas durante el Oligoceno que se habrían invertido durante el Mioceno. Tanto las estructuras reinvertidas como generadas serían también las responsables de la generación del distintivo relieve que delimita la Depresión Central con el frente cordillerano occidental (Charrier et al., 2005).

El dominio CA se encuentra en contacto con el dominio estructural denominado “Faja Plegada y Corrida del Aconcagua” (FPCA) a través de falla inversa El Coironal y falla Laguna Negra en el sector este (Ramos et al., 1991, Fock, 2005) y delimitado por el sistema de falla San Ramón en el sector oeste (Fock, 2005; Charrier et al., 2009).

Las fallas principales del dominio CA tienen una orientación norte-sur con variaciones NNE y NNW y se exponen en superficie en una serie de estructuras de carácter compresivo bivergentes (Quiroga, 2013). Se caracterizan como cabalgamientos de alto ángulo que afectan a la formación abanico tanto en el borde oriental como el borde occidental del dominio (Charrier et al., 2005; Fock et al., 2006).

Se sugiere que la evolución tectónica del dominio CA en el distrito de Rio Blanco – Los Bronces es controlada por un sistema de fallas oblicuas pre-mineral de orientación NW-NNW y NE que fueron originadas como fallas normales. Estas fallas controlan la separación de la cuenca de Abanico en dos subcuencas individuales con características de facies volcano-sedimentarias y engrosamiento. Además, estos sistemas fueron reactivados selectivamente durante la posterior compresión; el sistema NW-NNW muestra un movimiento inverso-sinistral, mientras que el sistema NE muestra un movimiento principalmente dextral. Esta reactivación habría ocurrido al mismo tiempo en que la Fm. Farellones era depositada y el Batolito San Francisco, junto a la serie de pórfidos asociados al sistema Rio Blanco-Los Bronces, eran emplazados (Piquer y Skarmeta, 2012).

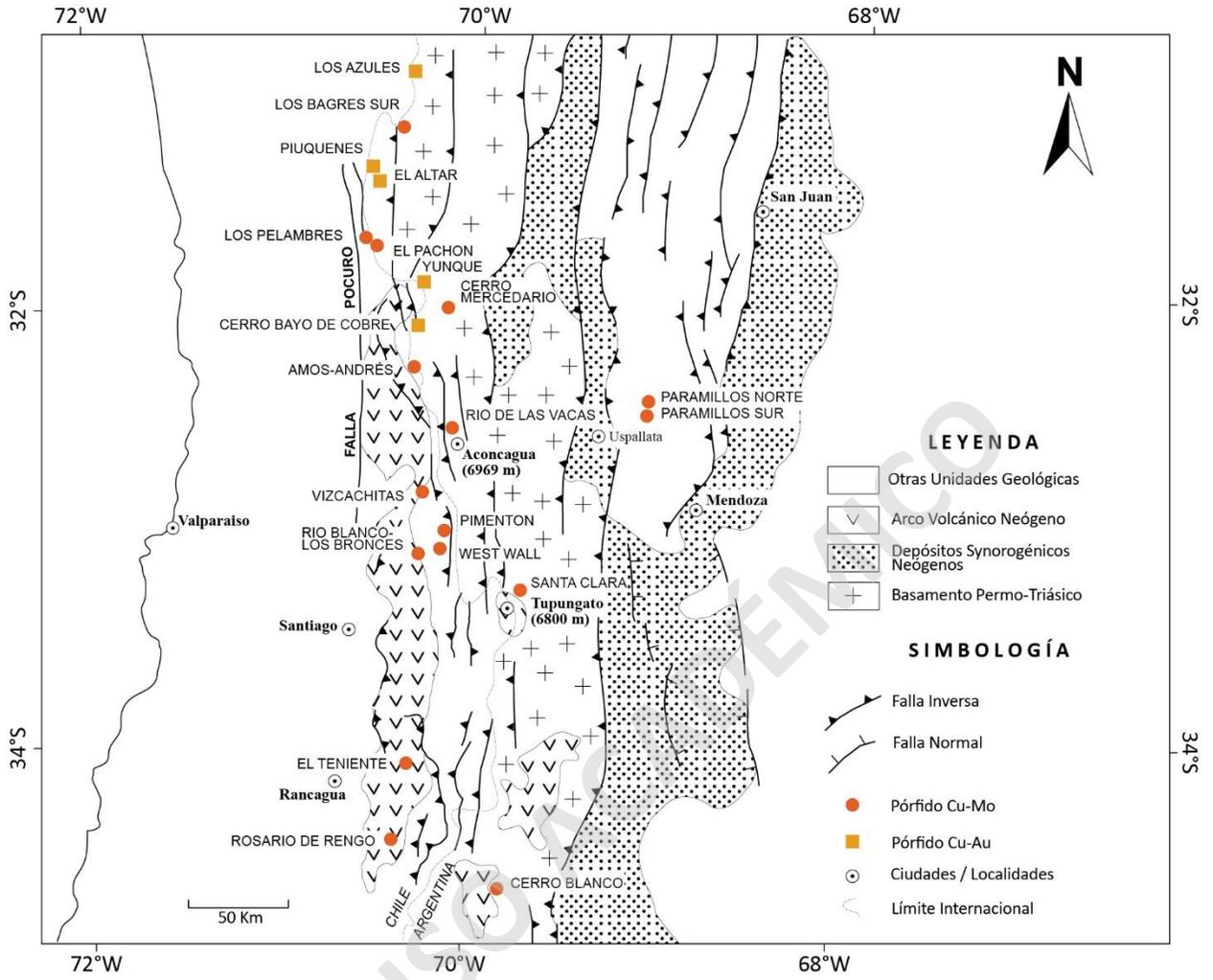


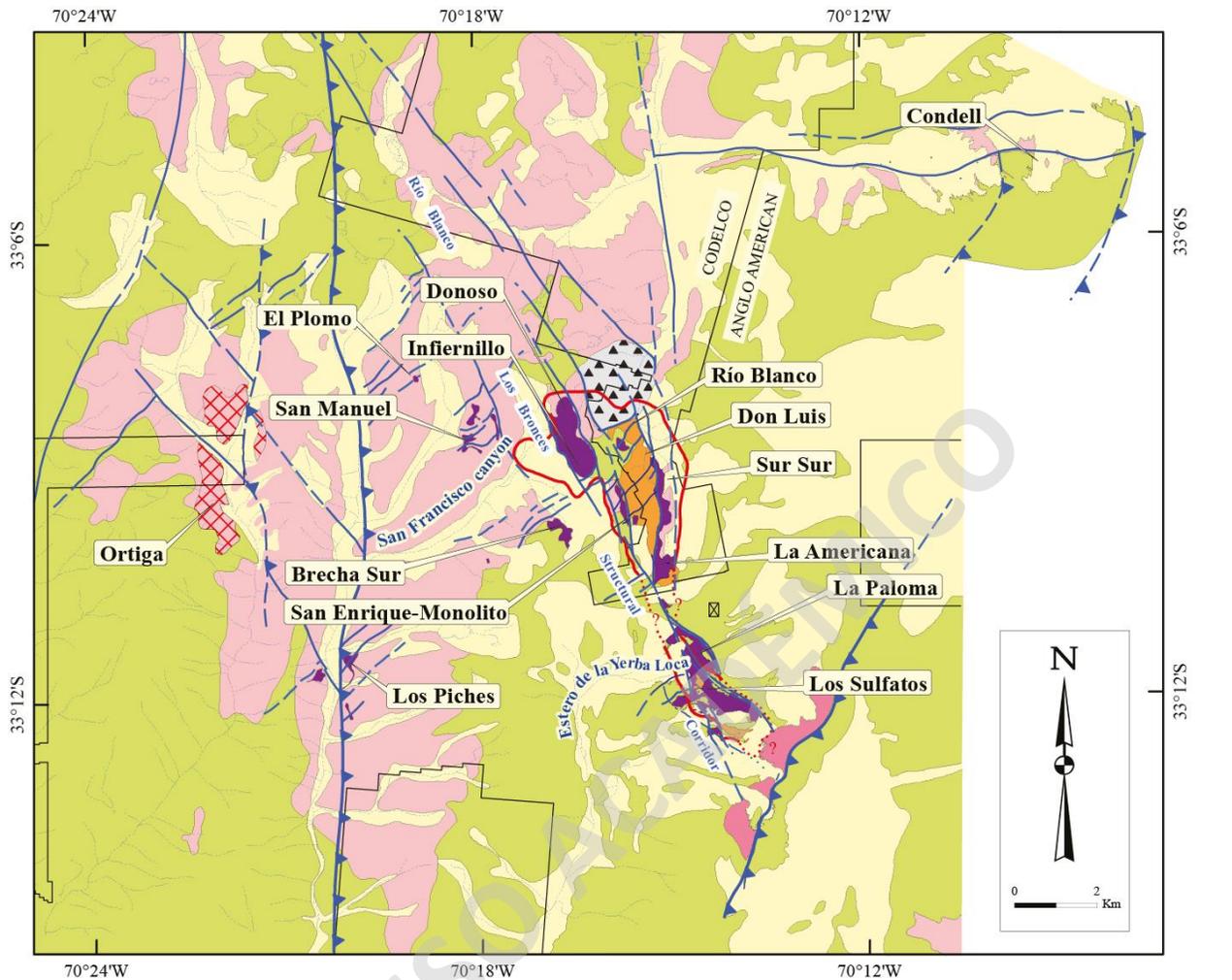
Figura 2.3: Mapa estructural regional de la franja cuprífera del Mioceno al Plioceno temprano. Figura modificada de Sillitoe y Perrelló (2005).

CAPÍTULO 3: Geología Distrital

3.1. Generalidades

La geología distrital del yacimiento Rio Blanco – Los Bronces se caracteriza por ubicarse en el lado oriental del Batolito San Francisco, extendiéndose cerca de 5 km desde el norte, pasando por Don Luis, Sur-Sur, La Americana y Los Sulfatos en el sur (Deckart et al., 2013). En el yacimiento las rocas más antiguas corresponden a secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias de las formaciones Abanico y Farellones. Estas secuencias son emplazadas por unidades intrusivas por el lado este del Batolito San Francisco. Estos cuerpos varían de composición cuarzomonzonítica a cuarzomonzodiorítica y se emplazan durante el Mioceno. Posteriormente y sobre aquellas unidades, se emplazan una serie de brechas de origen hidrotermal y magmático (Serrano et al., 1996). Por último, en el Mioceno superior y Plioceno inferior, ocurren una serie de cuerpos porfídicos tardíos que intruyen a las unidades preexistentes. Dichos cuerpos corresponden a como pulsos subvolcánicos, domos, diatremas y extrusiones (Serrano et al., 1996).

En el distrito se reconocen estructuras de dirección N-NNW que se extienden por más de 10 km y definen una franja que alberga la mineralización con un ancho aproximado de 2 km. Dicha franja se caracteriza por el emplazamiento de un enjambre de diques y brechas, las cuales la mineralización es asociada (Toro et al., 2012). Los límites corresponden a fallas inversas de orientación casi N-S de alto ángulo, ciegas, y que controlan los pliegues de la roca de caja. En superficie se reconocen fallas y vetas-fallas de orientación preferencial NE-SW, con evidencias de desplazamientos transpresivos dextrales discretos (Carrizo et al., 2014).



LEYENDA

- | | |
|---|---|
| Depósitos Aluviales / Coluviales | Pórfido Cuarzo Diorita (<7 Ma) |
| La Copa complejo volcánico sub-volcánico (4.9-4.3 Ma) | Batolito San Francisco (~16-8 Ma) |
| Brecha Hidrotermal | Rocas Volcánicas y Volcanoclásticas (Fm. Abanico & Farellones, ~23-17 Ma) |
| Pórfido Dacítico (~5 Ma) | |

SIMBOLOGÍA

- | | |
|--|-----------------|
| $\geq 0.5\% \text{ Cu}$ | Falla inferida |
| Área Propiedad Minera | Falla inversa |
| Argilico Avanzado (Qz - al - kao - py) | Falla observada |

Figura 3.1: Mapa geológico del distrito Río Blanco – Los Bronces donde se ilustran las unidades litológicas, estructuras principales y la ubicación de los prospectos. Extraído y modificado de Toro et al., 2012.

3.2. Litologías del Distrito Río Blanco – Los Bronces

3.2.1. Unidades Pre-mineral

3.2.1.1. Andesitas (AND)

Las andesitas presentes en el distrito corresponden a las unidades estratificadas más antiguas, con edades que abarcan desde los 34 Ma para la Formación Abanico (Gana y Wall, 1997 en Charrier et al., 2002) a $16,8 \pm 0,3$ Ma para la Formación Farellones (Toro et al., 2012). Se disponen de forma subhorizontal a suavemente plegadas y subyacen gran parte de las unidades del distrito. La Fm. Farellones aflora como un “*roof pendant*” en la parte superior del sistema, la cual es intruida por cuerpos intrusivos y cuerpos brechosos.

La unidad describe como una roca de color gris oscuro a negro, de textura porfídica o afanítica con fenocristales de plagioclasa, epidota, clorita, turmalina y magnetita con formas subhedrales a anhedrales, en ocasiones con escasos cristales apreciables de hornblenda. La masa fundamental está compuesta por plagioclasa, clorita, sericita, cuarzo, especlarita y magnetita. Normalmente presenta alteración propilítica débil a moderada y alteración cuarzo-sericita débil.

3.2.1.2. Unidad Cuarzo Monzonita (QM)

Corresponde a una unidad compuesta de granitos, granodioritas y cuarzomonzodioritas definidas por Thiele (1980) en la carta Hoja de Santiago. Otros trabajos la definen como un conjunto de granitos, granodioritas, cuarzomonzonitas y cuarzomonzodioritas según la clasificación QAP de Streckeisen (1976) (Contreras, 2003). La edad de la unidad se correlaciona con sus equivalentes en el sector Río Blanco; Granodiorita Río Blanco 11.96 ± 0.40 Ma, Granodiorita Cascada de $8,40 \pm 0,23$ Ma y Diorita de $8,16 \pm 0,45$ Ma (Deckart et al., 2005) y se reconoce como la unidad intrusiva más antigua.

La unidad se describe como una roca es de color rosado pálido, con textura hipidiomórfica, inequigranular y fanerítica de grano medio a grueso. Se compone por cristales de plagioclasas anhedrales, feldespatos potásico y en menor cantidad cuarzo, hornblenda y biotitas cloritizadas (Contreras 2003). Presenta biotita secundaria y anhidrita, junto a cuarzo, biotita y pirita en vetillas tipo A, lo cual indica una alteración principal potásica. También se observa la presencia de clorita, biotita secundaria y carbonatos, lo cual indica una alteración propilítica sobrepuesta. Por último, se distingue en los sectores someros plagioclasas alteradas a sericita lo cual evidencia una alteración fílica (Contreras, 2003).

3.2.1.3. Unidad Cuarzo Monzodiorita (QMD)

Se constituye por cuarzomonzodioritas, dioritas y tonalitas según la clasificación QAP de Streckeisen (1976) (Contreras, 2003). Se le asigna edad Mioceno medio según el principio de relación de corte. Intruye a la Formación Farellones, pero es intruida por la unidad de Pórfido Cuarzo Monzodiorítico (PQMD) y por el conjunto de Brechas Los Bronces.

La unidad se describe por rocas de color gris a gris verdoso con textura hipidiomórfica inequigranular. Según su tamaño de grano se pueden clasificar como fina (QMDF) o gruesa (QMDG). Está compuesta por cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico alcalino en menor proporción que el de plagioclasas. Además, presenta biotitas primarias y hornblendas.

3.2.1.4. Unidad Pórfido Cuarzo Monzodiorítico (PQMD)

La unidad se describe como cuerpos filoneanos de color gris-blanco (Warnaars et al., 1985), de textura porfídica con un tamaño de grano medio (Contreras, 2003). Se compone por fenocristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y en menor medida máficos. Por otro lado, la masa fundamental representa el 75% del volumen total y se compone por agregados de cuarzo, anhidrita y feldespato potásico (Vargas, 2015).

La alteración predominante en esta unidad es fílica con una asociación cuarzo – sericita – clorita, determinada por la asociación de sericita-clorita y cuarzo en masa fundamental, con una menor presencia de yeso, carbonatos y pirita. La alteración fílica sobrepone a la alteración potásica en zonas más profundas. También existe una alteración propilítica periférica que se identifica por la asociación de clorita, montmorillonita, calcita y epidota (Contreras, 2003).

La unidad intruye a las rocas de la formación Farellones y a las unidades Cuarzo Monzonita (QM) y Cuarzo Monzodiorita (QMD) y en contacto gradacional con el Pórfido Cuarzodiorítico (PQD) (Barros, 2007). Además, forma halos de alteración en los bordes de los cuerpos que intruye.

3.2.2. Unidades Intra-mineral

3.2.2.1. Unidad Pórfido Cuarzo Diorítico (PQD)

Corresponde a un cuerpo filoniano de color gris oscuro, de textura porfídica y de composición cuarzodiorítica a tonalítica compuesto por fenocristales de tamaño fino a medio (Warnaars et al., 1985). La masa fundamental corresponde a un 70% del volumen de la roca y se compone por

plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y clorita. Por otra parte, el otro 30% del volumen corresponde a fenocristales de plagioclasa, biotita-anfíbol y magnetita. Se reconocen al menos tres importantes alteraciones en esta unidad; (1) una alteración potásica compuesta por biotita secundaria, albita, anhidrita, feldespato potásico, (2) una alteración propilítica moderada compuesta por clorita, biotita y montmorillonita, y (3) una alteración fílica débil compuesta por sericita, andalucita y cuarzo secundario (Contreras, 2003). El pórfido presenta mineralización de calcopirita diseminada y en menor cantidad calcopirita-bornita en vetillas, la relación pirita/calcopirita + bornita es 0,4 (Contreras, 2003).

Este pórfido intruye a las unidades Cuarzomonzonita (QM) y Cuarzomonzodiorita (QMD). Se encuentra en contacto gradacional con el Pórfido Cuarzomonzodiorítico (PQMD).

3.2.2.2. Unidad Pórfido Cuarzo Monzonítico (PQM)

Corresponde a un conjunto de diques con orientación N27°W que cortan la zona de alta ley de la Brecha Magmática Río Blanco (CODELCO-Andina). Roca es de color gris verdoso, holocristalina, de textura porfídica, con fenocristales de albita ± ortoclasa subhedrales a anhedrales. La masa fundamental está compuesta por feldespatos alcalinos, cuarzo y plagioclasas en menor cantidad. Los fenocristales se componen por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y biotita inmersos en la masa fundamental de grano fino. Los fenocristales de feldespato potásico tienen la particularidad por ser euhedrales y de tamaño mayor a 2 cm (Frikken, 2003). Mediante dataciones con U-Pb en circones se determinó su edad con un rango de 7,7-6,1 Ma (Deckart et al., 2013).

3.2.2.3. Complejo de Brechas Los Bronces

A modo general se identifican al menos 7 cuerpos de brechas en el distrito (Fig. 3.2). De más antiguo a más reciente corresponden a (1) Brechas Fantasma, (2) Brecha Central, (3) Brecha Occidente, (4) Brecha Infiernillo, (5) Brecha Anhidrita, (6) Brecha Gris Fina y (7) Brecha Donoso (Warnaars et al., 1985).

Las diferencias que las distinguen a cada brecha son un conjunto de características: de acuerdo a la composición de su matriz o cemento, tipos de clastos, alteración y conjunto de sulfuros. La descripción se basa en el trabajo Warnaars et al. (1985), sin embargo, en este trabajo se adapta a la descripción petrográfica del trabajo inédito titulado "Geología de los Bronces" e incorpora descripciones más actualizadas al catálogo de rocas.

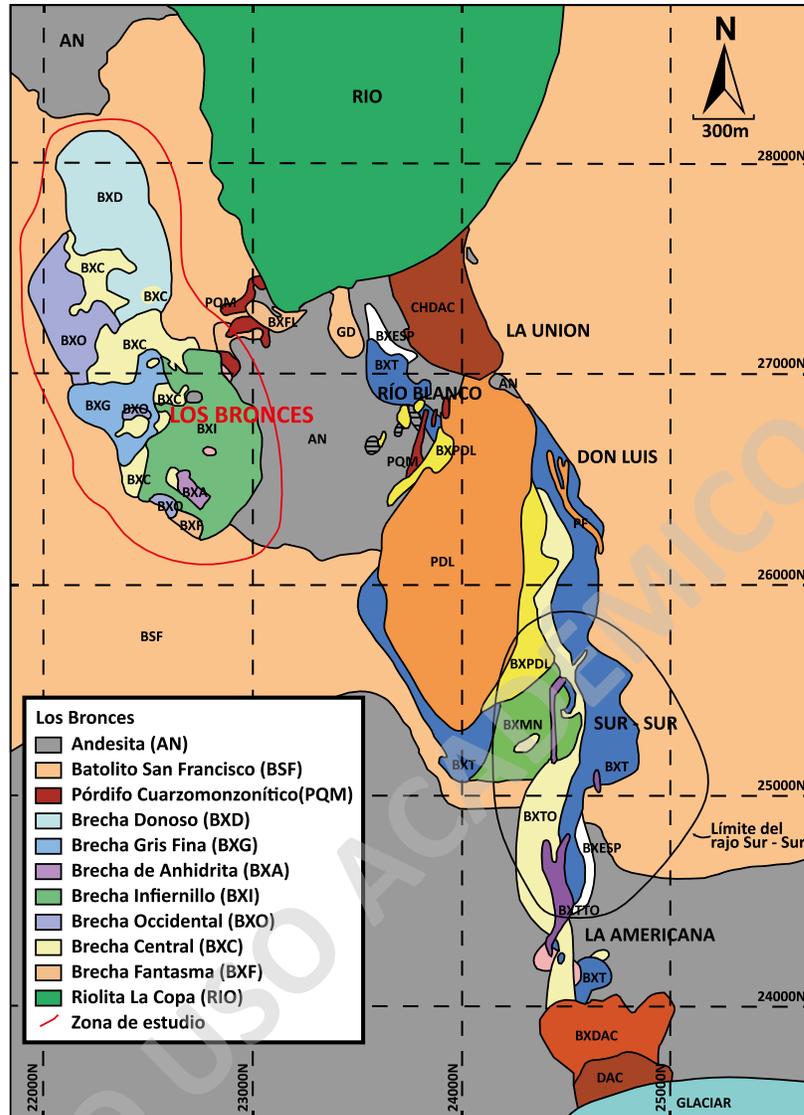


Figura 3.2: Mapa de litologías del distrito Río Blanco – Los Bronces. Modificado de Friksen (2003) en Abarzúa (2014) y Larenas (2018).

A. Brecha Fantasma (BXF)

Su matriz se compone de polvo de roca y cuarzomonzonita con cristales diseminados de cuarzo, turmalina, especularita y sulfuros. Por otra parte, los clastos son angulosos a sub-redondeados y se componen por fragmentos finos a gruesos de cuarzomonzonita y andesita. Su mineralización frecuentemente se encuentra diseminada en la matriz y a veces contenida en *stockwork* con minerales de pirita, calcopirita, calcosina y molibdenita. Su alteración dominante es cuarzo-sericita tanto en la matriz como en los clastos. La brecha se localiza en la periferia del Complejo de Brechas Los Bronces y se observa fue emplazada por las demás brechas, lo cual se presume que se trata de la brecha más antigua.

B. Brecha Central (BXC)

Su matriz es de color negro a gris oscuro y se compone de turmalina de grano fino y en menor cantidad cuarzo, especularita, sericita, sulfuros y ocasionalmente anhidrita. Los clastos son sub-angulosos y algunos con bordes redondeados con un tamaño promedio no mayor a 5 cm y corresponden a fragmentos de cuarzomonzonita y, en menor medida, andesita y latitas. Los clastos en general se encuentran alterados a cuarzo-sericita, sílice y argílica. Los sulfuros se encuentran diseminados y donde la pirita es dominante por sobre la calcopirita. Esta brecha intruye a la BXF, por lo cual, se le asigna una temporalidad posterior.

C. Brecha Occidente (BXO)

Su matriz es de color gris-verdoso y se compone por abundante clorita, polvo de roca y en menor medida turmalina y especularita. Los clastos son angulosos y se componen de cuarzomonzonita cloritizada con reemplazo selectivo de minerales máficos por clorita, especularita y turmalina. La mineralización de sulfuros se encuentra diseminada en la matriz y corresponden a pirita y calcopirita. La alteración predominante es la asociación clorita-turmalina-especularita. Otras alteraciones en menor medida se observan las asociaciones calcita-epidota y cuarzo-sericita.

D. Brecha Infiernillo (BXI)

Se caracteriza porque el volumen de su matriz es el menor de entre todas las brechas, el cual varía entre 2% y 15%; es de color verde intenso y se compone principalmente de clorita y cuarzo con menor cantidad de especularita, turmalina, epidota, pirita, calcopirita y magnetita. Por otra parte, los clastos son angulosos a sub-angulosos y se componen de andesita, en menor cantidad de cuarzomonzonita y latita. La alteración corresponde a la cloritización selectiva de minerales máficos de los clastos y zonas con silicificación y argilización de feldespatos. La brecha se encuentra restringida a la unidad de andesitas y se limita en la zona sur con el Complejo de Brechas. Los contactos laterales al este y al sur son abruptos y sub-verticales.

E. Brecha Anhidrita (BXA)

Se caracteriza por su forma columnar y por estar contenida dentro de la Brecha Infiernillo. Su matriz corresponde desde el 5% hasta el 60% del volumen total y se compone de abundante anhidrita de grano grueso, especularita, pirita, calcopirita y en menor medida molibdenita. En las zonas altas es posible encontrar yeso por la hidratación de la anhidrita. Los clastos son angulosos y corresponden a andesitas y fragmentos de la Brecha Infiernillo y Brecha Central. La alteración predominante es de clorita débil en clastos.

F. Brecha Gris Fina (BXGF)

Se caracteriza por su matriz de color gris, microcristalina compuesta por polvo de roca y cristales de grano fino de turmalina, sericita y cuarzo; en menor cantidad clorita, turmalina, especularita y sulfuros. El volumen de la matriz corresponde entre un 10% y un 40% de la roca total. Los clastos son angulosos y se componen por fragmentos de cuarzomonzonita y en menor cantidad andesita. La mineralización de sulfuros corresponde a pirita y calcopirita diseminada en la matriz, clastos y vetillas. Presenta una fuerte alteración cuarzo-sericita y de manera local silicificación y cloritización.

G. Brecha Donoso (BXD)

Se caracteriza por una matriz compuesta por turmalina negra, cuarzo, pirita, calcopirita, especularita y en menor cantidad anhidrita y bornita. De forma dispersa y en muy poca cantidad se reconoce sericita, clorita y polvo de roca. El volumen de la matriz varía entre un 5% y 25% de la roca total. Los clastos son angulosos a sub-angulosos y corresponden a fragmentos de cuarzomonzonita y en menor cantidad cuarzomonzodiorita, pórfidos, sienita y raramente andesita. Además, la brecha presenta oquedades y el contenido de cobre total es mayor que el de las demás brechas. Según dataciones por K/Ar en sericita y biotita de clastos alterados se determinó un rango de edad entre 5,2 y 4,9 Ma (Serrano et al. 1996), sin embargo y por principios de relación de corte, la Brecha Donoso es la más joven. La brecha se encuentra en el extremo norte del complejo de Brechas Los Bronces.

3.2.3. Unidades Post-mineral

3.2.3.1 Complejo Riolítico La Copa

Definida por Lantore (1981) como una chimenea de brecha subvolcánica constituida por tobas y diques de composición riolítica a dacítica. La unidad se emplaza entre las unidades porfídicas tardías y la mineralización del distrito (Frikken, 2003). La parte superior de la unidad se encuentra con una discordancia de erosión con la Formación Farellones. Dataciones obtenidas mediante U-Pb en circones estima una edad de entre 4,9 a 4,7 Ma (Deckart et al. 2013) y marca el último evento de actividad magmática del distrito.

3.3. Estructuras del Sector Los Bronces

La evolución tectónica del distrito Río Blanco – Los Bronces indica que se encuentra ligada a la herencia estructural pre-Mesozoica, posterior extensión durante el Oligoceno - Mioceno, subsiguiente compresión del margen andino del Mioceno – Plioceno tardío, con el acortamiento orogénico y la respectiva inversión tectónica en el Mioceno – Plioceno asociada al alzamiento de la cordillera central de Los Andes (Charrier et al., 2002; Carrizo et al., 2012).

La tectónica del área sugiere que está fuertemente controlada por un sistema de fallas oblicuas de dirección NW-NNW y un sistema de fallas pre-mineral de dirección NE originado como fallas normales. (Piquer y Skarmeta, 2012). Sin embargo, estudios posteriores sugiere que la tectónica del lugar está controlada por un sistema de fallas pre-mineral oblicuas de direcciones NW-SW, NNW-SSE y NE-SW con respecto al eje del orógeno andino orientado NS a escala regional. Dichas fallas oblicuas se comportaron como normales durante el Eoceno tardío – Oligoceno. Posteriormente las fallas se reactivaron selectivamente durante el Mioceno – Plioceno por la compresión E-W. En consecuencia, las fallas de dirección NW-SW y NNW-SSE expresan un movimiento inverso-sinistral, mientras que el sistema de dirección NE-SW expresa un movimiento dextral. Esta reactivación fue en conjunto con la depositación de la Formación Farellones y el emplazamiento del Batolito San Francisco. También se sugiere que los fluidos hidrotermales y magmáticos fueron canalizados por ambos sets de estructuras oblicuas preexistentes, a su vez, con la ruptura de las fallas producto de las altas presiones de dichos fluidos. (Piquer y Skarmeta, 2015). Una evidencia sería la orientación actual de los cuerpos brechosos mineralizados. (Larenas 2018).

Por otra parte, Carrizo et al., (2012) señala un control estructural de primer orden, asociado a fallas inversas NS, responsables del alzamiento del frente cordillerano Andino. La propagación en profundidad de estas estructuras con vergencia oeste habría favorecido el emplazamiento magmático sintectónico a una profundidad del orden de los 100 a 1000 km en la corteza. A escala regional se forman pliegues kilométricos y fallas ciegas con ejes casi NS afectando la cuenca volcanoclástica de Abanico – Farellones, evidenciando la inversión tectónica neógena. Posteriormente el emplazamiento del Batolito San Francisco y el complejo intrusivo de Río Blanco – Los Bronces se controla producto del acortamiento de la cuenca de Abanico-Farellones deformada, lo que explica la orientación NS – NNW-SSE de las estructuras mineralizadas.

A escala local, Carrizo et al. Ha hecho estudios y modelos estructurales en el cual clasifican las estructuras y los conjuntos de fallas observadas e inferidas en el yacimiento. Estos modelos se han ido modificando y actualizando a medida que se obtienen datos más recientes.

De acuerdo con el modelo de Carrizo y Barros (2017), se describen 9 Fallas Principales (Figura 3.3). Estas corresponden a: (1) Falla Norte, (2) Falla Central, (3) Falla Sur, (4) Falla Infiernillo, (5) Falla Infiernillo 2, (6) Contacto Cizallado Riolita, (7) AsEma30, (8) AsEma7 y (9) AsEma16. Los autores también identifican y modelan 138 estructuras mayores, las cuales, en su mayoría, cuenta con continuidad en el talud de la mina.

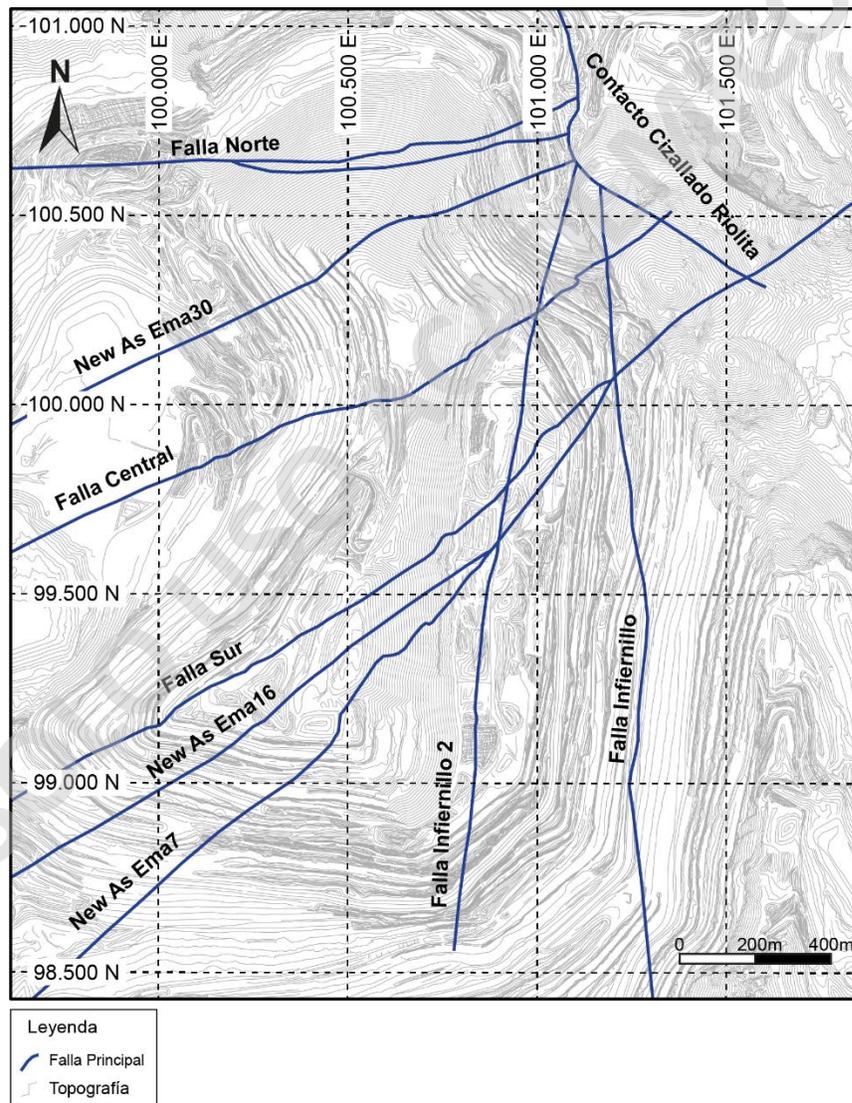


Figura 3.3: Fallas principales en mina Los Bronces. Topografía extraída de “Avance Diario” *MineSight* octubre 2021, Basado en el modelo estructural 2015 Carrizo y Barros (2016).

En el yacimiento se definieron dominios estructurales basándose en la distribución espacial de los datos estructurales recopilados, en los cuales incluyen sistemas de diaclasas, fallas, características litológicas, alteración, mineralización y relaciones de contacto entre unidades. La definición de dichos dominios ha ido variando a medida que se conocen datos recientes. Históricamente se usaron las definiciones de Vargas (1985), McCracken (2006), Villagrán (2007) y actualmente la de Carrizo et al. (2013), en la cual, definen siete dominios.

Dominio 1 (Infiernillo): Se localiza en el sector SE de la mina y se acota por la Falla Infiernillo por su lado oeste. Su roca de caja consiste en lavas andesíticas de la Formación Farellones. Su base se encuentra en contacto por el Batolito San Francisco, expuesto en superficie y se describe como una estructura tipo “*roof pendant*”. La caracterización de este dominio se define por un control litológico.

Dominio 2 (Riolita): Se localiza en el sector NNE de la mina y se acota por el Complejo Riolítico La Copa. La estructura se describe como un diatrema cuya morfología es el resultado del colapso de dicha estructura. El contacto cizallado con la Falla Central se interpreta como el límite de este dominio. Al igual que el Dominio 1, se define por un control litológico.

Dominio 3: Se localiza en el sector centro sur de la mina. Se acota al norte por la Falla central y al sur por la Falla Sur. Las discontinuidades son de alto ángulo y tienen orientación ENE-WSW formando estructuras de tipo *riedel* o sistemas conjugados. Por otra parte, también presenta discontinuidades de bajo ángulo en dirección NNE-SSW. La caracterización de este dominio se interpreta como de tipo estructural limitado por ambas fallas principales.

Dominio 4 (Sur): Se localiza en el sector SSW de la mina. Se acota al norte por la Falla Sur y hacia el este con la zona del Complejo de Brechas Los Bronces. Las discontinuidades se asocian a fallas de alto ángulo de dirección NE-SW y NW-SE formando arreglos tipo *splay faults* y *duplex* asociados a sistemas de rumbo. La caracterización de este dominio es interpretada como tipo estructural.

Dominio 5: Se localiza en el sector SE de la mina. Se acota hacia el este por el contacto del Batolito San Francisco con el “*roof pendant*” de lavas andesíticas pertenecientes a la Formación Farellones (Dominio 1) y hacia el oeste por el Complejo de Brechas Los Bronces emplazado en un eje NNW-SSE. Las discontinuidades forman fallas de alto ángulo con dirección NNE-SSW con vergencia oeste. Otra observación son estructuras de orientación NE-SW que corresponden a vetas y vetas-fallas. La caracterización de este dominio se define como tipo estructural y litológico.

Dominio 6 (Pared Norte): Se localiza en el sector norte de la mina. Se acota en el sur por la Falla Norte y al este por el Complejo riolítico la Copa (Dominio 2). Las discontinuidades se asocian a fallas sub-verticales de rumbo vinculadas a la Falla Norte de orientación E-W y forman estructuras tipo *sidewall rip-out*, *duplex*, *riedel* y sistemas conjugados que se conectan asintóticamente con las fallas de mayor jerarquía. Por otra parte, también se describen fallas de orientación N-S de manteo cercano a 60° relacionado al proceso de enfriamiento del Plutón con el techo. La caracterización de este dominio se define como tipo estructural.

Dominio 7 (Central): Se localiza en el centro norte de la mina y se limita al norte con la Falla Norte y al sur por la Falla Central. Las discontinuidades corresponden a fallas de alto ángulo con orientaciones E-W y NNW-SSE, además se observan fallas de bajo ángulo con orientaciones N-S y NW-SE y diaclasas de igual orientación. La caracterización de este dominio se define como tipo estructural.

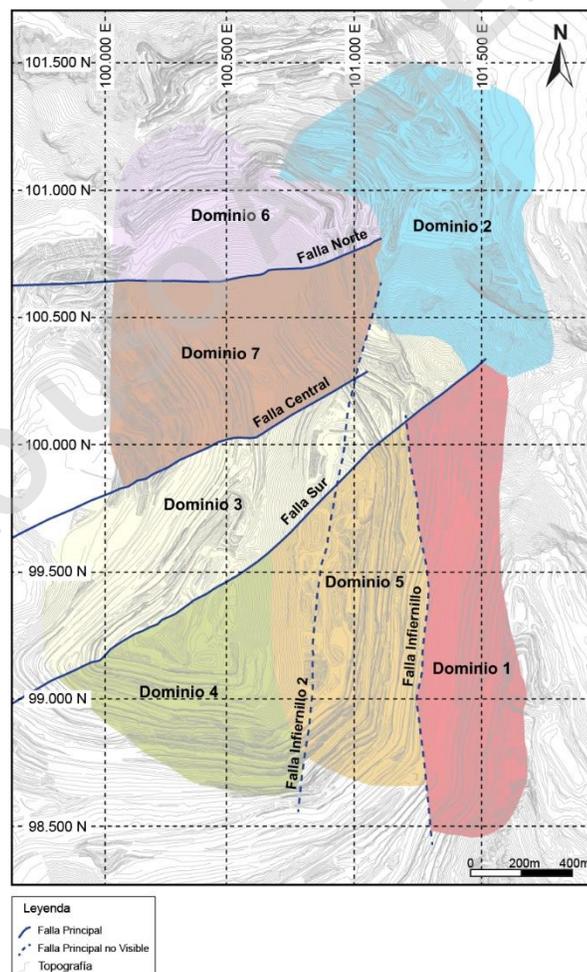


Figura 3.4: Dominios estructurales de la mina Los Bronces. Modificada de Carrizo et al. (2013). Basado en Andrade 2015 y Larenas 2018.

3.4. Alteración Hidrotermal y Mineralización

3.4.1. Alteración Potásica

La alteración potásica se localiza en el sector Río Blanco, en el área donde actualmente se explota mediante minería subterránea. Esta alteración afecta principalmente a las rocas plutónicas del Batolito San Francisco, como también a las rocas volcánicas que son intruidas.

Se caracteriza por el reemplazo de minerales primarios de la roca de caja original: biotita \pm magnetita \pm sulfuros y la adición de feldespato potásico, como también la formación de un *stockwork* de vetillas con biotita \pm feldespato potásico \pm cuarzo \pm magnetita \pm anhidrita \pm sulfuros (Abarzúa, 2014). La mineralización en esta alteración se presenta de forma diseminada y en *stockwork*. También alberga parte de las brechas con mineralización del Complejo de Brechas Río Blanco. La temporalidad y relación espacial que existe entre la alteración potásica, la matriz de las brechas y la mineralización sugiere un vínculo entre estos elementos. Análisis con isótopos indican que los fluidos responsables de la formación de brechas, alteración potásica y su mineralización asociada son de origen magmático (Serrano et al., 1996).

Contreras (2003), a partir de un estudio de sondajes profundos, reconoce al menos tres asociaciones minerales dentro de la alteración potásica:

Biotita-magnetita: Se caracteriza por el reemplazo de minerales máficos primarios por biotita secundaria. Además, presenta la ocurrencia de magnetita, cuarzo, anhidrita y en menor cantidad clorita. La mineralización es diseminada y se compone de pirita, calcopirita y bornita. En el caso de las brechas, la mineralización ocurre principalmente en la matriz y en menor cantidad diseminados en los clastos.

Biotita-feldespato K: Se caracteriza por la ocurrencia de biotita secundaria – feldespato potásico – cuarzo – clorita – sulfuros. Se presenta como núcleos de alteración en la roca de caja y como contactos transicionales en las brechas hidrotermales. La mineralización ocurre en vetillas tipo A y en la matriz de las brechas; se compone de pirita, calcopirita, bornita y molibdenita.

Cuarzo-feldespato K: Se describe como una alteración penetrativa con intensidades que varían de moderada a fuerte. Se caracteriza por el crecimiento entre cristales de cuarzo y plagioclasa original. Se observan bandas de cuarzo – feldespato K y vetillas con halo de igual mineralogía. La mineralización se compone principalmente de pirita y calcopirita.

3.4.2. Alteración Fílica

La alteración fílica se dispone espacialmente con las unidades intrusivas cuarzomonzonita (QM) y pórfido cuarzomonzodiorita (PQMD) pertenecientes al Batolito San Francisco. Se observa una coexistencia espacial de la zona de alteración fílica con la zona de alteración potásica y un control relacionado con los bordes del Complejo de Brechas Los Bronces, donde la alteración fílica se sobrepone a la previa alteración potásica y mineralización preexistente (Abarzúa, 2014).

Los pórfidos tardíos se encuentran variablemente sericitificados y silicificados, siendo cortados por vetillas de cuarzo \pm sericita \pm anhidrita \pm sulfuros y vetillas finas de feldespato potásico, sin biotita y débilmente mineralizadas. La alteración fílica también ocurre en la roca de caja a lo largo de los contactos con estos pórfidos tardíos. Por otro lado, la mineralización de Cu-Mo de los pórfidos tardíos se interpreta como una re-movilización de la mineralización previa, constituida por pirita y calcopirita, en menor cantidad bornita, molibdenita, galena, tennantita, tetraedrita, luzonita, enargita, baritina, calcita y alunita. Estos minerales están generalmente en vetillas de cuarzo-sericita (Abarzúa, 2014).

La alteración sericítica de los bordes de los clastos de las brechas y los halos sericíticos alrededor de las vetas tardías de cuarzo-pirita, son ambas atribuidas al mismo fluido magmático que generó los cuerpos de brecha (Abarzúa, 2014).

3.4.3. Alteración Propilítica

La alteración propilítica se acota en la zona superior del yacimiento Río Blanco en forma de parches alrededor de la alteración potásica y decrece gradualmente en las zonas más profundas. Su asociación mineral se compone por clorita, epidota, calcita, especularita, pirita y siderita (Serrano et al., 1996).

En el sector de Los Bronces, la zona norte y oriente de la Brecha Donoso (BXD) y los de la zona norte y occidental de la Brecha Occidente (BXO) están débil a moderadamente alterados a asociaciones propilíticas (Warnaars et al., 1985). Su mineralogía se caracteriza por biotita magmática, hornblenda y/o clorita deutérica transformados a epidota, turmalina, especularita y/o clorita; la magnetita se observa en su mayoría estable, mientras que las plagioclasas están ligeramente alteradas a sericita y el feldespato potásico se encuentra, en gran parte, inalterado. (Warnaars et al., 1985). Una característica única del sistema en Los Bronces es el reemplazo de los minerales máficos, así como de la clorita secundaria, por especularita y/o turmalina, dentro de esta zona de alteración (Warnaars et al., 1985).

3.5. Clasificación de Vetillas del sector Los Bronces

La clasificación actual de vetillas de la mina Los Bronces fue redactada por Holmgren & Núñez (2011). Dicha clasificación se basa en la clasificación realizada por Gustafson & Hunt 1975 quienes definen la mineralogía, aspectos texturales y relaciones de temporalidad en el yacimiento El Salvador. Posteriormente Gustafson & Quiroga 1995 proponen una secuencia paragenética a partir de sondajes profundos, también en el yacimiento El Salvador, agregando las vetillas de tipo “EB” (*Early Biotite*) y “C”.

3.5.1. Vetillas Tempranas

3.5.1.1. Vetillas M

Se presentan con bordes irregulares con espesores variables pero que en general no superan 1 mm. Se compone principalmente de magnetita y de manera subordinada, muy ausente, anhidrita y cuarzo. No presentan halo. La interpretación es que su formación se produce en un ambiente frágil-dúctil. Dichas vetillas se restringen a las zonas con alteración potásica, la cual se asocia a zonas profundas de alta temperatura.

3.5.1.2. Vetillas EB

Se reconocen en zonas profundas normalmente formando enrejados tipo *stockwork*. Sus bordes son irregulares y se presentan de forma continua. Los minerales de ganga en el relleno se componen principalmente de cuarzo como mineral dominante, anhidrita, albita, feldespato potásico, magnetita y biotita. Los minerales de mena se componen, en orden de predominancia, de calcopirita, pirita y bornita, esta última casi ausente. Presenta un halo continuo y en general de poco espesor, proporcional al ancho de la vetilla. En el halo se observa biotita, magnetita en menor concentración y sericita gris-verde subordinada; la mena se compone de calcopirita y pirita en menor concentración. Dichos minerales presentes en el halo ocurren de forma diseminada.

3.5.1.3. Vetillas A

Se presentan de forma continua con bordes regulares a irregulares, sin halo, o bien, muy delgado y discontinuo. Su espesor es variable, en promedio de entre 2 a 3 mm con máximos de hasta 10 mm. Los minerales de ganga en el relleno se componen de cuarzo y anhidrita en menor proporción. De forma subordinada también presenta feldespato potásico y albita. Los minerales de mena se componen de calcopirita y pirita en menor concentración. De forma subordinada se observa bornita y molibdenita. El halo es posible identificar feldespato potásico, albita y en menor medida cuarzo. Estas vetillas ocurren en zonas profundas asociado a los dominios de alteración

potásica, sin embargo, también es posible observarlas en menor cantidad a los dominios de alteración calco-sódica.

3.5.1.4. Vetillas B

Se presentan de forma continua, con bordes regulares bien definidos. Su espesor es variable, desde 5 mm hasta 15 mm y no presenta halo. El relleno, los minerales de ganga corresponden a cuarzo y anhidrita, de forma subordinada, feldespatos potásico y albita. Los minerales de mena son principalmente molibdenita y calcopirita, sin embargo, también se reconoce pirita y bornita muy escasa o ausente. Cabe destacar que este tipo de vetillas se pueden subdividir en tres tipos de acuerdo con la ocurrencia de la molibdenita: (1) La molibdenita se presenta en los bordes en contacto con la roca de caja y de manera discontinua. (2) La molibdenita se presenta en la sutura central del relleno. (3) La molibdenita rellena de forma masiva casi la totalidad de la vetilla con cuarzo subordinado o ausente. Se reconocen en zonas profundas y se asocian a alteración potásica, sin embargo, también se observan en zona de alteración calco-sódica.

3.5.2. Vetillas Transicionales

3.5.2.1. Vetillas C

Se presentan de forma continua y sinusoidal, con bordes irregulares, espesor relativamente constante y halo simétrico. Su espesor promedio varía entre los 2 a 3 mm. Los minerales de ganga en el relleno corresponden a cuarzo, biotita y magnetita; de forma subordinada anhidrita. Los minerales de mena son calcopirita y pirita subordinada; en ocasiones, es posible observar bornita como trazas. El halo es continuo y difuso, agradacional a medida que se aleja del borde del relleno. Los minerales de ganga en el halo corresponden a cuarzo, sericita gris verde, feldespatos potásico y albita, ésta última de manera menos frecuente. Los minerales de mena son calcopirita, pirita y muy escasa bornita. Cabe destacar que todos los minerales en el halo ocurren de forma diseminada.

Este tipo de vetilla se observa comúnmente en zonas intermedias a profundas, donde prevalece la alteración potásica y alteración fílica.

3.5.2.2. Vetillas C1

Se presentan de forma continua con bordes regulares bien definidos. Su espesor promedio es de 2 mm, sin embargo, algunas de ellas pueden alcanzar hasta los 3 cm de espesor. Los minerales de ganga que la componen son cuarzo y anhidrita subordinada. También se puede observar feldespatos potásico, albita, epidota y clorita de forma ocasional. Los minerales de mena

corresponden a calcopirita y pirita. También es posible observar bornita y molibdenita de forma ocasional.

El halo es restringido y a veces difuso. Los minerales de ganga que lo componen son feldespato potásico, albita y cuarzo con escasa sericita gris verde. También es posible reconocer biotita y clorita. Los minerales de mena corresponden a calcopirita, pirita y bornita subordinada. Todos los minerales en el halo ocurren de forma diseminada.

3.5.2.3. Vetillas C2

Corresponden a vetillas continuas con bordes regulares bien definidos y halo simétrico. Su espesor promedio varía entre 2 y 4 mm, sin embargo, pueden alcanzar hasta los 5 cm. Los minerales de ganga son cuarzo como mineral principal y anhidrita subordinada. Los minerales de mena son calcopirita, pirita, molibdenita y bornita, estas dos últimas, última muy escasas. Por otro lado, el halo, los minerales de ganga que la componen son sericita gris verde con biotita y magnetita subordinadas. En casos especiales también se ha reconocido clorita. Los minerales de mena en el halo son calcopirita y pirita subordinada. La calcopirita es el mineral característico en este tipo de vetillas y es dominante por sobre la pirita. No obstante, en zonas de transición entre alteración potásica a fílica, hacia la alteración fílica, la pirita predomina por sobre la calcopirita.

3.5.2.4. Vetillas C3A

Corresponden a vetillas continuas de bordes irregulares y espesores variables en promedio de 2 a 3 mm. Los minerales de ganga corresponden a turmalina y de manera subordinada cuarzo; también es posible observar anhidrita, biotita y magnetita. Los minerales de mena son pirita y calcopirita en menor cantidad. El halo es simétrico, continuo y difuso hacia la roca de caja. Los minerales de ganga en el halo son feldespato potásico y albita, mientras que de manera subordinada cuarzo, clorita y epidota.

Los minerales de mena en el halo se observa pirita dominante y calcopirita, sin embargo, es posible encontrar sectores con calcopirita en mayor proporción a la pirita. En general la pirita y calcopirita no son muy abundantes.

Este tipo de vetillas se encuentran en general en zonas superficiales y de mediana profundidad, asociadas a la alteración propilítica, la cual es extensa y de mineralogía variada.

3.5.2.5. Vetillas C3B

Corresponden a vetillas discontinuas con bordes irregulares y de espesor variable; en general son muy finas, con espesor promedio menor a 1 mm. Los minerales de ganga en el relleno son cuarzo, clorita y epidota; de manera subordinada yeso y anhidrita. El halo, por otra parte, es fino, asimétrico, discontinuo y difuso. Los minerales de ganga en halo son de albita y cuarzo; de manera subordinada clorita y epidota. En general no contiene minerales de mena, sin embargo, se han observado en muy poca cantidad pirita y calcopirita tanto en el relleno como en el halo.

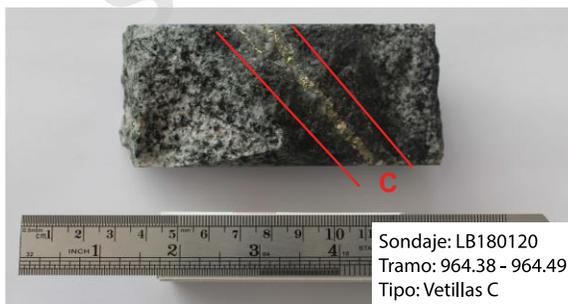
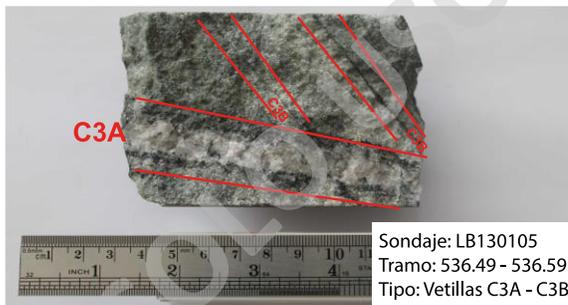
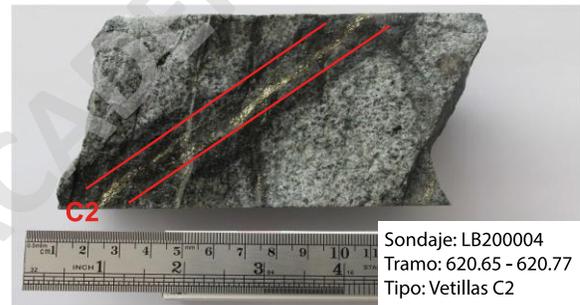
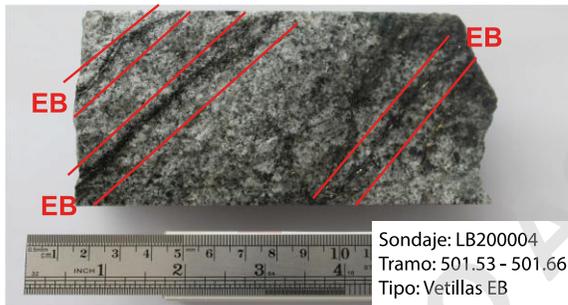
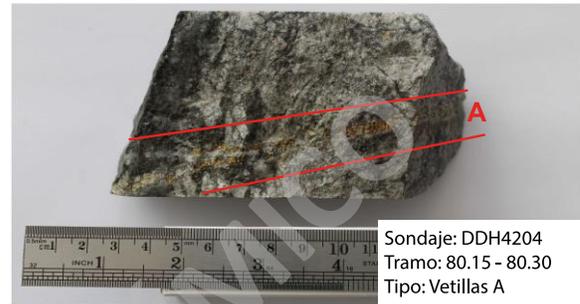
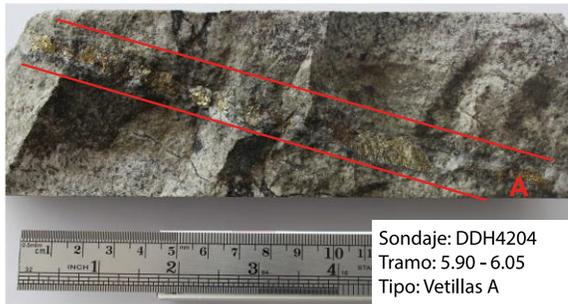
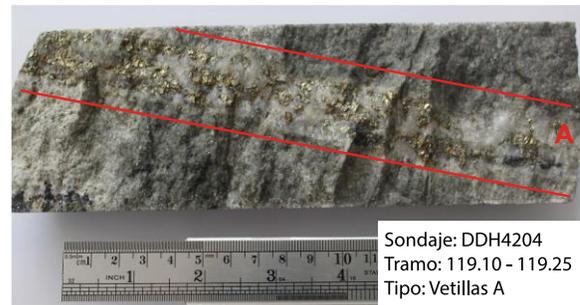
3.5.3. Vetillas Tardías

3.5.3.1. Vetillas D

Corresponden a vetillas continuas con bordes regulares bien definidos. Su espesor es variable desde 1 mm hasta 8 cm basado en observaciones. Los minerales de ganga en el relleno son cuarzo, anhidrita o yeso, este último de manera escasa. Los minerales de mena en el relleno son pirita dominante y de forma escasa y de manera subordinada calcopirita y molibdenita, esta última es ocasional. Cabe mencionar que, en vetillas de espesores mayores a 2 cm, algunas de ellas, su relleno no se encuentra del todo completo, presentando cavidades y minerales exponiendo su hábito. Por otra parte, el halo, es simétrico y pervasivo obliterando la roca de caja. Los minerales de ganga presentes en el halo son cuarzo, sericita y arcillas; también es posible observar biotita y clorita de manera escasa. Los minerales de mena en el halo son pirita como mineral dominantes y casi ausente calcopirita, ambos minerales ocurren diseminados. Estas vetillas tienden en agruparse en zonas de alteración cuarzo-sericita, sin embargo, es posible observarlas en zonas con alteración propilítica.

3.5.3.2. Vetillas DT

Conocidas también como “D Tardías”, son vetillas continuas con bordes regulares bien definidos. Su espesor promedio es de 3 mm aproximadamente, sin embargo, pueden alcanzar decenas de centímetros en lugares específicos. Los minerales de ganga en el relleno son cuarzo y especularita; como minerales accesorios, clorita, carbonatos de hierro y en menor cantidad yeso. Los minerales de mena en el relleno son pirita dominante y calcopirita, sin embargo, es frecuente encontrar calcopirita en altas concentraciones en zonas específicas. Por otro lado, su halo se caracteriza por ser pervasivo y destructivo. Los minerales de ganga en el halo son cuarzo y en menor cantidad clorita, sericita y arcillas. Los minerales de mena en el halo son calcopirita con concentraciones variables, en general bajas. Estas vetillas se concentran en zonas someras y se asocian a fluidos de bajas temperatura.



Fotografía 1: Fotografías de los diferentes tipos de vetillas del yacimiento Los Bronces.

CAPÍTULO 4: Metodología

La metodología se basa en un plan de dos etapas. La primera consiste en la captura, preparación y clasificación de datos de televiewer para crear una base de datos en *MineSight Torque*, usando *SQL Server* en un servidor local, el cual ofrece una rápida y fácil adquisición de datos definidos en un archivo de muestras (*ASSAY*) tanto de tramos, como también datos individuales puntuales. Dicha preparación incluye una exhaustiva revisión y control de calidad QA/QC.

La segunda etapa consiste en hacer un análisis estadístico, gráfico y visual de los datos en software 3D, el cual se lleva a cabo usando el programa *MineSight* de *Hexagon Mining*, *Dips* de *Rocscience* y *Excel* de *Microsoft Office*.

La selección de datos se limita a los pozos ubicados en las coordenadas Este 100.750 y 101.500 y Norte 98.800 y 99.800 correspondientes a la fase de Infiernillo 5, como zona de interés para la compañía.

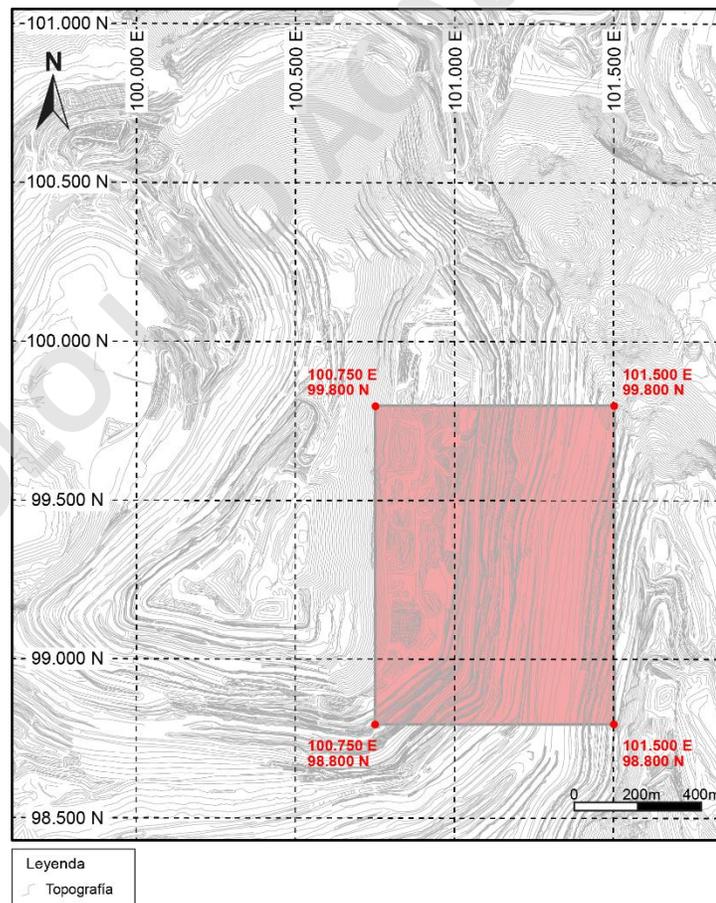


Figura 4.1: Zona de interés representada por el recuadro de color rojo. Topografía extraída de “Avance Diario” *MineSight* octubre 2021.

4.1. Instrumento de Medición

El televiewer o también conocido en inglés como "*borehole imager*", es un instrumento de medición, registro y procesamiento de datos que se utiliza para producir imágenes de alta resolución, a escala milimétrica de la pared de los pozos en 360°. Las aplicaciones que se le asignan son a la identificación de fracturas y otro tipo de estructuras como vetas, vetillas, fallas y cambios litológicos abruptos.

Existen al menos 3 subcategorías de televiewer en base a su funcionamiento; óptico, acústico y eléctricos, sin embargo, este último no se utiliza en Los Bronces.

Televiewer Óptico

Se utiliza en pozos secos descubiertos con paredes limpias (lavadas en seco o en agua) o con fluido que permita la visibilidad. El instrumento cuenta con un cabezal equipado con una cámara de alta resolución, el cual proporciona una imagen a color de la pared.

En general, éste registro se realiza primero, identificando el nivel de fluido si es que el pozo lo posee, por lo tanto, es común que su registro se acote a los tramos superiores de los pozos. La resolución es de 2 mm verticales y el registro se captura tanto en fotografías como en video. Como medida de control de calidad se realiza una repetición de la captura y se comparan ambas imágenes.

Televiewer Acústico

Se utiliza exclusivamente en pozos con fluido. El instrumento cuenta con un cabezal equipado con un sensor ultrasónico que opera a una frecuencia de entre 0,5 a 1,5 MHz. El sensor es un transductor (actúa como emisor y receptor al mismo tiempo) que emite ráfagas de pulsos de alta energía. Estos se propagan a través del fluido, sea agua o lodo de perforación y experimentan una reflexión parcial en la pared del pozo. El transductor recibe los pulsos reflejados y forman la base para reconstruir una imagen.

En general, éste registro se realiza seguido del televiewer óptico, desde el tramo donde comienza la aparición de fluido, hasta el tramo de interés. El registro tiene resolución es de 4 mm verticales y consiste de dos columnas. La primera, es la respuesta del tiempo de tránsito donde se muestran las zonas abiertas. La segunda, es la respuesta de la amplitud mostrando detalles finos como discontinuidades y posibles cambios litológicos. Como medida de control de calidad, al igual que el televiewer acústico, se realiza una repetición de la captura y se comparan ambas imágenes.

4.2. Equipo y Captura de Datos Mediante Mediciones con Televierwer

Para el control de calidad de los datos se usa la siguiente instrumentación en común:

- Huinche Eléctrico, fabricado por Comprabe.
- Giroscopio CHAMP GYRO SRO, fabricado por Axis Mining Technology.

Para la adquisición de imágenes se uno de los siguientes sets de equipos del mismo fabricante:

Set 1:

- Televierwer Acústico ABI 40, fabricado por ALT/Mount Sopris.
- Televierwer Óptico OBI 40, fabricado por ALT/Mount Sopris.
- Unidad de adquisición de superficie, BBOX, fabricado por ALT/Mount Sopris.

Set 2:

- Televierwer Acústico BHTV 42 fabricado por Electromind.
- Televierwer Óptico OPTV 52 fabricado por Electromind.
- Unidad de adquisición de superficie, Elogger, fabricado por Electromind.

La especificación técnica de cada instrumento puede ser consultada en el Anexo A.

El procedimiento consiste de tres mediciones, siendo la ultima la adquisición del registro con la sonda óptica o acústica según la condición del pozo.

4.2.1. Medición de la Longitud del Pozo

Este procedimiento consiste en medir la profundidad mediante un huinche eléctrico. El conjunto consiste en una herramienta que se suspende con un cable de 1000 metros accionado por un huinche. La profundidad se mide por medio de un codificador óptico ubicado sobre una polea de diámetro conocido. El cable del huinche pasa por la polea haciéndola girar mientras que el codificador traduce el movimiento a un contador digital. Dependiendo del movimiento de la herramienta que asciende o desciende, se construye un registro según su avance.

Como medida de control de calidad, se realiza una marca de forma manual con un flexómetro cada 20 metros y se enrollan 20 metros de cable. El dato se compara con el contador electrónico. En la práctica el error oscila entre los 0,02% a 0,05%.

4.2.2. Medición de Trayectoria

Este procedimiento consiste en medir la inclinación y azimut del pozo mediante el giroscopio CHAMP GYRO SRO. El equipo consiste en un giroscopio de fibra óptica tri-axial el cual mide el azimut con respecto al norte geográfico y acelerómetros que miden la inclinación absoluta. Cabe mencionar que el equipo no es susceptible al magnetismo.

La trayectoria se mide bajando la sonda y tomando datos de inclinación y azimut a lo largo del pozo. Como medida de control de calidad, se toman estaciones en intervalos de 10 metros en descenso y una repetición de 10 metros en ascenso. Luego se hace una tabla para comprar las diferencias.

Hay que considerar que, en pozos verticales, el dato de azimut no es de relevancia debido a que el plano de inclinación es casi 0° (subhorizontal), por lo cual, es de esperar que existan diferencias y un porcentaje de error. De todas formas, dicho error no es representativo.

Otro caso es que en pozos inclinados en dirección S-N, puede haber una diferencia que resulta en datos entre $359,9^\circ$ y 0° . Esto debido a la reconstrucción de la circunferencia. Es un error no representativo si se corrige sumando o restando 360° a conveniencia. En general el error promedio no sobrepasa el 2,00% de diferencias en el dato de azimut, por lo cual un valor exageradamente alto puede interpretarse en que se trata de un caso de dirección S-N.

El instrumento puede presentar pequeñas alteraciones en su inclinación según las irregularidades de las paredes, dependiendo si son pozos DDH (que suelen tener paredes lisas) o RC (que suelen tener paredes rugosas, sin embargo, dicha alteración en su inclinación es despreciable.

Para todo lo anterior las diferencias en el control de calidad tienen una tolerancia de $<0.50^\circ$ para la inclinación y $<2.00\%$ para el azimut. Si la trayectoria cumple con ese estándar, el dato se considera válido.

4.2.3. Adquisición de Registros de Televierwer

Para iniciar los registros la sonda se nivela con el collar del pozo. El dato "0" de profundidad se descuenta la sección que sobresale de la superficie, considerando el suelo como 0.00 m. Al terminar el registro cada sonda regresa al punto 0.00 m y se documenta el valor del contador. Posteriormente se compara la diferencia en el valor del metraje de entrada y salida.

En pozos verticales la imagen se orienta con respecto al norte magnético como punto de referencia debido a que independiente las rotaciones que el equipo realice, esta referencia no cambia. En pozos inclinados en cambio, la imagen se orienta con respecto al punto alto del pozo o también llamado “*highside*”.

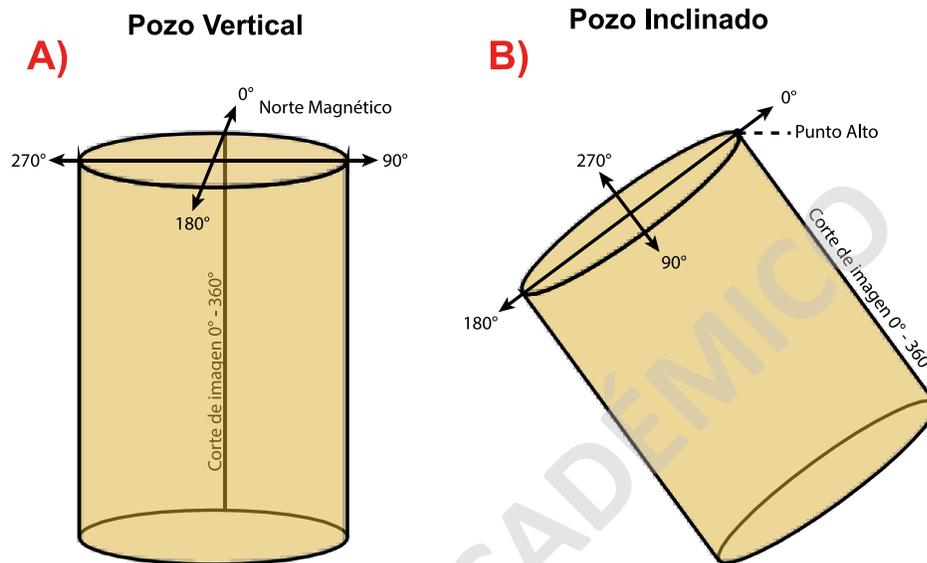


Figura 4.2: Representación esquemática del punto fijo para orientar las imágenes. A) Para pozos verticales. B) Para pozos inclinados.

Ambos instrumentos de televiwer, óptico y acústico, cuentan con centralizadores de PVC con diámetro ajustable de acuerdo al ancho del pozo. En general las capturas se realizan desde abajo hacia arriba con el objetivo de tener una velocidad constante con una tensión controlada.

4.2.4. Procesamiento de Datos

4.2.4.1. Alineación de Imágenes

Las imágenes obtenidas por el televiwer óptico y acústico son importadas al software “*WellCad*”, de “*Advanced Logic Technology*” donde se realiza una corrección para alinear las imágenes con respecto a los datos obtenidos de las mediciones de longitud del pozo (punto 4.2.1) y de trayectoria (punto 4.2.2).

La imagen se alinea tomando como referencia 0°. Para pozos verticales se usa el norte magnético, mientras que para pozos inclinados se usa el punto alto (Figura 4.2). Por último, la imagen se alinea y se hacen correcciones de tal forma que los bordes en una vista en 2D queden verticales (Figura 4.3).

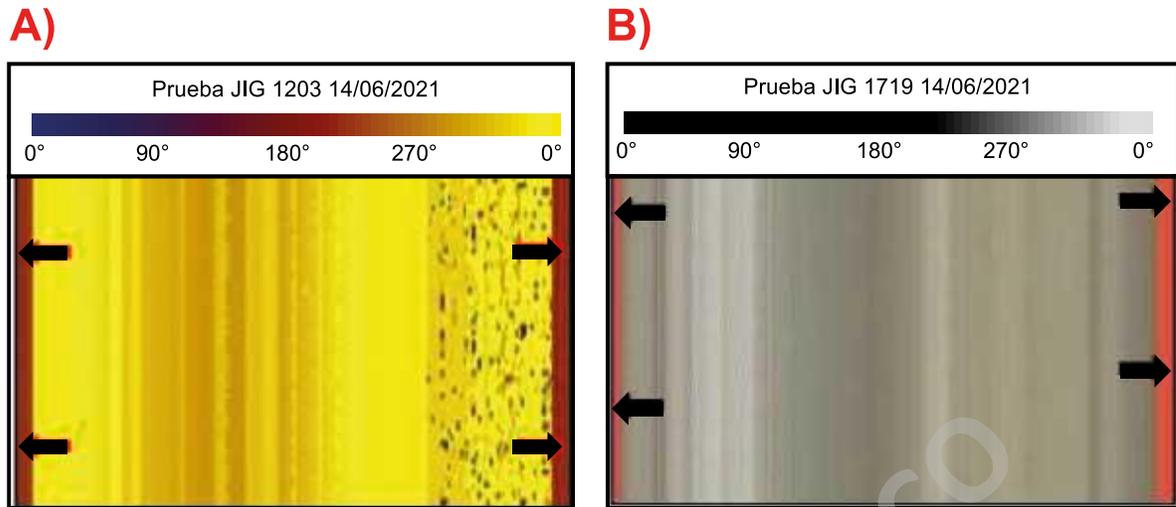


Figura 4.3: La imagen muestra un ejemplo real del pozo LB210040 donde la posición de la imagen se alinea con respecto al punto de referencia. A) Muestra la alineación del televiewer acústico. B) Muestra la alineación del televiewer óptico.

4.2.4.2. Identificación de Estructuras

La imagen alineada se procesa en el software *WellCad* y se mapean con una curva sinusoidal que mejor represente cada estructura y se clasifica como muestra la tabla 1, según su espesor y tipo denominado Rank.

Rank	Color	Estructuras	Espesor
1	Azul ●	No continuas	Menor a 10 mm
2	Verde ●	Continuas	Menor a 10 mm
3	Naranja ●	Continuas, finas o moderadamente gruesa, claramente visible	Entre 10 mm y 50 mm
4	Rojo ●	Continua, gruesa, claramente visible	Mayor a 50 mm
5	Celeste ●	Vetilla o vena	Sin límite
6	Fucsia ●	Estructuras / Zona de material blando respecto a la roca madre. Con o sin apertura	Sin límite
7	Morado ●	Cambio litológico	Sin límite

Tabla 1: Formato para clasificar las estructuras según su espesor y tipo. Extraído del informe de estructuras orientadas y mediciones de desviación de sondajes (Cote, 2021).

El mapeo de estructuras se realiza con el apoyo de imágenes en la plataforma *IMAGO* (Imágenes del testigo) y por el mapeo del sondaje hecho por el geólogo. Como medida de control de calidad, los mapeos se corroboran con una visita a terreno y se revisa el sondaje para comparar la imagen con el testigo.

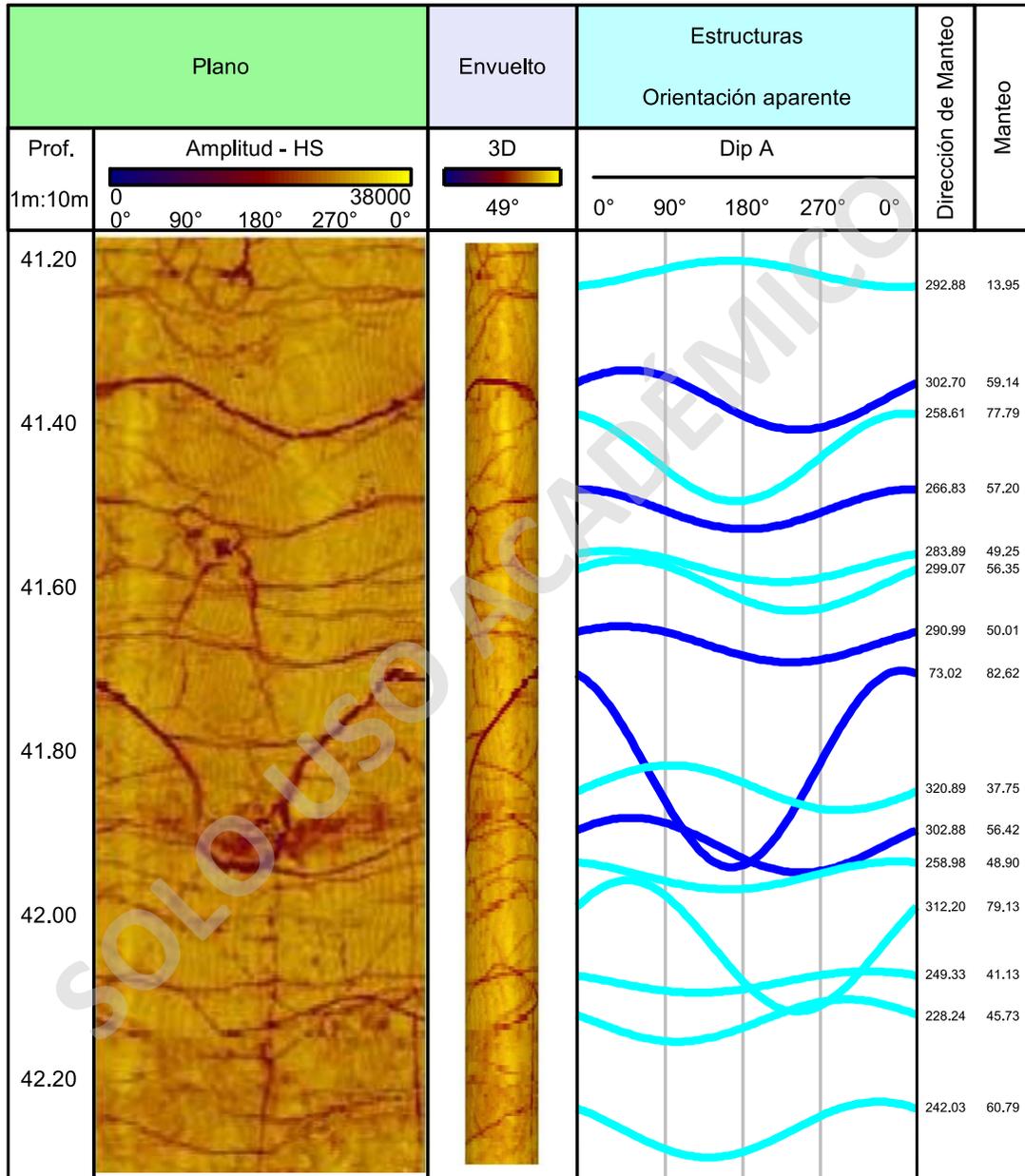


Figura 4.4: Mapeo del sondaje LB210040 del tramo 41.20 al 42.20 donde en color celeste se identifican vetillas y en azules las fracturas. El valor del *Dip/Dip Dir* en la imagen, es el post procesado, por lo cual indica la orientación real.

Cabe destacar los planos que representa la imagen no necesariamente son tangentes a los planos de cada estructura, por lo cual, las mediciones corresponden a las orientaciones aparentes.

4.2.4.3. Cálculo de Estructuras Reales a Partir de Aparentes

El software *WellCad* calcula el azimut usando el punto más bajo de la figura sinusoidal con respecto al inicio de la imagen comenzando de 0°. El ángulo de manteo se calcula empleando el arco tangente de la altura de la figura sinusoidal dividido por el diámetro del pozo. El resultado, se obtienen el azimut y dirección de manteo aparentes de las estructuras del pozo.

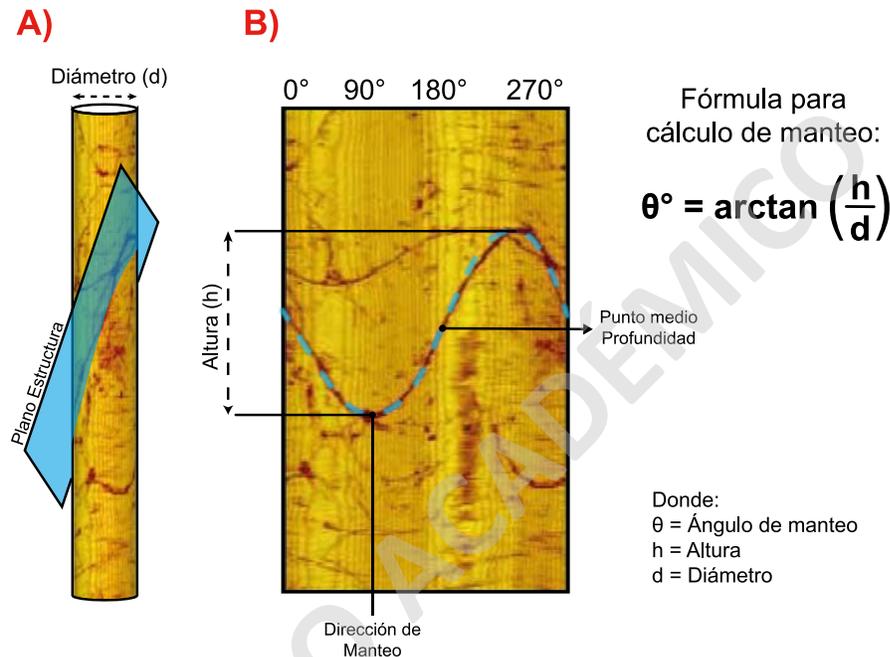


Figura 4.5: A) Representa el plano de la estructura con la imagen envuelta. B) Representa la figura sinusoidal que mejor representa la estructura con la imagen estirada. Ambas perspectivas tanto en 3D como 2D son de utilidad para comprender cómo se realiza el cálculo para determinar el azimut y el ángulo de manteo.

Para obtener las posiciones reales se deben rotar las estructuras desde sus posiciones aparentes respecto a una línea de referencia. Para lo anterior, el programa *WellCad* utiliza un algoritmo que calcula las posiciones reales basado en la corrección de núcleo orientado con el método “ $\alpha - \beta$ ”, el cual utiliza como variables: los resultados de las mediciones hechas por el giroscopio de la trayectoria del pozo (punto 4.2.2, aludiendo al dato de *SURVEY*), la referencia con respecto al punto alto (*highside*) y la caracterización planar de las estructuras aparentes.

Según Blenkinsop 2015 el método “ $\alpha - \beta$ ” se aplica para estructuras de tipo planares donde α se define como el ángulo entre una línea paralela a la longitud del núcleo y el plano aparente, mientras que β es el ángulo medido en sentido horario desde la línea de referencia al eje descendiente de la elipse formada por la estructura aparente (figura 4.6).

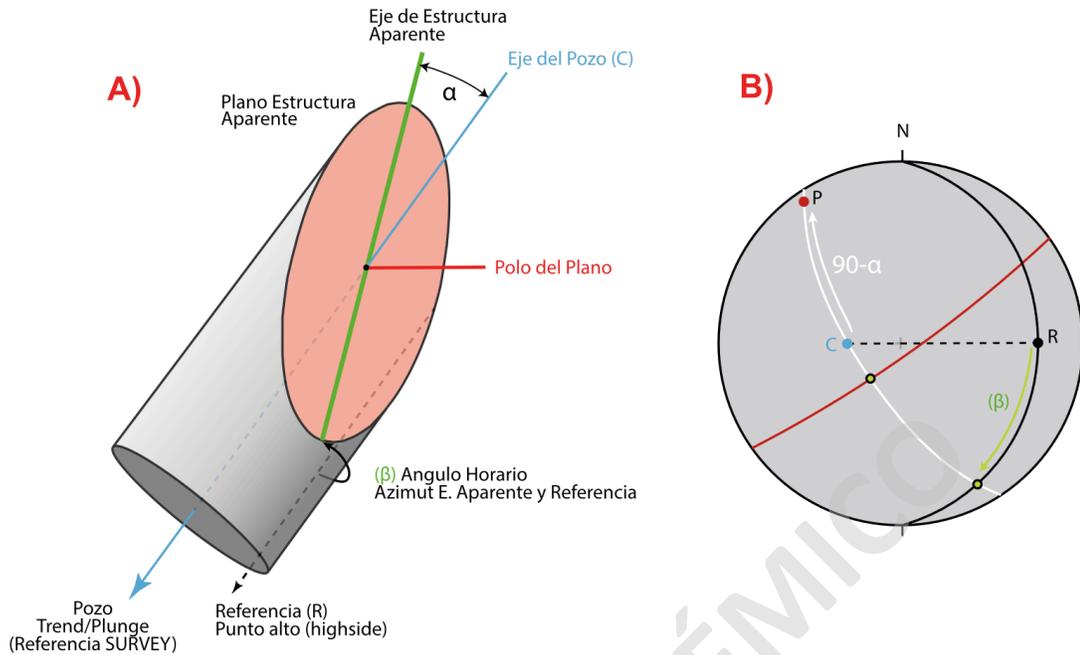


Figura 4.6: Ilustración del método “ $\alpha - \beta$ ” para medir la orientación de planos en pozos orientados. A) Representa un plano en 3D donde el ángulo α es el ángulo entre una línea paralela a la longitud del núcleo con el plano aparente y β es el ángulo medido en sentido horario desde la marca de referencia al eje descendiente de la elipse formada por la estructura aparente. B) Representa un gráfico estereoplot donde muestra la construcción para encontrar la orientación real del plano (Blenkinsop, 2015).

El procedimiento es descrito en detalle en el trabajo de Holcombe 2013. El método se resume en la figura 4.7 obteniendo como resultado las orientaciones reales de las estructuras.

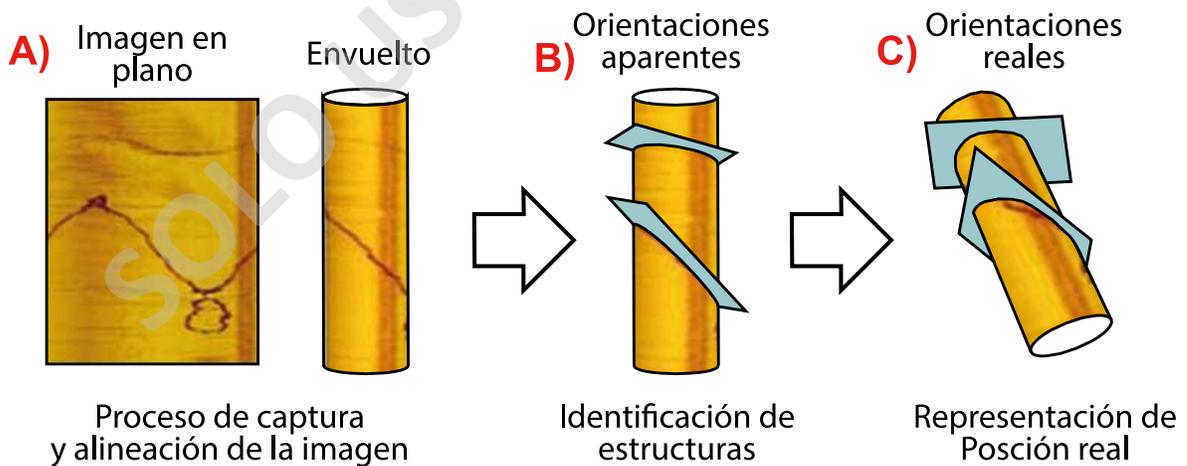


Figura 4.7: Resumen del proceso de captura, identificación y corrección de la orientación de estructuras. A) Representa la imagen capturada por el televiewer. B) Representa el mapeo de las estructuras con su orientación aparente. C) Representa la aplicación del algoritmo para obtener la orientación real de las estructuras.

4.2.5. Obtención de Índice de Dureza (RH)

El índice de dureza, conocido como “*relative hardness*” (RH), o también llamado impedancia acústica de la roca, es un registro adicional y característica propia que sólo el televiver acústico (ATV) puede obtener mediante la reflectividad de ondas de ultrasonido con la pared del pozo.

El registro se calcula con una resolución vertical de 4 mm en donde se realiza un promedio de datos de reflectividad en ese intervalo. El resultado es un índice de dureza relativo, denominado RH% (índice de dureza porcentual) el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RH\% = \frac{R - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \times 100$$

Donde: $RH\%$ = Índice de dureza, R = Registro de reflectividad de la sección, R_{min} = Registro de reflectividad mínimo del pozo, R_{max} = Registro de reflectividad máximo del pozo.

El valor se expresa como porcentaje, donde a modo de interpretación, 0% correspondería a zonas abiertas o a una roca blanda y 100% sería una roca dura y compacta, sin embargo, dichos extremos están acotados a los datos del pozo, por lo cual es un valor netamente referencial.

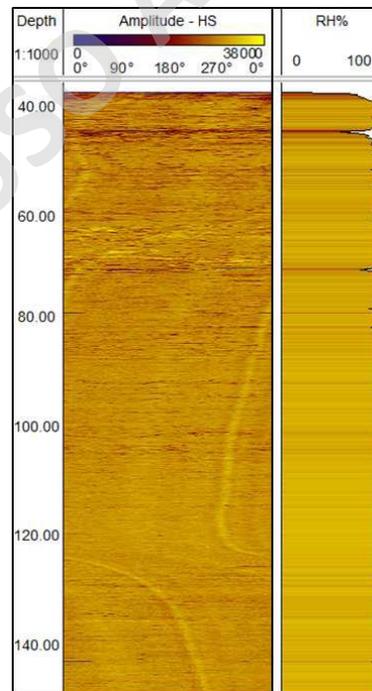


Figura 4.8: Representación gráfica del dato RH% en el tramo 40 – 140 del sondaje LB210040. En la imagen se puede observar diferencias en la impedancia acústica de la pared del pozo. Los valores de menor o nulo porcentaje se interpretan como discontinuidades abiertas o de roca de poca dureza.

4.3. Base de Datos y Procedimiento

Inicialmente los datos de televiewer se almacenan en planillas Excel individuales por cada pozo en una carpeta compartida empresarial. Dichos datos son importados de forma selectiva a la plataforma *Acquire*, por lo cual, al momento del primer análisis, dichos datos no se encontraban actualizados.

Lo primero fue desarrollar un macro en lenguaje *visual basics applications* (VBA) para poder convertir gran cantidad de archivos Excel en formato CSV con un delimitador a elección.

Por último y para hacer un manejo sistemático, se compilan todos los archivos CSV en uno solo usando la función de *Power Query* de Microsoft Excel. La función básicamente lee todos los archivos de un directorio y permite combinar datos de forma selectiva. La salida es una tabla compilada sin encabezados repetidos, la cual, se puede guardar en el formato de mejor conveniencia.

4.3.1. Confección de Base de Datos

Para este proyecto se usó “*MS Torque*”, el cual es un software desarrollado por *Hexagon Mining* y viene instalado por defecto con el software *MineSight*.

MS Torque tiene la particularidad de trabajar con bases de datos optimizadas para datos geológicos. Al crear un proyecto desde cero, las tablas vienen predefinidas por defecto y no se debe hacer configuraciones adicionales. En términos simples, los datos se importan desde formato CSV de forma directa. A modo de ejemplo, la clasificación de las estructuras reales con su respectivo azimut y dirección de manteo se tabulan en una tabla con el siguiente formato:

Pozo	Profundidad	Rank	Manteo	Dirección de manteo	Espesor en mm	Tipo de lectura	Norte	Este	Cota
LB210040	5,61	Rank 5	76,98	223,13	<4	OTV	99.368,293	100.874,199	3.438,340
LB210040	5,95	Rank 5	67,68	204,49	<4	OTV	99.368,302	100.874,368	3.438,046
LB210040	6,01	Rank 5	60,29	187,96	<4	OTV	99.368,303	100.874,398	3.437,994
LB210040	7,69	Rank 5	43,14	305,85	<4	OTV	99.368,348	100.875,238	3.436,539
LB210040	7,84	Rank 5	57,84	153,11	<4	OTV	99.368,352	100.875,313	3.436,409
LB210040	8,09	Rank 5	63,31	321,65	<4	OTV	99.368,359	100.875,438	3.436,193
LB210040	8,27	Rank 5	43,81	234,24	<4	OTV	99.368,363	100.875,528	3.436,037

Tabla 2: Ejemplo de la estructura de los datos obtenidos por el televiewer, la tabla es un fragmento de estructuras reales. La columna “Rank” indica el tipo de estructura (ver tabla 1). La columna “Tipo de Lectura” indica si la medición se realizó con televiewer óptico (OTV) o acústico (ATV). La columna de espesor fue modificada para su comprensión, sin embargo, el valor documentado a la fecha es de “0 mm”.

Para generar la base de datos se requirió información adicional que fue extraída desde la plataforma *Acquire*. Se extrajeron los archivos *COLLAR* y *SURVEY* para construir la trayectoria de los pozos. Adicionalmente se complementa con las tablas de muestras (*ASSAY*) que contienen datos de mapeo con el tipo y número de vetillas en tramos de 5 m; y las tablas de atributos geológicos (*ROCKTYPE*) que contienen datos de litología, alteración y zona mineral (redox).

Cabe destacar que los datos de televiewer, al tener coordenadas puntuales (coordenada norte, este y cota) y al mismo tiempo el dato de profundidad (corresponde a “*Depth TO*” y se puede homologar con la trayectoria *SURVEY*), se pueden trabajar tanto a lo largo del sondaje como también puntos en el espacio, siendo la primera más útil para efectos de compósitos.

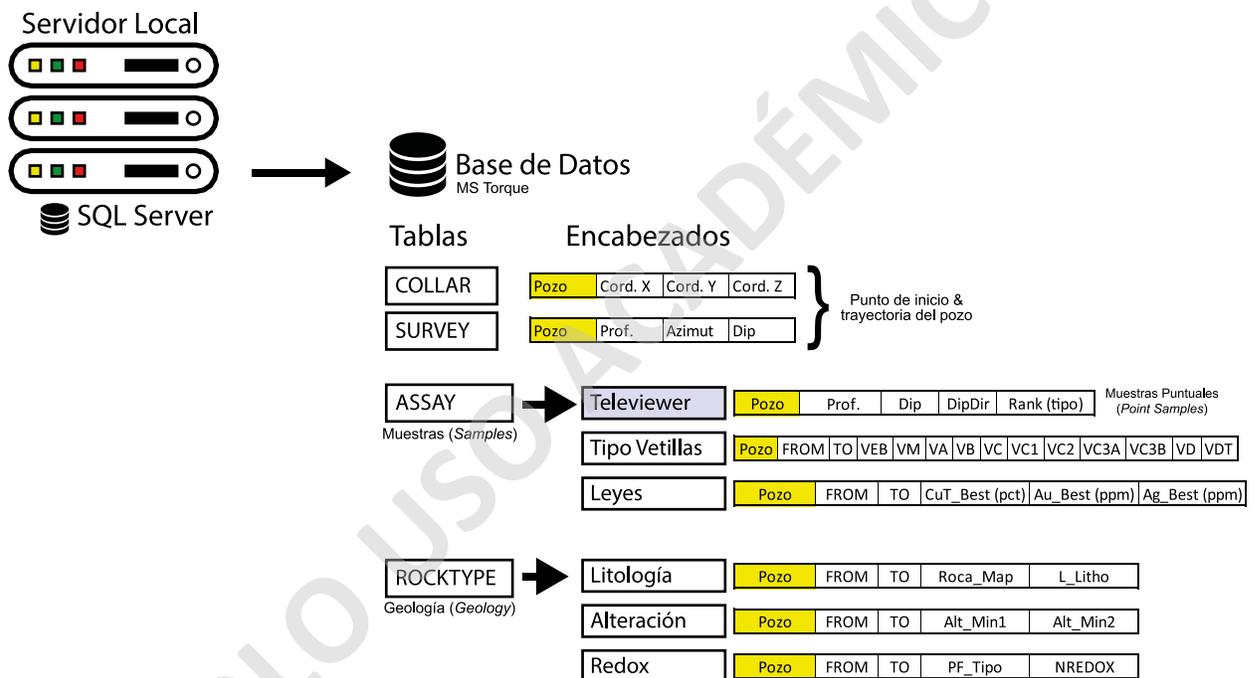


Figura 4.9: Estructura de la base de datos de televiewer en servidor local. Los datos se almacenan en una instancia en SQL Server, los cuales son usados por MS Torque para ordenarlos en diferentes tablas unidos por una columna en común. Por convención la columna clave (*key field*) es el nombre del pozo, destacado en amarillo.

Por último, los datos se agrupan en compósitos del ancho coincidente con el mapeo de números de vetillas con el objetivo de poder categorizar y filtrar los datos. La estructura de la base de datos compositada se resume en la figura 4.10. *MS Torque* categoriza los grupos como coberturas (*coverages*).

Encabezados

Tabla Única

Cobertura
Compósito (Coverage)

ASSAY
Muestras (Samples)

ROCKTYPE
Geología (Geology)

Televiever + Tipo Vetilla + Leyes + Litología + Alteración + Redox

Pozo	FROM	TO	Prof.	Dip	DipDir	...	VEB	VM	VA	VB	VC	VC1	VC2	VC3A	VC3B	VD	VDT	...	L_Litho	Alt_Min1	NREDOX		
	Tramo		Dirección Vetillas				N° de Tipo Vetillas ("A", "B", "C", "D", "EB", "M")																

Figura 4.10: Estructura de la tabla compositada por tramos de 5m y tipo de vetillas. La tabla consiste en la unión de todas las tablas ASSAY y ROCKTYPE, la cual agrupa los datos según la coincidencia de los tramos. La cobertura permite categorizar vetillas medidas por el televiever (definidas por Rank 5) y atribuirles a un dominio. La tabla se resume con los campos más relevantes.

La metodología se resume con el siguiente flujo de trabajo.

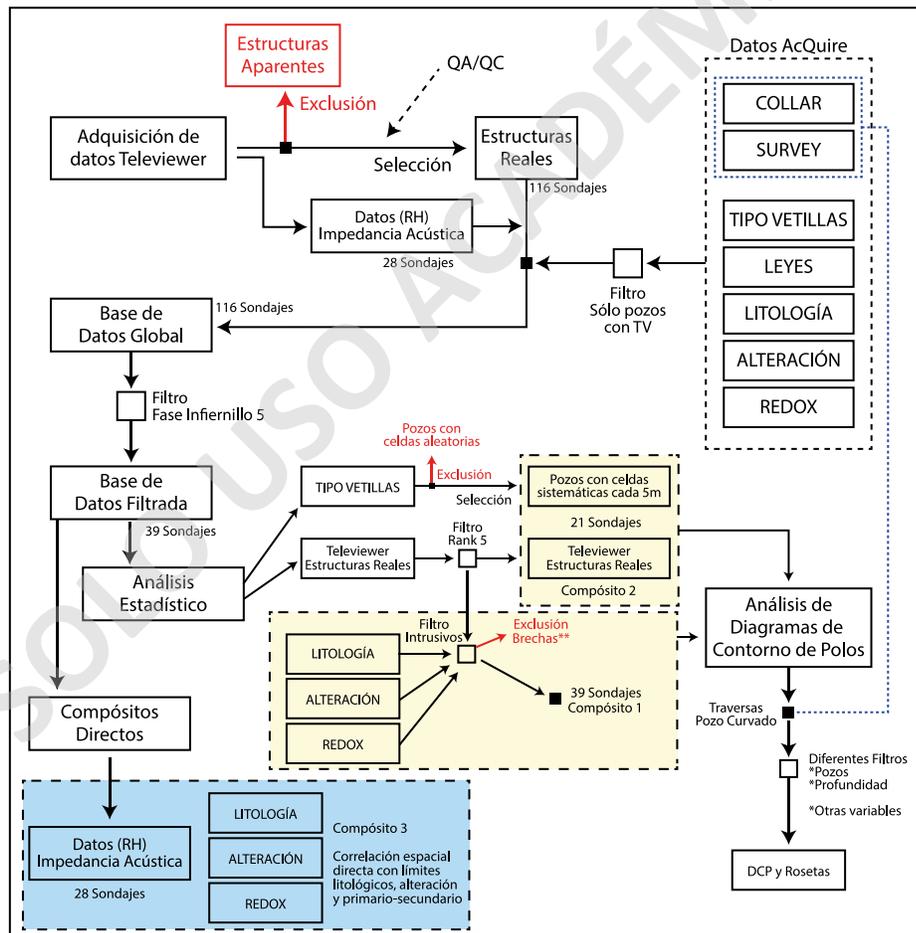


Figura 4.11: Esquema del flujo de trabajo para el análisis de datos. El flujo describe las etapas de selección de datos, confección de base de datos, filtros y exclusiones para los diferentes análisis. Compósito 1: corresponde al análisis hecho por la agrupación de tramos de rocas intrusivas, zonas de alteración (mineral dominante) y datos de ATV y OTV. Compósito 2: corresponde al análisis hecho por la agrupación de tipo de vetillas y datos de ATV y OTV. Compósito 3: corresponde a la correlación de RH% con litología, alteración y zona redox para validar límites.

CAPÍTULO 5: Análisis de Resultados

A modo general se realizaron tres análisis. El primer análisis es validar el origen de los datos, corroborando a adquisición y control de calidad de forma detallada. El segundo es un análisis estadístico aplicando diferentes filtros, con el objetivo de comprender la selección de datos de acuerdo al sector donde se acotan. El tercero consiste en correlacionar los resultados de forma espacial, con el objetivo de analizar una tendencia de vetillas a modo general y realizar interpretaciones.

5.1. Validación del Método

Con el objetivo de corroborar que la información obtenida por ATV y OTV sean válidas, se realizaron visitas a terreno donde se observaron 6 sondajes, los cuales tenían respaldados imágenes previas y mapeos geotécnico antes de ser cortados. Las imágenes de televiewer se compararon en terreno, de forma visual y directa con el testigo para ver si existen diferencias.

No existe una técnica que haya sido documentada bajo un procedimiento. El método se basa exclusivamente en la inspección visual, con la dificultad que representa el mapeo de numerosas estructuras a una escala milimétrica. La hipótesis concuerda con la correlación que existe entre la imagen de la pared del pozo con su contraparte, el testigo extraído, por lo cual es válido correlacionar los objetos que mantienen intacta su forma y geometría.

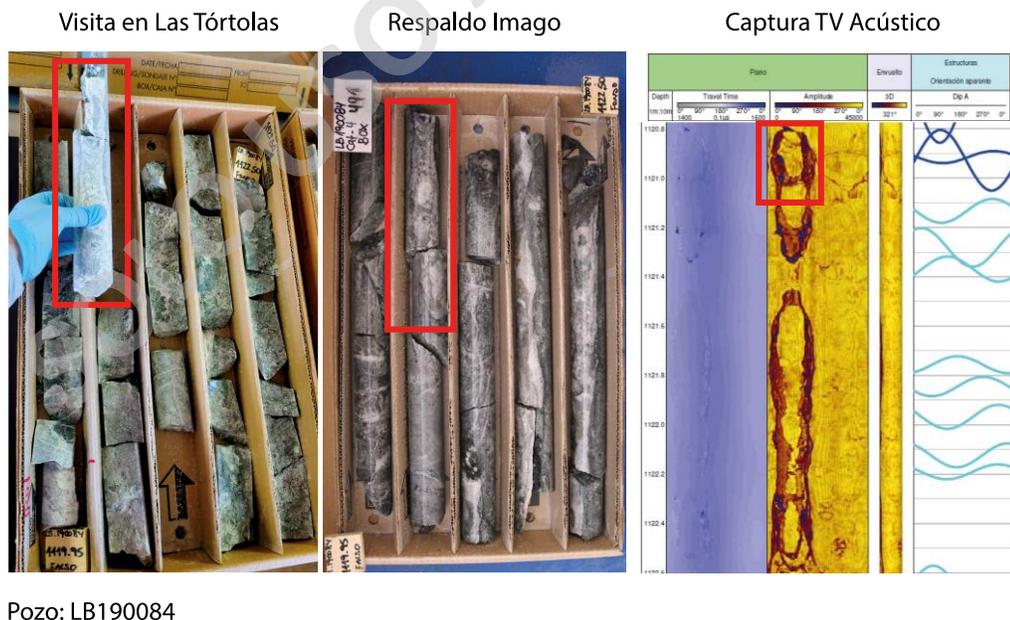
De acuerdo con el análisis comparativo en terreno, se establece a modo general que los datos obtenidos por televiewer tienen las siguientes observaciones:

- Existen diferencias evidentes en la resolución del mapeo para el reconocimiento de estructuras finas. El televiewer mapea vetillas incluso hasta menor a 1 mm de espesor, mientras que el criterio del geólogo es en promedio sobre 3 a 5 mm (subjetivo). En tramos de vetillas finas cada 5 metros, puede haber diferencias de hasta 30 estructuras adicionales mapeadas por el televiewer.
- Mayoritariamente las vetillas (Rank 5) suelen dominar en zonas profundas mientras que las discontinuidades finas (Rank 1) suele dominar en zonas someras. En zonas de brechas suelen estar tanto Rank 5 como Rank 1 presentes.
- Las estructuras rellenas de cuarzo, vetillas tipo D y DT son estructuras difíciles de levantar por si solas con el método de televiewer, debido a la naturaleza de tener espacios abiertos,

pueden ser confundidas por fracturas o diaclasas y se categorizan como Rank 1 o Rank 2 en lugar de Rank 5 o viceversa.

- Existe un problema en la adquisición del dato de espesor en estructuras finas mapeadas mediante el software *WellCad*. El problema se produce cuando la estructura tiene el ancho de 1 píxel en la imagen. El software, al ingresar una curva sin definir el espesor (dado que la línea cubre por completo la estructura), se ingresa con valor 0 mm. Por defecto el valor 0 mm corresponde resolución mínima, 4 mm o inferior para ATV y 2 mm o inferior para OTV.
- Los sondajes sometidos a cortes transversales sufren una pérdida considerable de su forma original, agregando fracturas inducidas y dificultando en mayor parte a la identificación de fracturas naturales y discontinuidades. Este problema se produce por la metodología de corte mediante el uso de prensa hidráulica, la cual fractura la roca tanto a lo ancho como a lo largo.

Basado en los sondajes observados en terreno y en contraste con las imágenes resultantes de los televiver acústicos y ópticos, los datos se consideran válidos en su mayoría, sin embargo, este proceso debe aplicarse a una mayor escala para cuantificar la validez y en un caso óptimo, mejorar la forma de adquisición de datos.



Fotografía 2: Correlación de imágenes del pozo LB190084 en el tramo 1120,0 – 1120,5. Demarcado con un cuadrado rojo se muestra una estructura de calcita como referencia, la cual coincide su geometría y el metraje de profundidad con su registro en ATV.

5.2. Detalle Estadístico

5.2.1. Base de Datos OTV y ATV

La base de datos corresponde a los levantamientos de televiewer desde el año 2017 hasta agosto del 2021 y contabilizan 116 sondeos con 209.087 entradas de estructuras en total, donde se incluyen de tipo Rank 1 a Rank 7. El listado de sondeos puede ser consultado en el Anexo B.

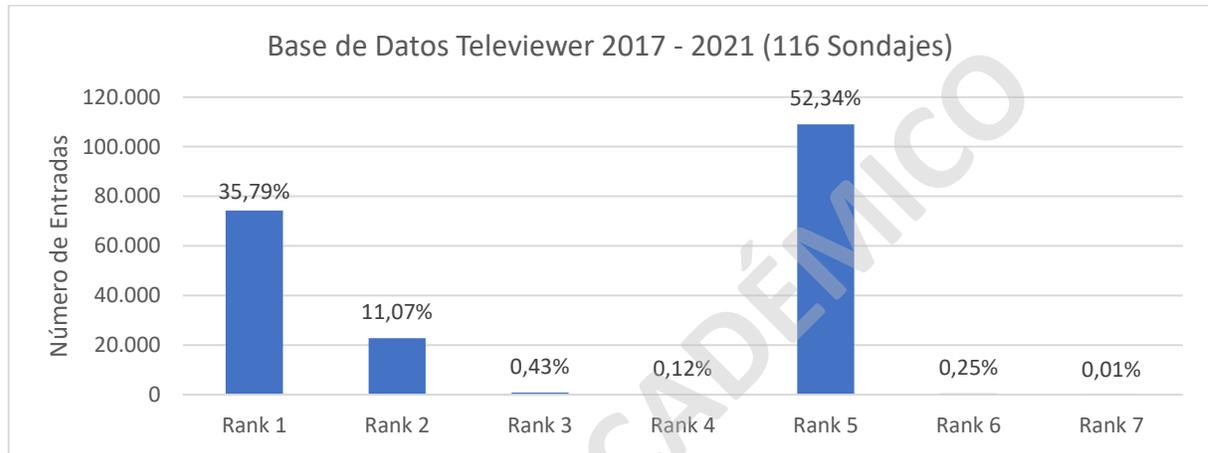


Gráfico 1: Resumen del número de estructuras clasificadas en la base de datos global.

La selección de datos de la fase de Infiernillo 5, se acotan a 39 sondeos con 86.027 entradas de estructuras en total, donde se incluyen de tipo Rank 1 a Rank 7. El filtro contabiliza 49.379 entradas de datos definidos como Rank 5.

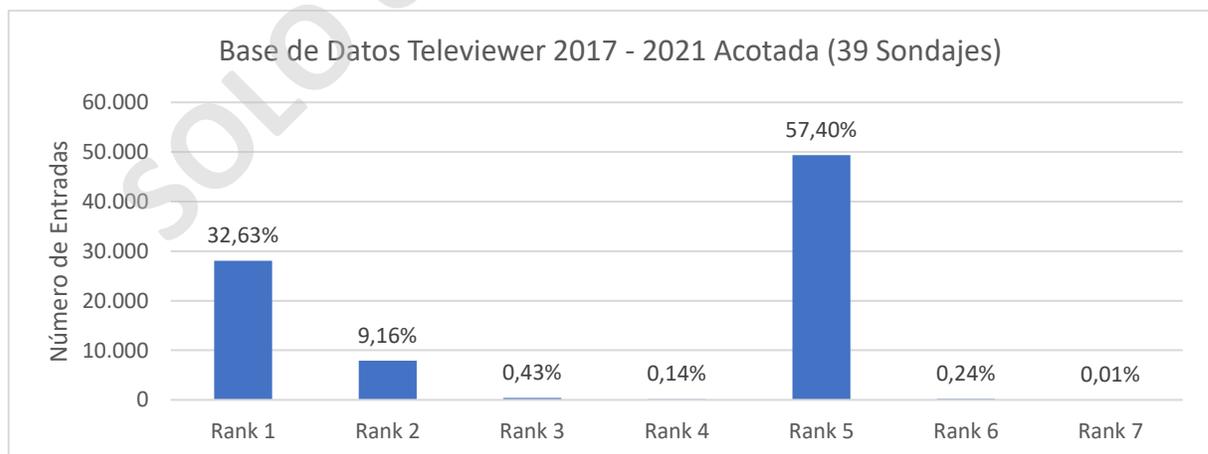


Gráfico 2: Resumen del número de estructuras clasificadas en la base de datos acotada a la fase Infiernillo 5.

5.2.2. Mapeo de Número de Tipo de Vetillas

El mapeo de sondajes incluye una tabla con el mapeo del número de vetillas categorizadas según su tipo por tramos cada 5 metros de forma sistemática y consecutiva. Sin embargo, desde el primer semestre del año 2020, el mapeo deja de usar tramos de un ancho fijo, en cambio, utiliza intervalos variables de entre 1 y 30 metros. Para efectos de cálculo estadístico se consideraron 21 sondajes mapeados con tramos de intervalos fijos cada 5 metros. El filtro utilizado puede ser consultado en el Anexo B.

Cabe destacar que el mapeo aplica para pozos categorizados por las campañas CAT4, INFILL y GEOTEC. Otras campañas con objetivos hidrogeológicos (P_AGUA) no se realiza dicho mapeo.

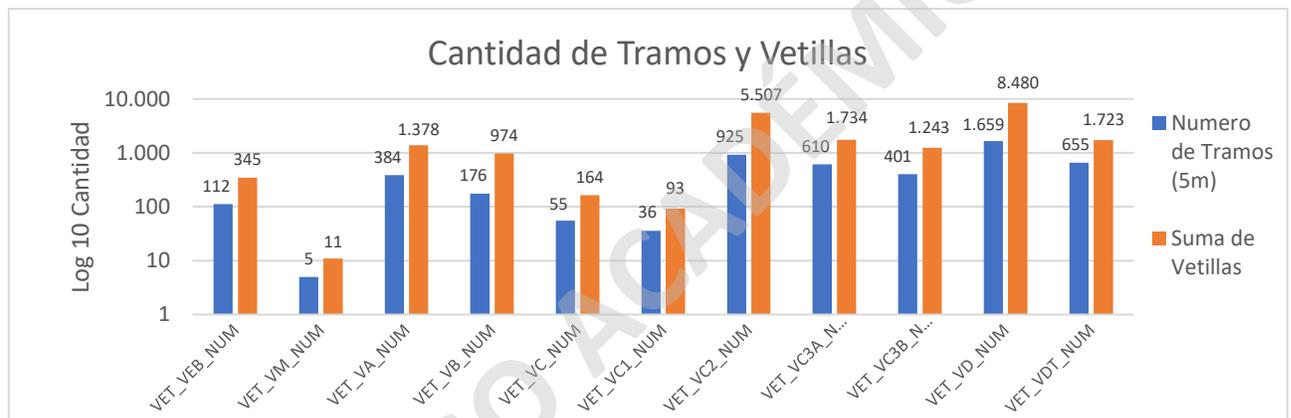


Gráfico 3: Histograma con el número de tramos y el número de vetillas clasificadas según su tipo. En el gráfico se observa que la cantidad de vetillas tipo EB, M, C y C1 presentan una baja cantidad de datos, por lo cual es difícil poder determinar tendencias a una escala local de esos tipos. En general el número de vetillas por tramo es similar lo cual indica que los datos se distribuyen de forma pareja, sin embargo, las de tipo C2 y D tenderían a estar más concentradas.

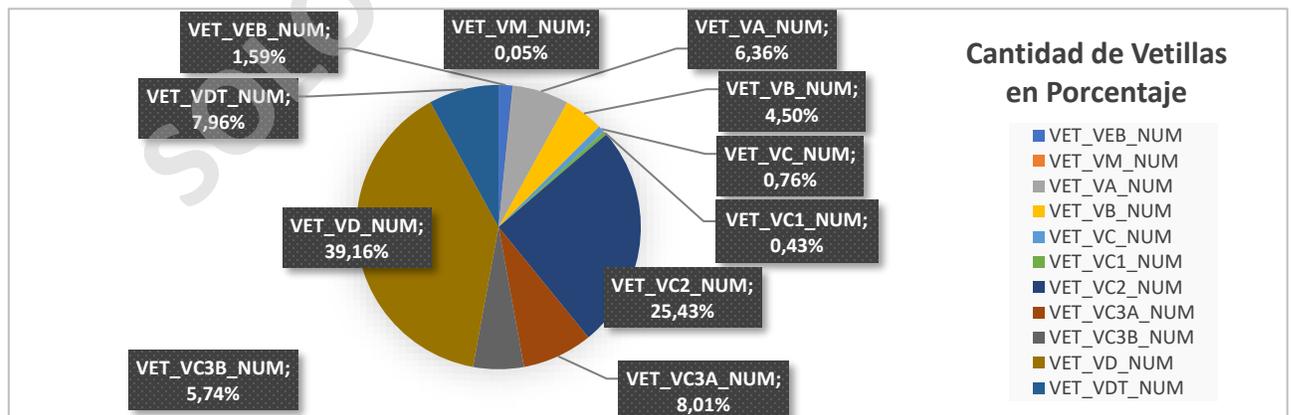


Gráfico 4: Gráfico porcentual donde se muestra la relación en la cantidad de vetillas según su tipo con la cantidad global. Se observa que las vetillas C2 y D son las más abundantes y constituyen un volumen considerable.

5.3. Análisis de Diagramas de Contorno de Polos (DCP)

Con el objetivo de identificar tendencias estructurales de vetillas, se desarrolló un análisis usando diagramas de contorno de polos (DCP) considerando diferentes filtros para acotar zonas de vetillas que puedan tener tendencias.

El estudio utiliza la información recopilada en la base de datos acotada e involucra información de mapeo de sondajes y levantamientos de ATV y OTV. Dentro de las consideraciones para el análisis, se trabajó solo con las estructuras con orientaciones reales.

La representación de densidad de polos utiliza el método de concentración de Schmidt usando 1% de tamaño del círculo de referencia. La corrección de Therzagui es una práctica estandarizada en Los Bronces para el estudio de datos estructurales, donde se definieron diferentes travesas para los diferentes dominios estructurales y zonas específicas, aplicables para correcciones de tipo planar. Para el caso de estudio, la corrección planar no es la adecuada debido a que los datos estructurales son extraídos de pozos en profundidad y no en superficie, por lo cual, se utilizó la corrección de pozo curvado (*borehole curved televiewer*), usando los datos de trayectoria SURVEY para definir una travesa específica para cada pozo y, de esa forma, realizar un ajuste mejor para la ponderación de datos. La ponderación de Terzaghi se define con un ángulo de sesgo mínimo de 15° (valor por defecto) como límite para evitar que el factor de ponderación sea un valor excesivamente grande.

5.3.1. Tendencia General de Vetillas en Zonas de Alteración

La distribución de datos se separa por zonas de alteración considerando el mineral de primer orden dominante. A modo empírico, en la mayoría de los tramos en estudio, es común que existan más de un tipo de vetillas, por lo cual los resultados son una tendencia general de las vetillas en dichas zonas. El análisis se restringe en rocas intrusivas y excluyendo las zonas de brechas debido a su complejidad para evitar considerar vetillas discontinuas o que pueden estar contenidas en clastos.

En base a lo anterior y considerando que el dato de televiewer no se especifica el tipo de vetilla y sólo se cataloga como "Rank 5", los DPC son una correlación espacial y estadística de al menos 3 variables: (1) el tramo en profundidad cada 100 metros, donde se acotan las estructuras, (2) el mapeo descrito por el geólogo en el tramo acotado y (3) el dato de estructuras medidas con TV en el tramo.

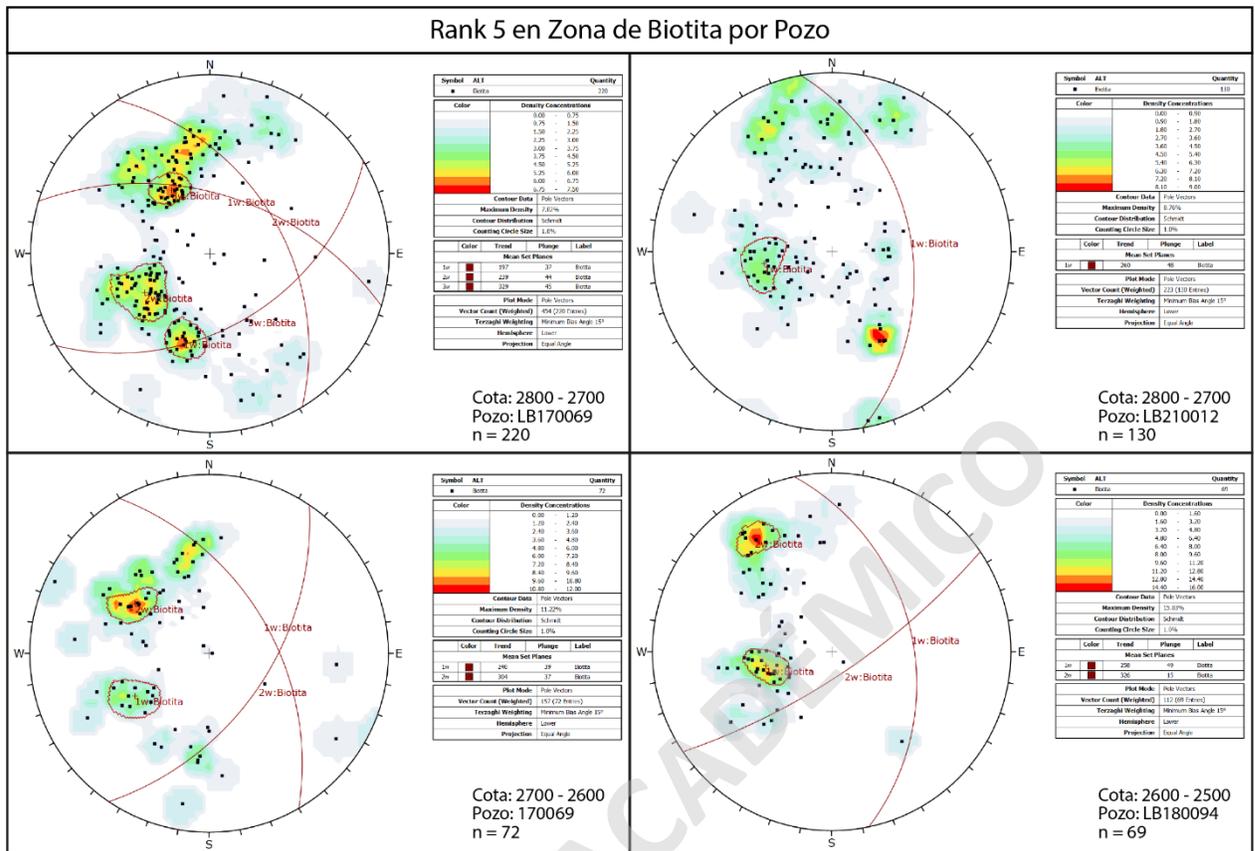


Figura 5.2: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de biotita como mineral dominante. La planta corresponde a las zonas más profundas con un comportamiento similar a las zonas intermedias en las cotas en torno a los 3.200 metros de profundidad.

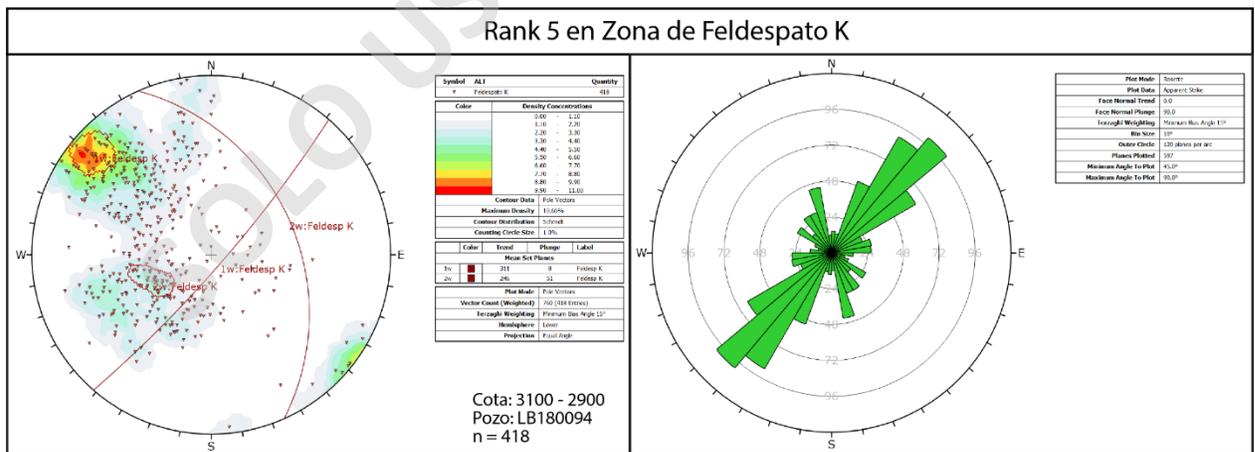


Figura 5.3: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de feldespato K como mineral dominante.

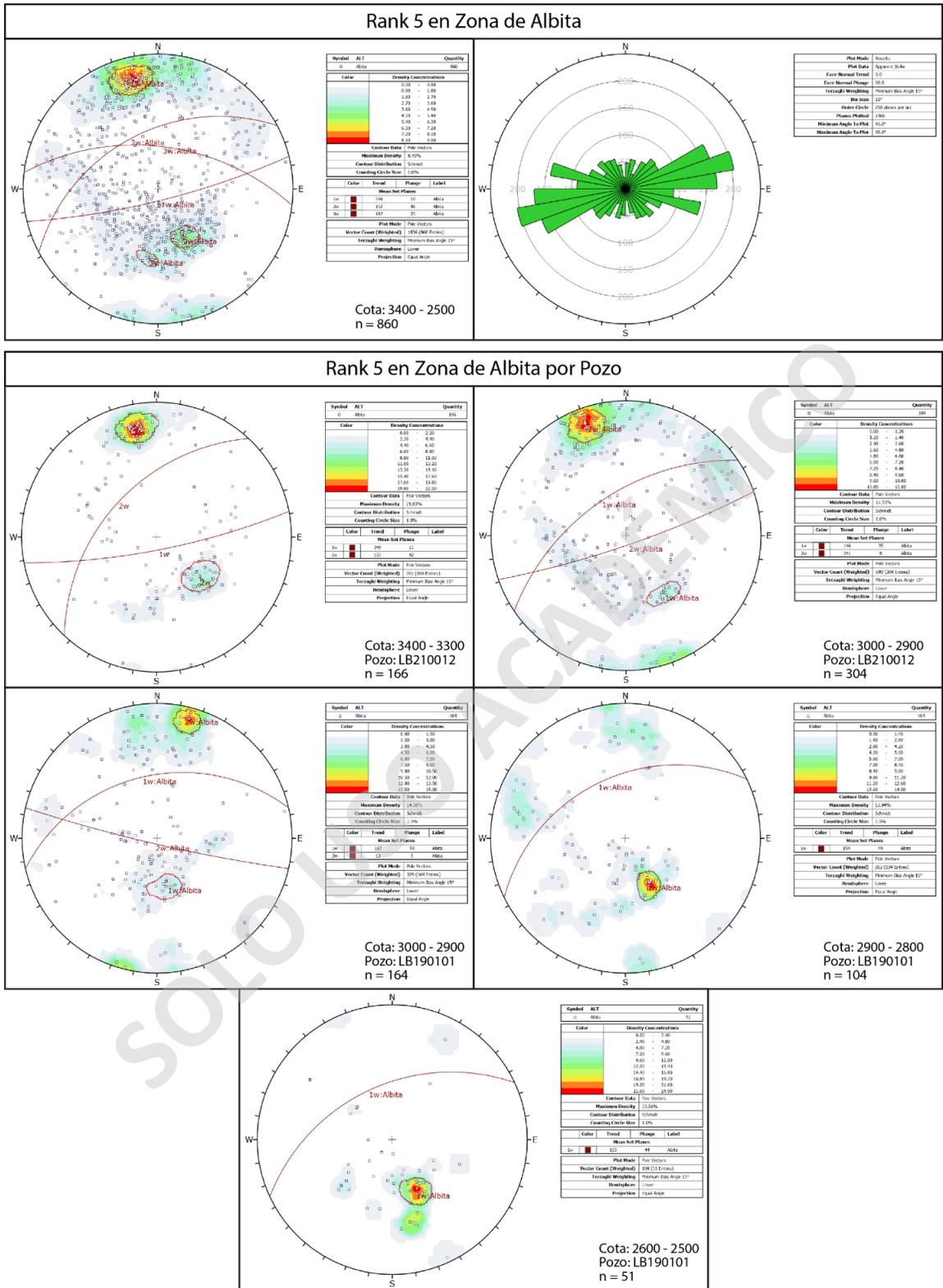


Figura 5.4: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de albita como mineral dominante. Los gráficos indican un grupo dominante de dirección N80°E y manto de 80° aproximado en dirección SE. Es posible observar otras tendencias subordinadas.

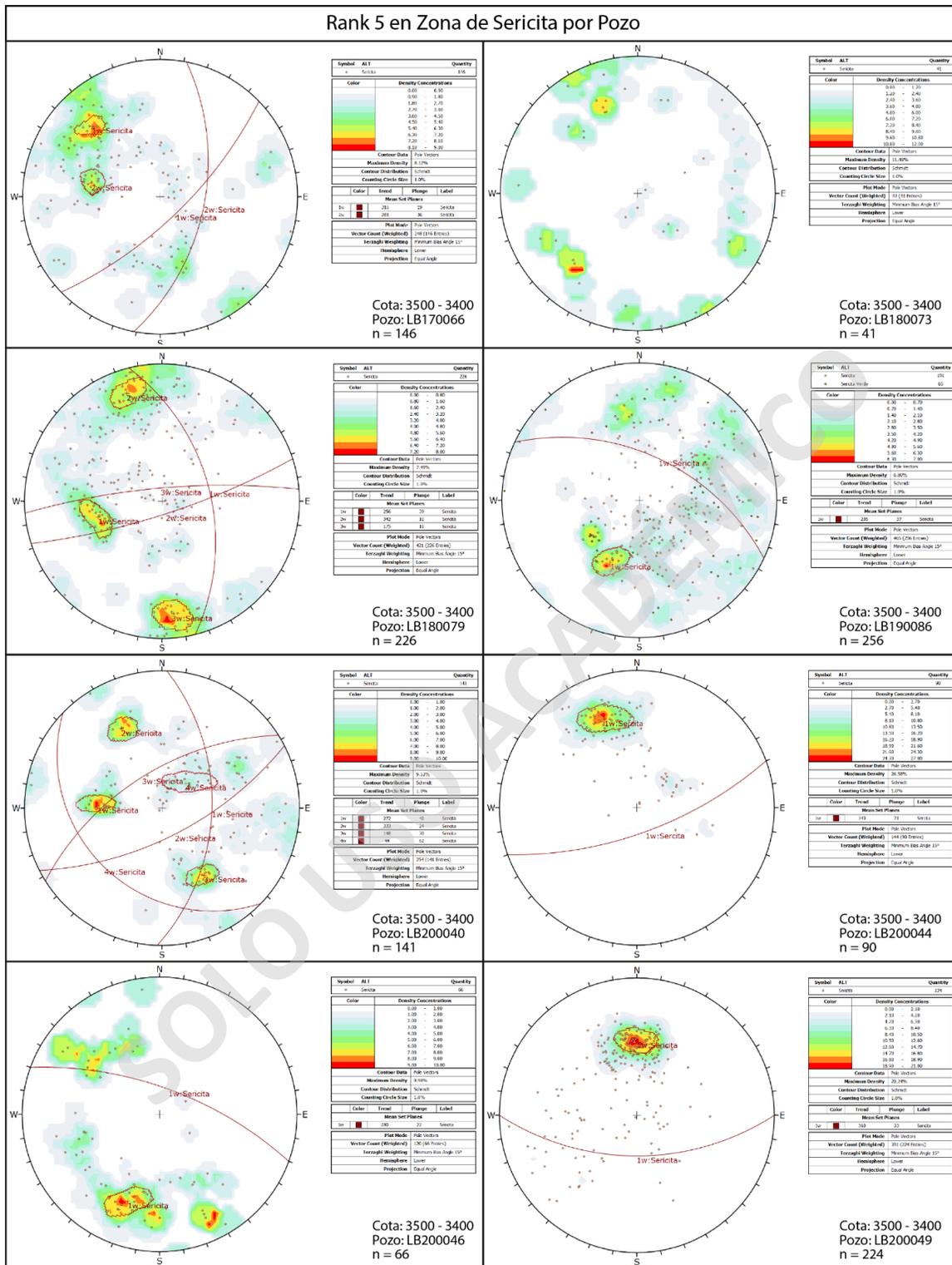


Figura 5.5: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de sericita como mineral dominante. Debido a la cuantiosa cantidad de datos no es posible determinar una tendencia general, sin embargo y de forma representativa, la cota 3.400 – 3.500 entrega agrupaciones de dirección en promedio E-W y N-S.

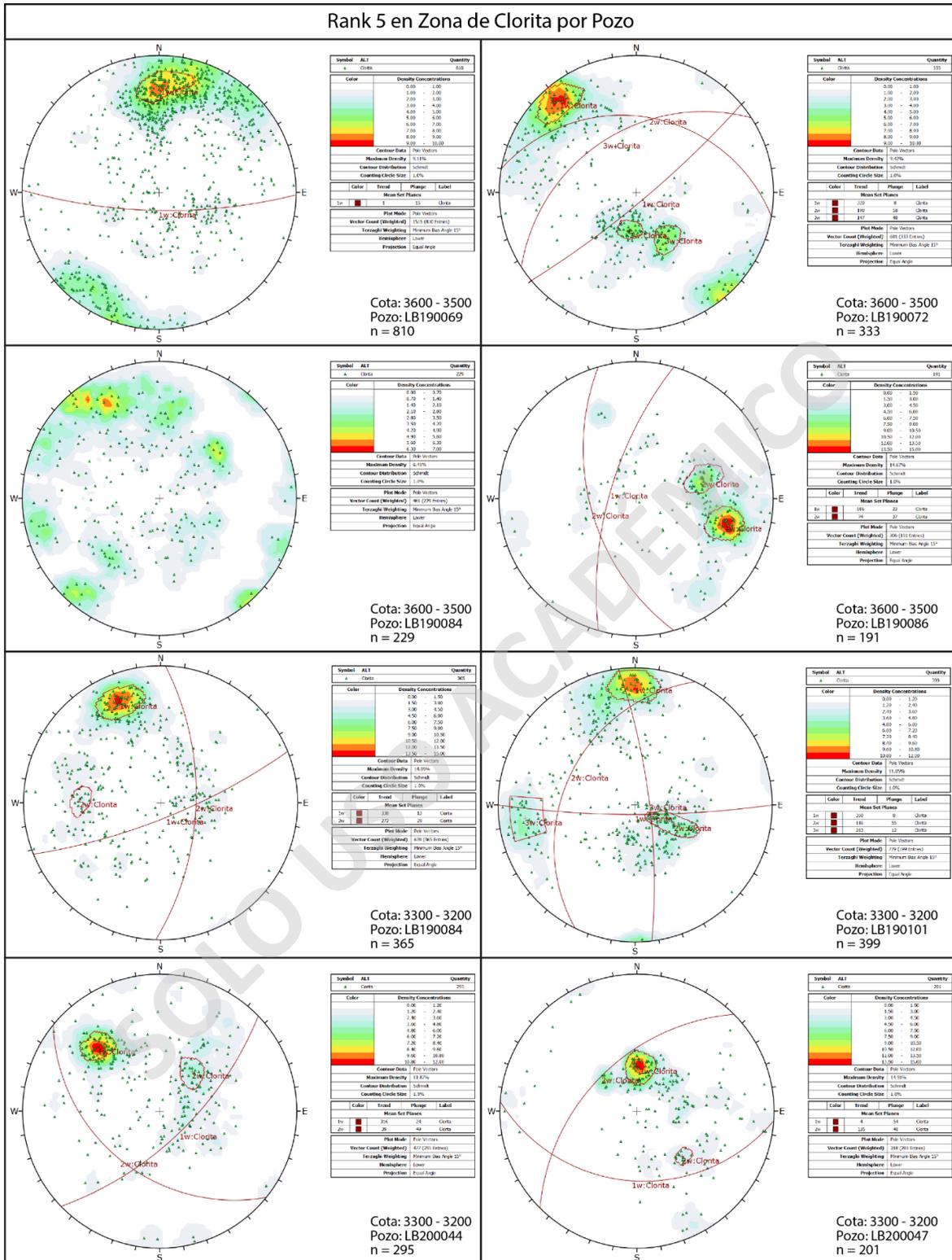


Figura 5.6: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de clorita como mineral dominante. Debido a la cuantiosa cantidad de datos no es posible determinar una tendencia general.

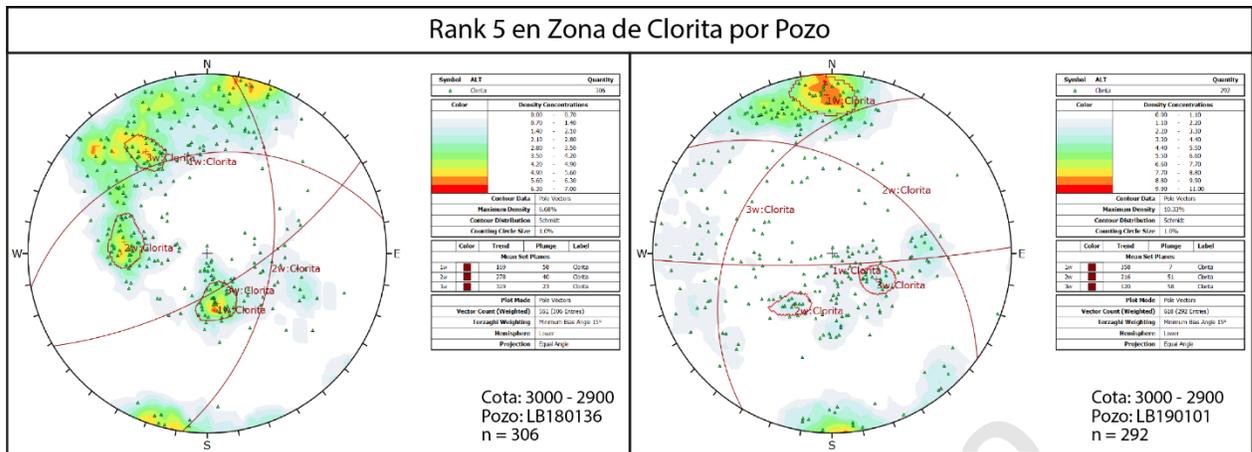


Figura 5.7: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en zonas de alteración de clorita como mineral dominante. La vista general indica al menos dos grupos importantes de dirección casi E-W y otra en dirección N-S, ambas casi sub-verticales. Es posible también identificar otros grupos de menor ponderación.

Los diagramas en las zonas de alteración con mineral dominante de biotita secundaria se identifican sets con un eje principal de dirección N50°E y manteo de 70° al SE, sin embargo, otros sets de menor ponderación tienen orientaciones N20°W y N40°W con manteos variables entre 50° a 80° hacia el NE. La zona con feldespato K como mineral dominante, carece de datos como para generar continuidad, sin embargo, su tendencia se correlaciona directamente con la zona de biotita.

Las zonas de albita y sericita como mineral dominante indican una tendencia de primer orden de dirección N80°E en promedio y manteo variable de 50° a casi sub-vertical. Particularmente la zona de sericita y sericita gris verde es una de las áreas con mayor densidad de datos, pues direcciones de tipo E-W tienen a repetirse en los mismos pozos en tramos de mayor profundidad con una variación mínima en su dirección de rumbo. Otra tendencia identificada es de dirección casi N-S de alto ángulo, manteando tanto hacia al E en general.

Por último, la zona de clorita como mineral dominante indica una tendencia de primer orden en dirección casi E-W con ángulo casi sub-vertical. Otras tendencias subordinadas son de dirección N45°E manteando al SE y N-S casi sub verticales. Particularmente esta zona es posible identificar sets que no se correlacionan en pozos aledaños.

Zona Mineral Dominante	Cota	Pozo	Dip	Dip / Dir	
Biotita	3200-3100	LB180094	39	25	
	3100-3000	LB200012	65	136	
	3000-2900	LB200012	72	152	
			39	18	
			66	78	
	2900-2800	LB170069	52	152	
			58	52	
			41	71	
	2800-2700	LB170069	53	17	
			46	59	
			45	149	
			LB210012	42	80
	2700-2600	LB170069	51	60	
			53	124	
2600-2500	LB180094	41	78		
		75	146		

Feldespató K	3100-2900	LB180094	82	131
			39	66

Sericita	3500-3400	LB170066	71	136
			54	101
		LB180079	51	76
			79	162
		LB180086	79	355
			53	25
		LB200040	50	92
			66	153
			60	328
		LB200044	28	224
			69	160
		LB200046	68	20
LB200049	57	180		

Zona Mineral Dominante	Cota	Pozo	Dip	Dip / Dir	
Albita	3400-3300	LB210012	79	169	
			48	313	
	3000-2900	LB210012	55	326	
			82	161	
			40	347	
			LB190101	85	193
	2900-2800	LB190101	41	334	
2600-2500	LB190101	46	335		

Clorita	3600-3500	LB190069	75	181	
			82	140	
		LB190072	32	10	
			42	327	
		LB190084	68	286	
			53	254	
	3300-3200	LB190084	77	158	
			61	92	
		LB190101	82	180	
			35	296	
		LB200044	78	83	
			66	136	
		LB200047	41	219	
			36	184	
		3000-2900	LB180136	50	315
				32	349
LB190101	50		98		
	67		140		
LB190101	83	178			
	39	36			
		32	300		

Tabla 3: Tabla resumen con los resultados de DCP de las zonas de alteración por mineral dominante de la fase Infiernillo 5. En la tabla se observa la zona de alteración, el intervalo de profundidad en donde se seleccionaron los datos, el pozo y el *Dip/Dip Dir* promedio de cada *set* definido.

5.3.2. Tramos con Tipo de Vetillas Específicos

Este análisis considera tramos que tienen exclusividad en sólo un tipo de vetillas y una cantidad que permita generar grupos. Dado la baja cantidad de datos que caen en esta categoría, los tipos de vetillas EB, M, C3A + C3B, son insuficientes para generar DCP. Para las vetillas tipo A, B, C (se agrupan C, C1 y C2) y D (se agrupan D y DT), se contabilizan las estructuras clasificadas como Rank 5.

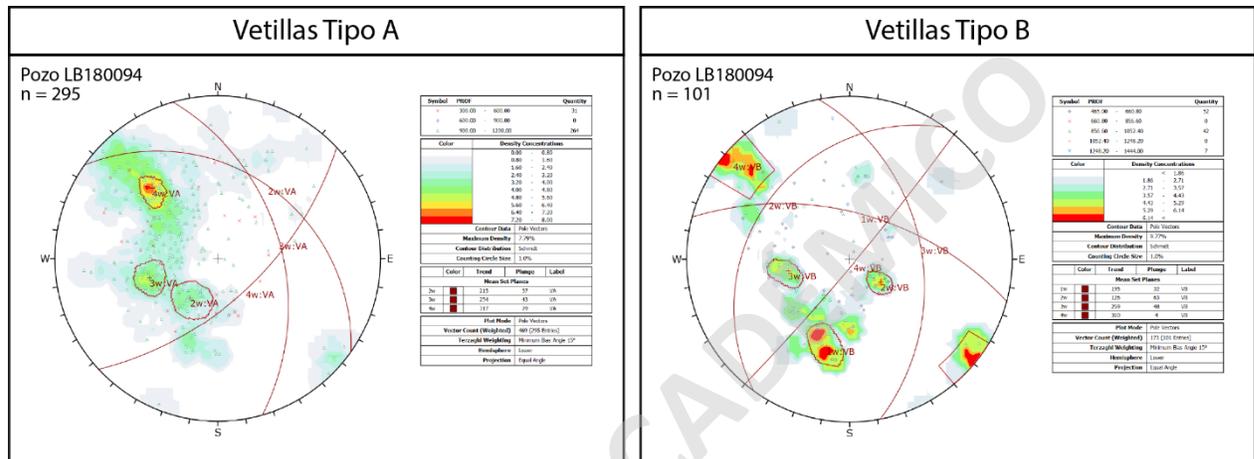


Figura 5.8: Diagramas de contornos de polos correspondientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en tramos donde se identificaron vetillas A y B. Se señala que sólo fueron observadas en el pozo LB180094.

Debido a la escasa existencia de datos correspondientes para vetillas de tipo A y B, no es posible determinar una continuidad para ser proyectados con pozos colindantes, sin embargo, su agrupación puede ser correlacionado con las zonas de alteración de biotita como mineral dominante.

Para las vetillas de tipo C, C1 y C2 (Figura 5.9) se observan sets de estructuras en dirección N-S y E-W casi sub-verticales. También se observan otros sets de dirección NW-SE con manto de alto ángulo en dirección NE. Este grupo se correlaciona directamente con las zonas de sericita y clorita como mineral dominante.

Las vetillas de tipo D y DT (Figura 5.10) se identifican sets de dirección E-W casi sub-verticales de forma predominante. También se observan sets conjugados de dirección N30°E y N60°W respectivamente. Otros sets ocurren de forma ocasional y no tienen relación con la tendencia global. Particularmente estas vetillas ocurren en todos los pozos, sin embargo, su cantidad tiende a ser mayor en zonas someras. Su agrupación puede ser correlacionada a estructuras de tipo diaclasas clasificadas como Rank 2 y Rank 3, preferiblemente de los mismos pozos, y tienden a no variar su rumbo en tramos de hasta 500 metros.

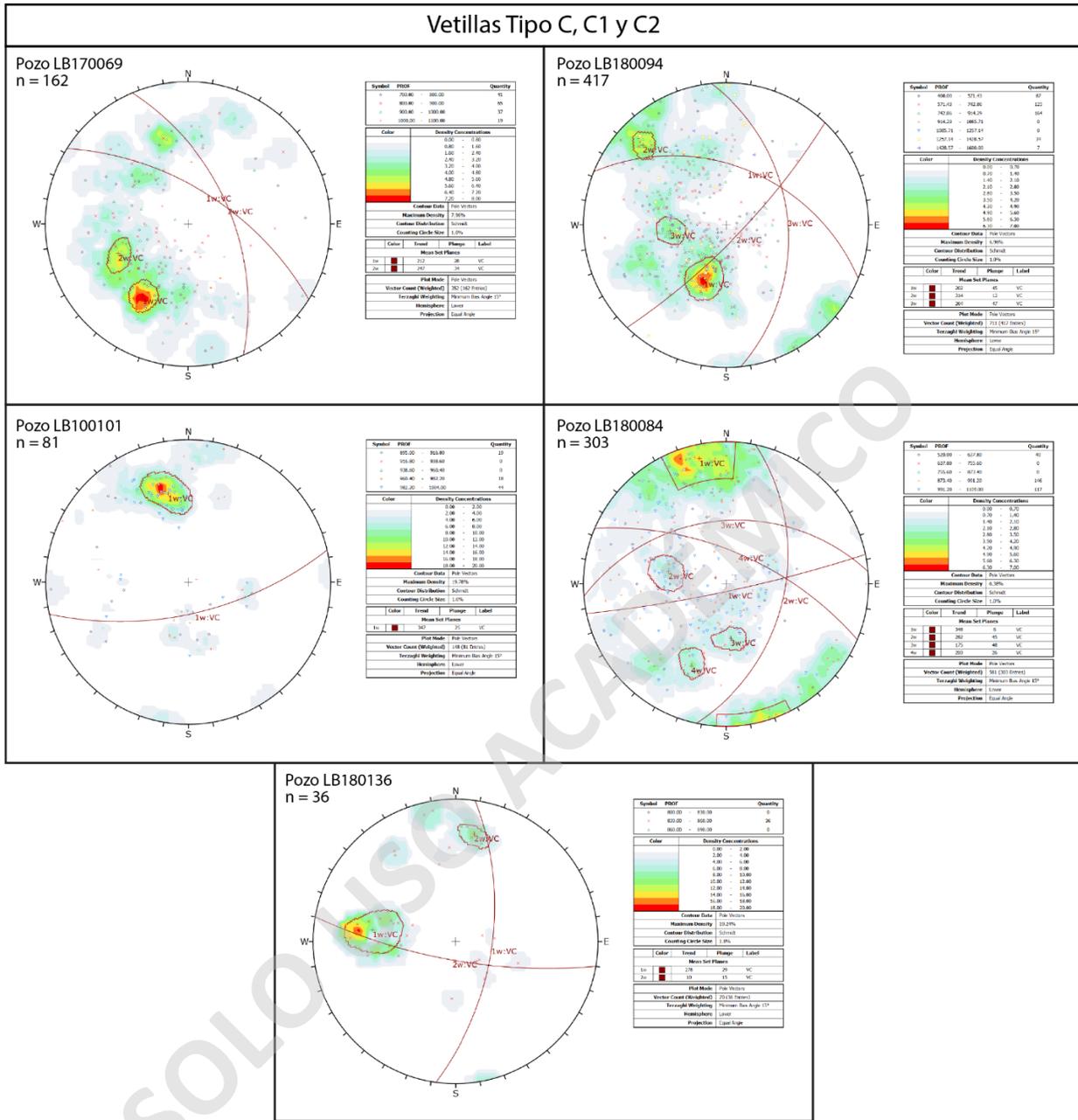


Figura 5.9: Diagramas de contornos de polos correspondientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en tramos donde se identificaron vetillas tipo C, C1 y C2. Se observa que los datos se agrupan con direcciones preferenciales casi N-S y E-W. También es posible identificar otros sets en dirección NW-SE en general con manto de alto ángulo en dirección NE.

Vetillas Tipo D y DT

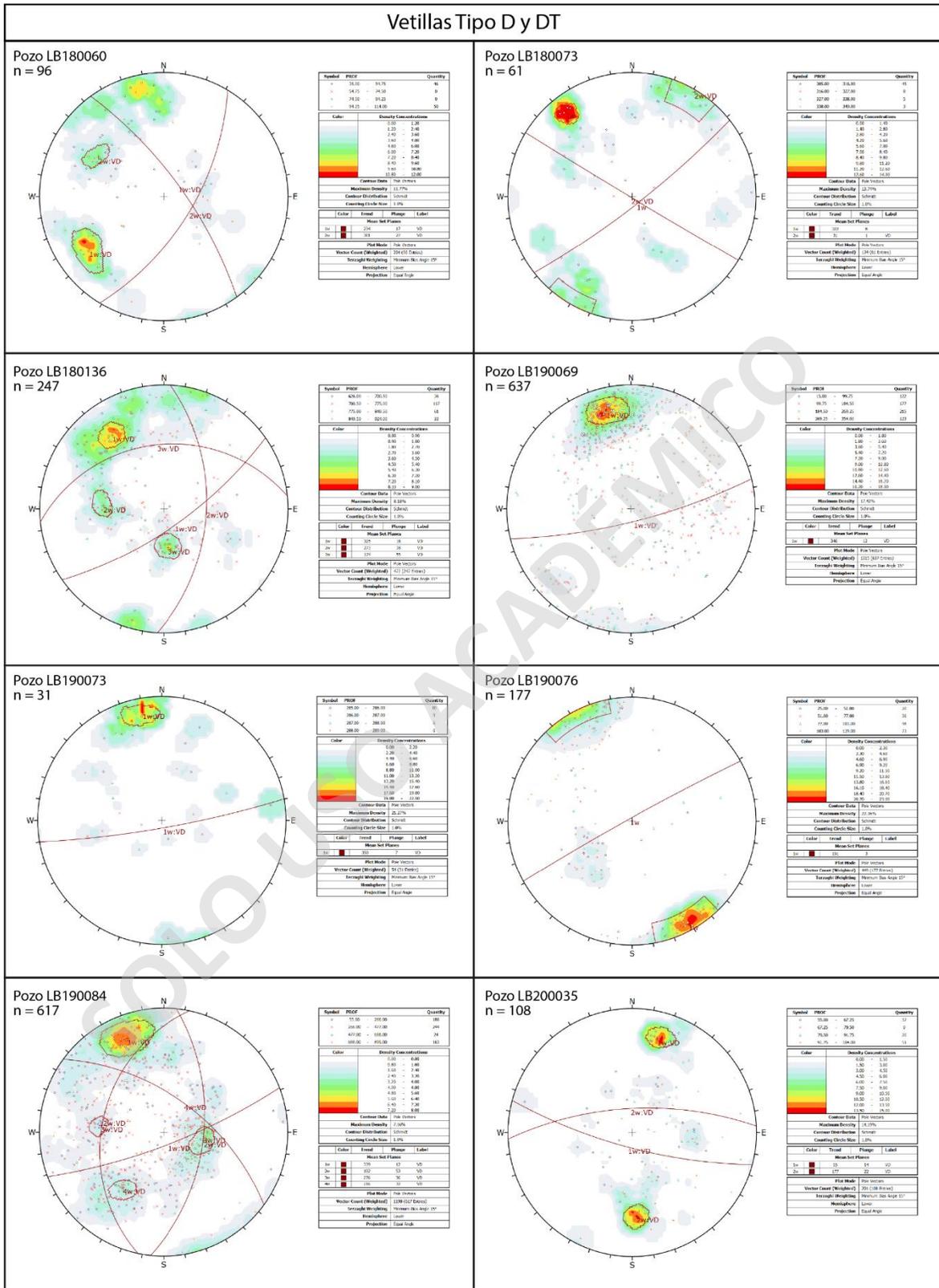


Figura 5.10: Diagramas de contornos de polos pertenecientes a estructuras clasificadas como tipo Rank 5 en tramos donde se identificaron vetillas tipo D y DT. Se observa una directa correlación con las zonas de clorita y sericita.

Las muestras se visualizan en secciones específicas en 2D de dirección W-E. El objetivo de representar los pozos con esta perspectiva es poder tener una vista clara de los tramos que interceptan el límite de la zona minera primaria y secundaria. Los cambios abruptos de la impedancia acústica de la roca se interpretan como un cambio de litología, alteración o zona redox (esta última engloba más variables como densidad de fracturas y mineralogía), por lo cual permitirán validar dichos límites en caso de coincidir con la ubicación espacial.

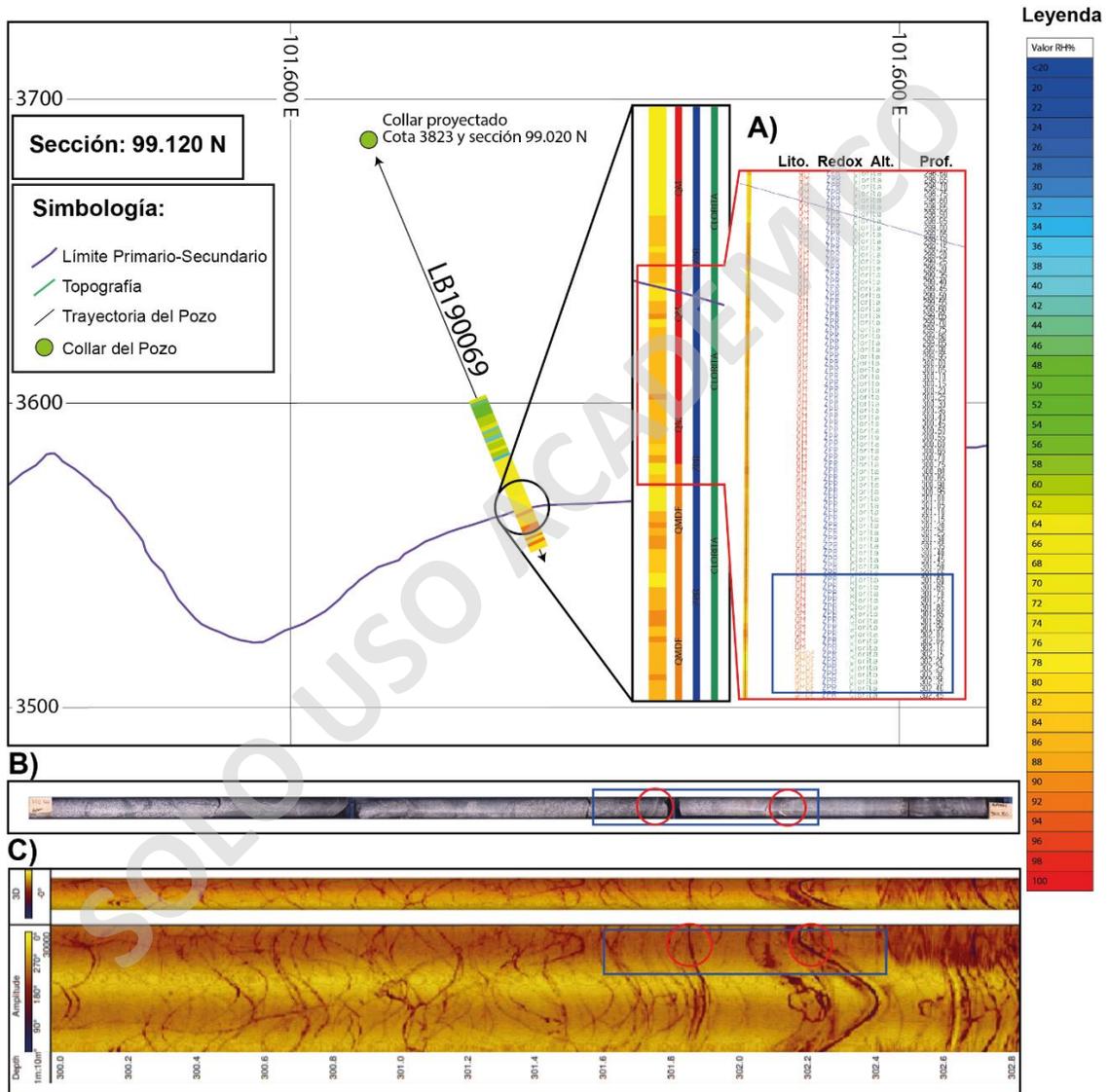


Figura 5.12: Correlación de impedancia acústica con imágenes de televueer del pozo LB190069 en el tramo 301,6 – 302,4. Demarcado con un círculo se le hace un acercamiento al tramo. A) Se muestra el pozo con su respectivo mapeo. B) Muestra una fotografía reconstruida del pozo, extraída de Imago. C) Muestra la imagen OTV del tramo estudiado. Para este análisis, el valor RH% contempla valores oscilantes desde los 299 metros en adelante entrando a una zona con mayor densidad de vetillas. Los círculos rojos son estructuras de referencia. A modo general se puede validar un cambio litológico de QM (Cuarzo Monzonita) a QMDF (Cuarzo Monzodiorita Fina) y este coincide con su límite primario-secundario con un desfase de 1.6 metros aproximadamente.

CAPÍTULO 6: Discusión

6.1. Generalidades

La adquisición de datos estructurales mediante herramientas geofísicas como el televiwer óptico y acústico, ha contribuido en la caracterización de estructuras en profundidad, generando impacto en los modelos estructurales de Los Bronces.

Las imágenes de ATV y OTV entregan una clara percepción de la pared de los pozos, sin embargo, dicha percepción recae en las limitaciones que tiene el instrumento y el dato entregado. Por una parte, el ATV entrega imágenes más claras sin importar la condición de la pared como un color de roca oscuro; las estructuras como fracturas y vetillas pueden ser fácilmente diferenciadas inclusive en un entorno de agua turbia. Por otra parte, el OTV entrega una imagen de forma directa por lo cual esta sí depende de la condición de la pared, limitando la adquisición de los datos; de igual forma se puede reconocer fracturas, vetillas y algunos cambios en la litología de la roca.

La interpretación de los datos es de esperar que puedan estar sujeto a errores, pues la metodología de la adquisición fue diseñada para fines geotécnicos y para la geología estructural, lo cual es de esperar que la información de la geología descriptiva sea de un carácter limitado. Como se observa en las imágenes tanto ópticas como acústicas, se pueden reconocer geometrías, pero con un color muy limitado, por ende, las estructuras como vetillas es casi imposible clasificarlas directamente mediante esta metodología.

6.2. Adquisición de Datos

Durante el análisis en terreno, se han detectado algunos problemas en reconocimiento y clasificación de las estructuras. A pesar de que se han implementado mejoras continuas como el apoyo de fotografías con la plataforma de Imago, información adicional de mapeo y visitas a terreno como control de calidad, existe este error sustancial que es netamente de carácter humano. En consecuencia, por una parte, existe un número de estructuras con Rank mal clasificadas y, por otra parte, existe un número de estructuras no reconocidas visualmente en los sondeos y que no pueden ser validadas. Pese a ello, es difícil de cuantificar con los métodos usados en este trabajo.

El análisis estadístico se observa una posible tendencia preferente entre las clasificaciones de Rank 1 y 5. A pesar de dichas clasificaciones no corresponden a variables aleatorias, entra en duda si las categorías Rank 2, 3, 6 y 7 son debidamente clasificadas. Se espera que los gráficos de histogramas tengan una distribución más homogénea y suavizada. Un ejemplo aplicable es el olvidado Rank 7 (cambio litológico), una inspección en la base de datos muestra pocas entradas en comparación a los mapeos el cual sobrepasa por más 20 veces su número. Este dato puede ser de utilidad cuando se tienen dudas de límites difusos o para generar validaciones, por lo cual no debería ser subutilizado.

A diferencia de las estructuras clasificadas como Rank 1 al 4 correspondientes a discontinuidades finas a gruesas, las de Rank 5 correspondientes a venas y vetillas, engloba a todos los espesores dentro una misma clasificación. Si bien puede ser una buena práctica para simplificar las clases, el valor numérico de espesor debe estar presente para lograr mayor interpretación y filtros.

El software *WellCad* usado para caracterizar las estructuras, se evidencia un claro déficit de resolución para representar los espesores reales de las estructuras finas, especialmente las de Rank 1, 2 y 5. Dicha observación se detecta en estructuras que se definen con espesores de 1 a 3 mm, sin embargo, la línea usada por el software abarca 4 mm en términos de resolución por pixel, por lo que se explica que los datos con espesor 0 mm en realidad corresponden a estructuras menores a 4 mm. De acuerdo a la base de datos global, considerando los pozos de 2017 a agosto de 2021 y sólo estructuras clasificadas como Rank 5, el 95,90% se caracteriza con espesor 0 mm, lo cual dificulta el análisis al tratar de identificar vetillas importantes en el rango menor a 10 mm.

Los DPC por otra parte se han detectado en algunos pozos un posible error sustancial en la adquisición y control de calidad en los datos. El error se refleja en que la proyección de polos en la red estereográfica se muestran grupos de estructuras con tendencia (en este caso vetillas) pero rotadas con respecto al eje del pozo, produciendo un sesgo en sentido horario o antihorario (Figura 6.1). Este efecto de rotación de estructuras, también conocido coloquialmente como “efecto dona” por su similitud en la forma, se produce por factores en general de error humano. Las causas son una imprecisa orientación en la marca de referencia (lo más común) y el mantenimiento o calibración constante de instrumentos digitales, por ejemplo: giroscopios susceptibles al magnetismo o pérdida del norte magnético (Holcombe, 2013).

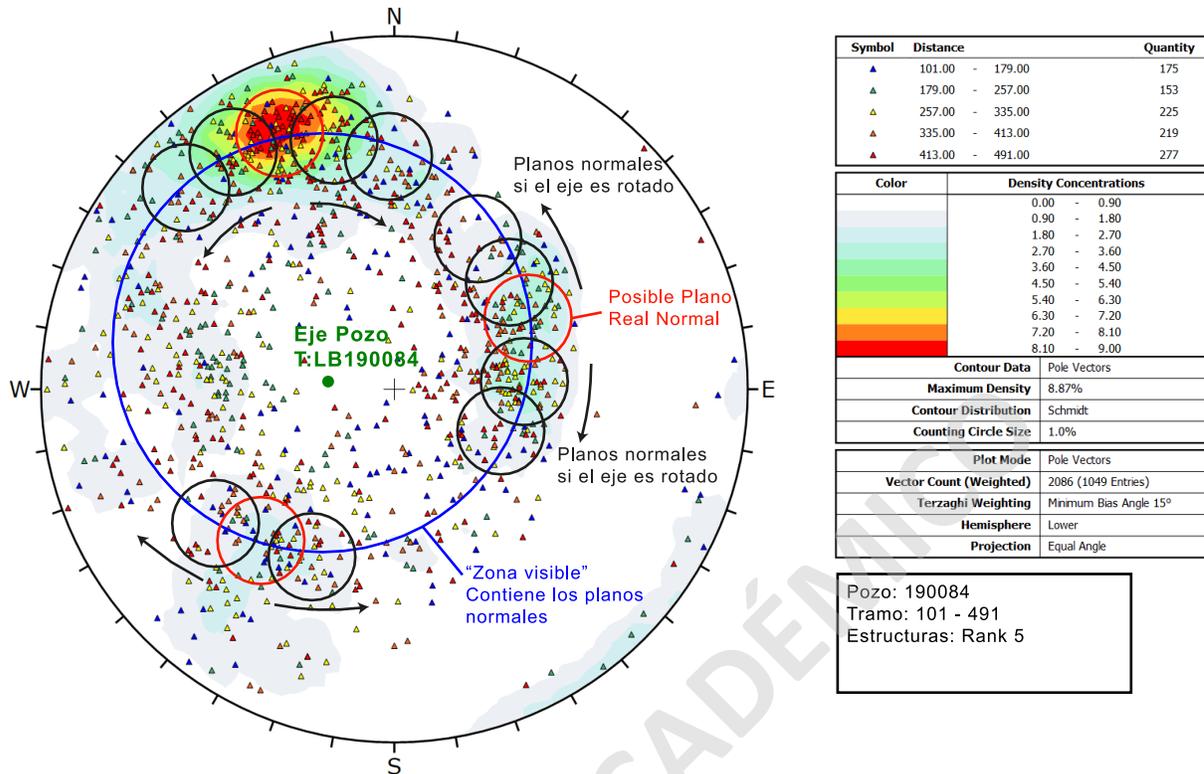


Figura 6.1: Diagrama de contorno de polos del pozo LB190084, donde se evidencia un posible “efecto dona”. El análisis contempla el ploteo de las estructuras de acuerdo a la profundidad donde los triángulos de color amarillo (tramo 257-335) muestra una tendencia de segundo orden con al menos 50° de diferencia en el azimut. Según Holcombe 2013, la aparición de estas distribuciones circulares es un indicador de que los procedimientos de orientación pueden estar defectuosos y por ende estos datos pueden presentar sesgo.

Por otra parte, el registro de impedancia acústica es uno de los datos que más solidez tiene, debido a su naturaleza cuantitativa. La validación de este dato depende del comportamiento del sonido ante materiales que tienen diferentes respuestas a la reflexión de onda acústica. La roca puede tanto absorber como reflejar una onda sonora y depende de factores externos como la superficie (si es lisa o rugosa) y presión de fluido, como también de las características de la roca; porosidad, presencia de clastos, composición y mineralogía. Si bien esto no se ha validado, es importante mencionarlo para poder definir intervalos que sean manejables por software y a su vez sean representativos.

Por último, el valor de %RH se encuentra normalizado para cada pozo de forma individual, por lo cual dificulta su utilización cuando se trabajan diferentes pozos. Considerando las variables que entran para definir un índice de reflectividad absoluto, no existe hasta el momento un cálculo para normalizar dichos valores y usarlos a modo global. Pese a ello, la normalización por pozo individual es el método más adecuado cuando el objetivo es identificar cambios abruptos del valor, para así definir o validar límites tanto de estructuras como de litologías.

6.3. Análisis de Datos

El impacto generado por el levantamiento de datos mediante ATV y OTV contribuye en gran parte al registro de estructuras en profundidad, sin embargo, su limitada captura en la caracterización geológica tal como reconocimiento de litologías, alteración y tipos de vetillas hace que sea una herramienta poco atractiva para su uso en la geología de exploración. Pese a ello no deja de ser una herramienta útil para validar y complementar información en pozos de difícil reconocimiento, por ejemplo, pozos perforados con aire reverso, cálculo de la calidad de roca (RQD) cuando existen fracturas inducidas de forma dudosa y otras aplicaciones.

La información estructural de vetillas en zonas de alteración permitiría generar interpretaciones de los alcances de los eventos mineralizadores, pudiendo generar continuidades entre cuerpos de forma más precisa y con mayor confianza, evitar sobreestimar o subestimar volúmenes y mejorar los modelos de alteración y zona mineral.

Para la fase Infiernillo 5, basado en los DPC, se identifica una clara tendencia de dirección E-W en zonas de alteración de sericita – cuarzo, mientras que otras zonas también conservan al menos un *set* en la misma dirección de rumbo. Otra tendencia general es de dirección N-S en zonas de clorita y albita - clorita, también presentes en sericita – cuarzo. Estas direcciones coinciden con los modelos estructurales en el Dominio 5 propuestos por Carrizo 2015 y Andrade 2015 y se alinean a la proyección de estructuras mayores (Ema). Por último, se identifican *sets* locales y *sets* conjugados de dirección N30°E y N60°E con rangos entre esos ángulos y manteo en torno a los 50° y 80° al SE formando *sets* conjugados. Estas direcciones subordinadas pueden asociarse a la dirección de las fallas principales, Falla Sur, Ema16 y Ema7 y al modelo espacial de concentración de arsénico, asumiendo que son vetillas relativamente someras de tipo C3A, C3B, D y DT.

La poca cantidad de datos y zonas sin información hacen que este análisis no valide la dirección de los emplazamientos de vetillas, sin embargo, las direcciones son coherentes con estudios previos y coinciden con los modelos estructurales y modelos de alteración.

Por otra parte, la impedancia acústica posee una característica que consiste en marcar quiebres fácilmente observables y permite validar de forma directa los límites litológicos. Las zonas minerales en cambio, también pueden ser validas si se usan diferentes filtros para ajustar a una resolución que permita observar quiebres, sin embargo, en su mayoría coinciden con límites litológicos y estructurales.

Las zonas de alteración son difíciles de validar mediante este método debido a que no suele afectar el valor de RH% de la roca, por el contrario, hay casos particulares en donde sí afecta; transiciones entre: cuarzo-sericita y clorita; sílice y clorita; feldespato K y cuarzo-sericita.

6.4. Correlación con Trabajos Previos

Los DPC correspondientes a vetillas tipo D y DT se ubican espacialmente en todo el yacimiento, sin embargo, existen zonas con mayor densidad de este tipo de vetillas en los halos de los cuerpos mineralizados, emplazados en zonas de alteración de tipo clorita-sericita y clorita principalmente. Específicamente los pozos cercanos a la Falla Sur tienden a tener una fuerte tendencia de dirección E-W tanto en fracturas como en vetillas tardías.

Basado en el trabajo de memoria de Andrade 2015, los DPC de estructuras mayores y menores cercanos a la Falla Sur, se correlacionan directamente tanto de fracturas en profundidad como también de vetillas tardías medidas por televiever. A pesar de que esta observación no se encuentra dentro de los objetivos de este trabajo, es importante destacar que las estructuras continuas de tipo Rank 2 y Rank 3 dentro de los pozos estudiados son congruentes con las Ema y Eme provistas en los frentes de bancos a nivel local dentro del dominio estructural 5 (Fig. 6.2). Pese a que los datos son insuficientes como para generar validaciones certeras, al menos los sets de vetillas que tienen dicha tendencia pueden ser objeto de estar relacionadas a un control estructural de carácter tectónico a escala local.

Una observación particular en pozos que contienen datos de televiever son los que se ubican en una franja de orientación N-S entre coordenadas 100.900 E y 101.000 E adyacentes con el límite de la Falla Infiernillo 2 y la Falla Sur. En esta zona, las vetillas tienen una dirección E-W con variaciones de $\pm 20^\circ$ y manteo de 50° aproximadamente, pero no se observa una componente N-S como ocurre en torno a la coordenada 101.300 E. De acuerdo con Andrade 2015, los datos son coherentes al proyectar el límite entre el dominio estructural 4 y 5 como un control litológico, ya que no existe una evidencia para plantear una discontinuidad.

Dentro del estudio también se realizaron 3 escenarios en las plantas 2600, 3000 y 3600 con el modelo de alteración. Esta comparación se correlaciona la forma en la cual los cuerpos son emplazados, si bien existe una tendencia definida en vetillas tipo C, C1, C2 y vetillas tipo D y DT, estas también son congruentes en la dirección de los cuerpos de alteración del modelo, en particular sericita, cuarzo-sericita y sericita-clorita.

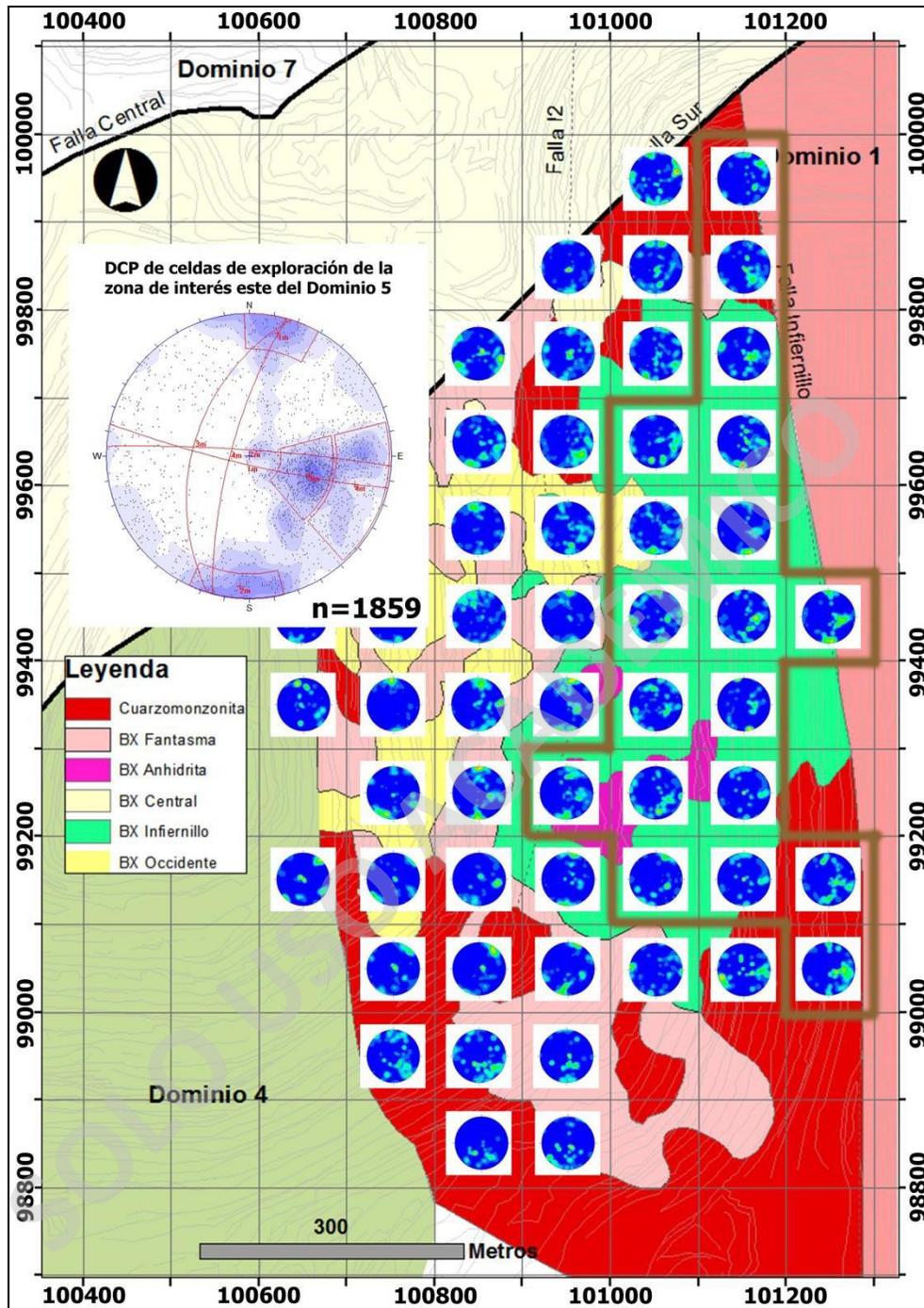


Figura 6.2: Distribución de celdas de exploración tomadas en frentes de bancos donde se muestran las orientaciones de Ema y Eme. A modo general se observa un set de fallas de alto ángulo de dirección N80°E y E-W; con su respectivo set conjugado de dirección NNE-SSW con manteos de hasta 45°. La ubicación espacial de los datos de televiewer tomados entre coordenadas 100.900 E y 101.000 E, tanto fracturas como vetillas, tienen una directa congruencia con la dirección de las fallas. Imagen extraída de Andrade 2015.

Basado en el trabajo de Carrizo 2018, la correlación espacial entre la distribución ortográfica de arsénico con la proyección de las fallas principales definidas por el modelo estructural, se reconocen los lineamientos CS3, As2 y As3 en correlación con la Falla Sur, Ema16 y Ema7 respectivamente. Las estructuras corresponden a fracturas rellenas de arsénico y aporta una evidencia como indicador directo para determinar la existencia de fallas. El As se concentra en las fallas activadas durante los eventos hidrotermales tardíos, sin embargo, también se puede asociar a mineralización de enargita y tennantita reconocidas en vetillas polimetálicas tardías, aludiendo a las de tipo DT.

La figura 6.3 correlaciona las orientaciones de estructuras clasificadas como tipo Rank 2 y Rank 5 medidas por televiewer con la distribución espacial de arsénico. El parámetro utilizado considera los Ranks con 300 ppm de As o superior. Los DPC en esta correlación son coherentes considerando la ubicación espacial y la tendencia en las direcciones de arsénico.

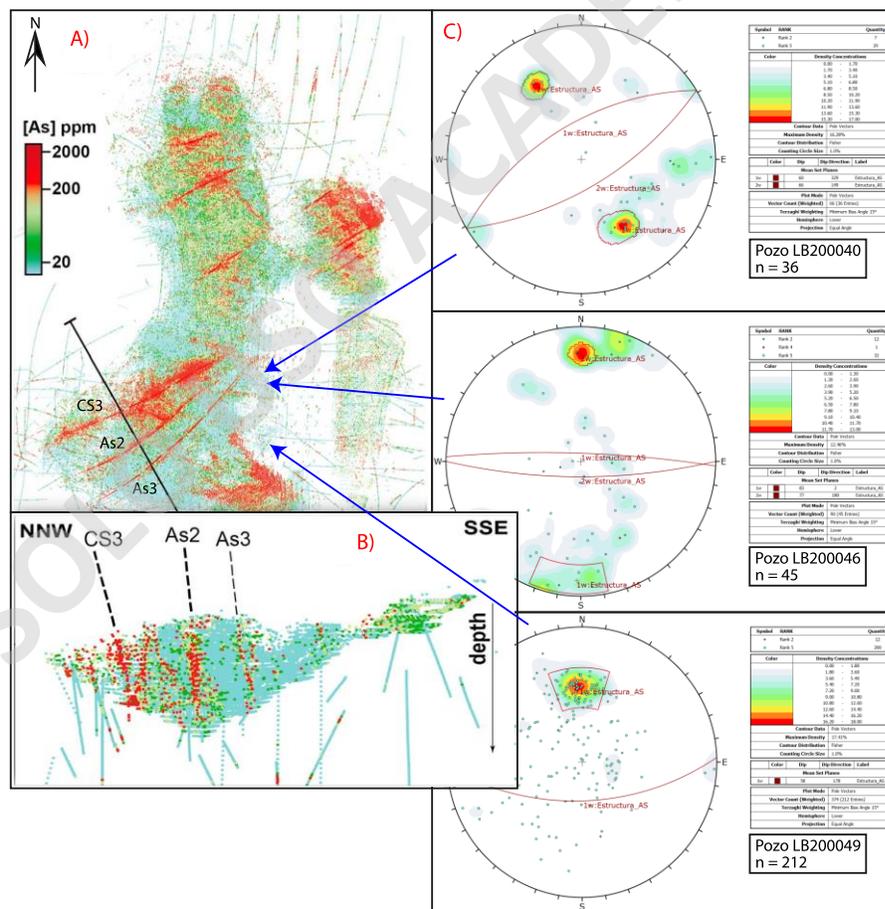


Figura 6.3: A) Distribución espacial de las concentraciones de arsénico tomado de sondajes y pozos de tronadura. B) Sección de la traza tomada de la ilustración (A) donde se muestra las principales fallas reconocidas. C) Diagrama de contorno de polos correspondientes a estructuras clasificadas como Rank 2 y Rank 5 obtenidas por televiewer. Figura modificada de Carrizo 2018.

CAPÍTULO 7: Conclusiones y Recomendaciones

Los datos de ATV y OTV contribuyen como información adicional y de apoyo para el mapeo de estructuras en general. Como aporte adicional, en pozos de aire reverso (RC) el aporte es significativo para una mejora en la caracterización geológica y estructural.

El enfoque de este trabajo ha sido para documentar y analizar el potencial de la información proporcionada por televiwer para un objetivo diferente al cual fue diseñado. La información es limitada para su uso en la geología de exploración debido a que deja en omisión cuantiosa información a lo que es potencialmente capaz de lograr. En el caso de mapeos, si bien las estructuras son claramente visibles, no se pueden caracterizar directamente con la imagen de ATV y OTV, sin embargo, si se puede hacer mediante correlaciones en terreno, lo cual reduciría la incertidumbre en la clasificación y mejoraría sustancialmente la adquisición y calidad de los datos.

El análisis en la adquisición de datos y estadística demuestra que existen diferencias en la clasificación de Ranks que aún no ha sido cuantificada, mientras que otras clasificaciones tienden a ser subutilizadas. Esto trae consigo una cadena de problemas cuando se hacen análisis, falta de información y/o sesgo en datos. El análisis de DPC también se detecta sesgo en la adquisición evidenciado con el “efecto dona” y pone en duda si esos datos fueron tomados de la forma adecuada. En consecuencia, la base de datos puede ser objeto de descarte si se comprueba lo anterior, sin embargo, es una oportunidad para rehacer procedimientos y mejorar los QA/QC.

El ajuste en los datos normalizados por pozo de la impedancia acústica se ajusta bien para la representación general de la pared. El objetivo no es caracterizar o deducir la roca a partir de un dato cuantitativo, si no, es poder detectar quiebres que ayuden a comprender límites, por lo cual el ajuste que se realiza es el adecuado. Los resultados %RH permiten de forma certera reconocer fallas, zonas fracturadas, cambios litológicos abruptos y, en general, límites de intrusivos con brechas. Otras validaciones que se puede hacer, es poder interpretar los límites de zona mineral primaria y secundaria a partir de cambios en el RH% comparados con los límites definidos en el modelo. Si bien no es un dato que aplique en la mayoría de los casos, aporta con la validación del límite en caso de coincidir o conlleva a revisar el sector en caso contrario.

En base a los DPC se evidencia una clara tendencia en sets de vetillas en dirección E-W y N-S principalmente descrito en la discusión. La distribución de datos en los pozos es bastante

agrupada lo cual permite definir *sets* tanto de primer como de segundo orden. Las comparaciones con el modelo estructural, el modelo de alteración y el modelo de concentración de arsénico, permiten corroborar una congruencia de estos *sets* con el sistema estructural y el contexto tectónico. A modo de interpretación, la mineralización en Los Bronces se explica con el acortamiento de la cuenca Abanico – Farellones y el emplazamiento del batolito de San Francisco, formando estructuras mineralizadas de dirección N-S (Carrizo 2013). Es esperable que las vetillas de etapa intra-mineral en zonas de alteración de cuarzo-sericita y clorita, los sistemas de transferencia de fluidos tengan dicha orientación y su dirección conjugada, por lo cual es un resultado coherente.

De acuerdo a los puntos mencionados se recomienda:

1. De acuerdo a la adquisición de datos, se recomienda la confección de un nuevo procedimiento para la medición y procesamiento de datos, con el objetivo de disminuir posibles sesgos sustanciales y mejorar la información respaldada.
2. Con respecto al análisis del trabajo, se recomienda revisar nuevamente los pozos que sean contribuyentes a los modelos actuales. En particular los pozos profundos a los cuales se les ha hecho mediciones con televiewer, estos tienden a aportar mejores perspectivas, por lo cual son pozos que deberían asegurar la calidad de los datos y si es necesario, realizar las mediciones nuevamente.
3. En general la densidad de datos es poca para generar validaciones de los emplazamientos de vetillas, por lo que se recomienda continuar haciendo mediciones de pozos, completando así sectores con falta de información. En el caso que se determine la viabilidad del aporte generado por esta información, se podrían generar campañas de levantamiento que permita cubrir pozos de exploración con mayor rapidez y eficiencia para su uso en el corto a mediano plazo.
4. Se recomienda buscar alternativas para sistematizar la adquisición de datos como el tipo de vetillas y su orientación mediante técnicas tradicionales o implementando inteligencia artificial con software de reconocimiento. Una idea sería usar Imago y mediante criterios geométricos asociar vetillas según su forma entre imágenes de televiewer y la fotografía del sondaje.

Referencias

- Abarzua, A. (2014).** Zonación y temporalidad relativa de los tipos de alteración hidrotermal en el sector Los Bronces del complejo porfídico Cu-Mo Río Blanco-Los Bronces, Región Metropolitana, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (Inédito): 212 pp. Santiago.
- Aguirre, L. (1960).** Geología de Los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas. Vol. 9. Pp. 70. Santiago, Chile.
- Aguirre, L., D. Robinson, D., Bevins, R. E., Morata, D., Vergara, M., Fonseca, E. y Carrasco, J. (2000).** A low-grade metamorphic model for the Miocene volcanic sequences in the Andes of central Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43:1, 83-93.
- Barros, C (2007).** Distribución y Modelamiento del Arsénico y otros elementos asociados: Bismuto, Plomo y Antimonio en la Mineralización Primaria de la Mina Los Bronces, Región Metropolitana, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas (Inédito): 93 pp. Antofagasta.
- Beccar, I., Vergara, M. y Munizaga, F. (1986).** Edades K-Ar de la Formación Farellones, en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile. *Revista Geológica de Chile*. N° 28-29. Pp. 109-113. Santiago, Chile.
- Blenkinsop, T., Doyle, M. y Nugus, M. (2015).** A unified approach to measuring structures in orientated drill core. Geological Society, London, Special Publications.
- Carrizo, D., Barros, C. (2016).** Actualización 2015 del Modelo Estructural de la Mina Los Bronces: Modelo de Fallas, Dominios Estructurales y Modelo Cinemático. Reporte para Anglo American Chile. 31-66 pp. Santiago, Chile.
- Carrizo, D., Barros, C. (2017).** El Modelo Estructural del Depósito Los Bronces, Andes Centrales, Chile. Anglo American Chile S.A (Inédito): 44 pp. Santiago.
- Carrizo, D., Barros, C. y Gallardo, S. (2013).** Modelo Estructural 3D de la Mina Los Bronces, Anglo American Sur S.A. (Chile). Reporte para Anglo American Chile. 85 pp. Santiago, Chile.

- Carrizo, D., Barros, C., Velásquez, G. (2018).** The Arsenic Fault-Pathfinder: A Complementary Tool to Improve Structural Models in Mining. *Minerals*; 8, 364.
- Carrizo, D., Comte, D., Gutiérrez, F., Vela, I., Pablo, M. (2015).** Modelo estructural del Distrito Los Bronces Los Sulfatos: Integración de la tomografía sísmica pasiva y tectónica para entender una de las concentraciones de pórfidos de Cu-Mo más importantes de la corteza. Advanced Mining Technology Center, Departamento de Geología, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J., Gans, P., Kay, S., Muñoz, N., Wyss, A., Zurita, E. (2002).** Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat- slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36°S.L.). *Journal of South American Earth Sciences* 15 (2002) 117-139.
- Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, S., Flynn, J. J., Lturra, N., Munoz, N., Pardo, M., Thiele, R., Wyss, A. R. (2005).** The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungenvol.* 236. pp: 43-77.
- Charrier, R., Farías, M. y Maksaev, V. (2009).** Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65, pp. 05-35.
- Contreras, A. (2003).** Geología de Sondajes Profundos en la Mina Los Bronces. Reporte para la Superintendencia de Geología, División Los Bronces, Anglo American Chile S.A: 38 pp. Santiago.
- Cortés, J. (2011).** Evolución geológica de los sistemas porfídicos de Cu-Mo Amos y Andrés, Andes Centrales de Chile y Argentina. Tesis para optar al grado de magíster en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 104p.
- Cote, J. y De La Fuente, A. (2021).** Estudio de estructuras orientadas y medición de desviación de sondaje LB210040. Informe Preparado para Anglo American por COMPROBE.

- Deckart, K., Clark, A. H., Aguilar, C., Vargas, R. (2005).** Magmatic y hidrotermal chronology of the supergiant Río Blanco Porphyry Copper Deposit, Central Chile: Implications of an integrated UPb y 40Ar- 39Ar database. Implications of an integrated UPb y 40Ar- 39Ar database". *Economic Geology* 100, p.905-934.
- Farías, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., Tapia, F. y Fock, A. (2010).** Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean mountain building. *Geology: Implications for Andean mountain building, Tectonics*, 29, TC3006, doi:10.1029/2009TC002480.
- Fock, A. (2005).** Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de los Andes de Chile central entre los 33° y los 34° S. Tesis para optar al grado de magíster en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 235p.
- Fock, A., Charrier, R., Farías M., Muñoz, M. (2006).** Fallas de vergencia oeste en la Cordillera Principal de Chile Central: Inversión de la cuenca de Abanico (33°-34°S). *Revista de la Asociación Geológica Argentina, Publicación Especial*. 6. 48-55.
- Frikken, P. (2003).** Breccia-Hosted Copper-Molybdenum Mineralization at Rio Blanco, Chile. Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of Tasmania.
- Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L., Féraud, G. (2002).** Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile central (33° S): una reinterpretación sobre la base de dataciones 40Ar/39Ar. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 29, N° 2, p. 207-225.
- Holcombe, O. (2013).** Oriented drillcore: measurement, conversion, and QA/QC procedures for structural and exploration geologists. *Oriented core manual*.
- Irrazaval, V., Sillitoe, R., Wilson, A., Toro, J. (2010).** Discovery History of a Giant, High-Grade, Hypogene Porphyry Copper-Molybdenum Deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Río Blanco District, Central Chile. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication* 15, pp. 253–269.
- Larenas, B. (2018).** Estudio de las reacciones químicas que ocurren al contacto entre unidades litológicas de diferentes áreas de mina Los Bronces con explosivos de base ANFO en los

pozos de tronadura. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Chile.

Maksaev, V., Munizaga, F., Zentilli, M. y Charrier, R. (2009). Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33°-35°S): Implications for tectonics evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Andean Geology*, 36 (2), p. 153-171.

Moreno, H., Thiele, R. y Varela, J. (1991). Estudio geológico y de riesgo volcánico y de remoción en masa del proyecto hidroeléctrico Alfalfal II y Las Lajas. Chilgener S.S. (Inédito): 78 pp. Santiago.

Muñoz, M., Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L., Nyström, J., Féraud, G. y Demant, G. (2006). Abanico East Formation: petrology and geochemistry of volcanic rocks behind the Cenozoic arc front in the Andean Cordillera, central Chile (33°50'S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 33, No. 1, p. 109-140.

Perelló, J., Sillitoe, R.H., Brockway, H., Posso, H. y Mpodozis, C. (2009). Contiguous Porphyry Cu-Mo and Cu-Au Mineralization at Los Pelambres, Central Chile. Congreso Geológico Chileno, Santiago.

Piquer, J. y Skarmeta, J. (2012). Structural control on stratigraphy, magmatism and mineralization in the Rio Blanco-Los Bronces district, Central Chile. T1 13° Congreso Geológico Chileno.

Piquer, J., Skarmeta, J. y Cooke, D. (2015). Structural Evolution of the Rio Blanco-Los Bronces District, Andes of Central Chile: Controls on Stratigraphy, Magmatism, and Mineralization. Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v. 110, pp. 1995–2023.

Quiroga, R. (2013). Análisis estructural de los depósitos cenozoicos de la Cordillera Principal entre el Cerro Provincia y el Cordón el Quempo, Región Metropolitana, Chile (33°18' y 33°25'S). Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 111p.

Quirt, G.S., Stewart, J., Clark, A.H., Farrar, E., Sillitoe, R.H. (1971). Potassium-argon ages of porphyry copper deposits in northern and central Chile. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v.3, n.7, pp.676-677.

- Ramos, V. A., Cegarra, M., Cristallini, E. (1996).** Cenozoic tectonics of the High Andes of west-central Argentina (30-36°S latitude). *Tectonophysics* 259. Pp. 185-200. Buenos Aires, Argentina.
- Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M. y Villaroel, M. (1990).** Redefinición de la Formación Farellones de los Andes de Chile Central (32°-34°S). *Revista Geológica de Chile*. N°15. Pp. 59-70. Santiago, Chile.
- Sellés, D. (2000).** La relación discordante entre las Formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: Implicancias regionales. IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas. 1. 555-558.
- Serrano, L., Vargas, R., Stambuck, V., Aguilar, C., Galeb, M., Holmgren, C., Contreras, A., Godoy, S., Vela, I., Skewes, M. y Stern, C. (1996).** The Late Miocene Early Pliocene Río Blanco - Los Bronces Copper Deposit, Central Chilean Andes. In *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Society of Economic Geologists. Special Publication N°5. Pp. 119-130.
- Sillitoe, R.H. y Perelló, J. (2005).** Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Economic Geology* 10th Anniversary Volume: 845-890.
- Skewes, M. y Stern, C. (1994).** Tectonic Trigger for the Formation of Late Miocene Cu-rich Breccia Pipes in the Andes of Central Chile. *Geology*. Vol 22. N° 6. Pp. 551-554.
- Stern, C. (2004).** Active Andean Volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 31 (2), p. 161-206.
- Thiele, R. (1980).** Hoja de Santiago. Carta Geológica. Instituto de Investigaciones Geológicas. N° 39. Pp. 51. Santiago, Chile.
- Toro, J., Ortúzar, J., Zamorano, J., Cuadra, P., Hermosilla, J. y Spröhnle, C. (2012).** Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Concentration of Copper. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication* 16, pp. ##.

- Toro, J.C., Ortúzar, J., Maksaev, V. y Barra, F. (2009).** Nuevos antecedentes geocronológicos franja de pórfidos Cu-Mo del Mioceno-Plioceno, Chile Central: Implicancias metalogénicas. S11_047. 12° Congreso Geológico Chileno, Santiago.
- Vergara, M. y Drake, R. (1979).** Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales post neocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Vol. 34, N° 1: 42-52. Buenos Aires.
- Vry, V., Wilkinson, J., Seguel, J. y Millán, J. (2009).** A new vein paragenesis for the El Teniente Porphyry Cu-Mo Deposit, Chile. S11_051. 12° Congreso Geológico Chileno, Santiago, Chile.
- Warnaars, F., Holmgren, C. y Barassi, S. (1985).** Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces, Chile. Society of Economic Geologists. Vol. 80. Pp. 1544-1565.
- Wyss, A. R., Flynn, J. J., Norell, M. A., Swisher III, C. C., Novacek, M. J., McKenna, M. C. y Charrier, R. (1994).** Paleogene mammals from the Andes of central Chile: A preliminary taxonomic, biostratigraphic, and geochronologic assessment. American Museum Novitates, 3098 (3098): 1-31.
- Yáñez, G., Cembrano, J., Pardo, M., Ranero, C. Y Sellés, D. (2002).** The Challenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean subduction system at 33–34°S: Geodynamic evidence and implications. Journal of South American Earth Sciences, v. 15, p. 23–38.

ANEXO

Índice de Anexos:

Anexo A: Fichas Técnicas de Televiewer y Giroscopio	79
Anexo B: Tablas de Datos	84
Anexo C: Diagramas de Contornos de Polos Adicionales	88

SOLO USO ACADÉMICO

Anexo A: Fichas Técnicas de Televiewer y Giroscopio

CHAMP GYRO SRO™

Renueve su tecnología actual hoy.

Al operar con cable eléctrico, el Champ Gyro SRO proporciona datos del giroscopio Buscador del Norte en tiempo real en cualquier computador personal en la superficie, o descarga de datos obtenidos en modo memoria, mediante comunicación inalámbrica de alta velocidad.

Una vez encendida, la sonda necesita menos de 60 segundos de calentamiento para estar lista para la medición. Todo lo que se necesita antes del funcionamiento del modo continuo a alta velocidad, es un girocompás en el pozo de 5 min.

La Tecnología de Giro Adaptable onPoint™ patentada por Axis, ofrece una alta tolerancia de giro y medición en velocidades de hasta 200m (656 pies) por minuto.

De forma alternativa, las mediciones del Buscador de Norte de un solo disparo, múltiples disparos u orientación, pueden ser tomadas cuando se requieran.

Al operar en cable, con contador de profundidad (cable eléctrico o memoria) es integrada automáticamente con los datos de azimut e inclinación durante la medición.

SRO puede ser usado con confianza con barras en horizontal, en mediciones al bombearse, en orientación del motor o cuñas y mucho más.

ESPECIFICACIONES

Exactitud y Precisión

Azimut : +/- 0,75**
Inclinación : +/- 0,15°
Precisión : <0,1% de la profundidad calculada (modo continuo)
Toolface Gravitacional : +/- 0,2°
Toolface Giroscópico : +/- 0,75°

Alcance

Operación : -90° a +90***

Configuración en la Superficie

Tiempo de Calentamiento : 45 seg

Recorrido en el Pozo (Modo Continuo)

Índice Angular : rotación 200° por segundo
Velocidad (medición continua) : 200m/min (656 pies/min)
Largo del Cable : 5000m (máx) (16,404 pies)
Resistencia del Cable : 300 Ohm

Asignación de Profundidad

Entrada de profundidad manual
Integración de profundidad inalámbrica o cableada
(Contador de Profundidad Electrónico AMT o codificador externo)

Batería

Ion de litio recargable 5000mAh
12 horas de funcionamiento continuo

Temperatura, Impacto y Presión Nominal

Temperatura : -10°C a +70°C (14°F a 158°F)
Impacto : 1000g Axial, ½ seno, 1 ms
Presión Nominal : 4000psi

Dimensiones y Peso

Sonda de Medición en Equipo de Corrida

Diámetro Exterior : 42mm (1,65")
Longitud Sistema de Cable Eléctrico : 2685mm (105,7")
Longitud Sistema en Memoria : 2713mm (106,8")
Peso : 10kg (22,04lbs) / 18,5kg centralizado (40,78lbs)

Unidad Interfaz de Superficie

Largo : 300mm (11,81"), Ancho: 200mm (7,87"), Alto: 150mm (5,90")
Peso : 2kg (4,4lbs)

Potencia

Voltaje de Entrada : 90VAC a 240VDC
Corriente de Salida : 125mA
Consumo de Energía de Sonda : 2W

Mediciones y Comunicación

Recopilación continua de datos cada 3m a 180m/min (9,8 pies a 590 pies/min)
Buscador de Norte de un solo disparo, múltiples disparos y orientación
Tiempo de disparo en girocompás: 2 min (modos de mayor precisión disponibles)
Comunicación de datos inalámbrica entre la tableta y la sonda
Transferencia de profundidad inalámbrica vía Contador de Profundidad Electrónico de AMT

Requisitos de Computador de Superficie

Windows 8/10/XP, puerto USB

Las especificaciones técnicas pueden sufrir cambios sin previo aviso.

*La precisión del azimut de girocompás depende de la latitud y se cita a 1 sigma en inclinaciones de -20° a -90° y +20° a +90°.

**El funcionamiento continuo oscila en inclinaciones de -80° a +80°.

Visítenos en www.axisminetech.com



QL40.ABI-2G acoustic borehole imager ABI40.GR-2G



Principle of measurement

The ABI produces images of the borehole wall which are based on the amplitude and time of travel of an ultrasonic beam reflected from the formation wall. The ultrasonic energy wave is generated by a specially designed piezoelectric ceramic crystal and has a frequency of around 1.2MHz. On triggering, an acoustic energy wave is emitted by the transducer and travels through the acoustic head and borehole fluid until it reaches the interface between the borehole fluid and the borehole wall. By careful time sequencing the piezoelectric transducer acts as both transmitter of the ultrasonic pulse and receiver of the reflected wave. The travel time for the energy wave is the period between transmission of the source energy pulse and the return of the reflected wave measured at the point of maximum wave amplitude. The magnitude of the wave energy is measured in dB, a unit less ratio of the detected echo wave amplitude divided by the amplitude of the transmitted wave.

Measurements / Features

Open hole mode

- 360° unwrapped and oriented image of the borehole wall based on travel time and amplitude records : caliper and amplitude image logs
- Deviation parameters : azimuth, tilt, tool relative bearing, magnetic field, gravity

Cased Hole mode

- 360° unwrapped image of the steel casing based on travel time and amplitude records : caliper, amplitude, thickness and score image logs

Behind PVC mode

- 360° unwrapped and oriented image of the PVC casing and borehole wall based on travel time and amplitude records : caliper and amplitude image logs
- Deviation parameters: azimuth, tilt, tool relative bearing, magnetic field, gravity

Operating Conditions

- Borehole filled with water or water based mud
- Open & cased hole
- Tool centralization required
- PVC casing centralization required for "Behind PVC" operating mode
- Logging speed: variable – function of image resolution, borehole diameter, wireline and acquisition system model. i.e. 8m/min in 7" diameter borehole with 144 azimuthal resolution - 4mm vertical sampling rate @ 250kbps baud rate.

Technical Specifications

- Diameter : 40mm (1,575")
- Length (min/max): 1.61/2,12 m (63/83")
- Weight (min/max): 6,7/8,7 kgs (14,7/19,2 lbs)
- Max temp : 70°C
- Max pressure : 200 bar
- Electronic architecture :
16 Bit (96db) / 10Msps Analog to Digital converter
150Mflops Digital Signal Processor

Acoustic sensor

- Fixed transducer and rotating focusing mirror
- Focus optimized for 6" borehole (152mm)
- Frequency : 1.2 Mhz
- Acoustic beam width : 1.5 mm (-3db) focal distance
- Rotation speed : up to 35 revolutions per second - automatic
- Samples per revolution : 72, 144, 216, 288 and 360 user defined
- Caliper resolution : 0.08mm (0,003")
- Measurement range : 2" to 20" borehole depending on mud conditions

Orientation sensor

- APS 544 - 3-axis magnetometer – 3-axis accelerometer
- Inclination accuracy : +/- 0.5 degree
- Azimuth accuracy : +/- 1.2 degree

Natural gamma ray sensor

- 0,875" x 3" NaI (Ti) scintillation crystal

The specifications are not contractual and are subject to modification without notice.



Zoning de Solupla Bât A | route de Niederpallen | L-8506 Redange | Luxembourg | Tel. +352 23 649 289 | www.alt.lu
36th Floor, Menara Maxis | Kuala Lumpur City Centre | 50088 Kuala Lumpur | Malaysia | Tel. +60 3 2615 7261 | www.alt.lu



QL40 OBI 2G OBI40 GR 2G

Optical Borehole Imager

Principle of measurement

The tool incorporates a 1/3-inch CMOS digital image sensor and matching fisheye optics. The digital image sensor captures the reflection of the borehole wall through the fisheye lens. The light source is provided by 10 high efficiency LEDs.

The displayed log image is derived from a single annulus extracted from the active pixel array. Azimuthal resolutions available are 120, 180, 360, 600, 900 and 1800 points per recorded circle. By using processed digital images in combination with deviation sensor data, the tool can generate an unwrapped 360° oriented image.

Measurements / Features

- 360° RGB true color oriented image
- Borehole azimuth and tilt
- Relative bearing
- 3 accelerometer calibrated components
- 3 magnetometer calibrated components
- Temperature of CMOS image sensor
- Natural gamma in cps or API units (optional – OBI40GR-2G)

Operating Conditions / Compatibility

- Dry or clear water filled borehole
- Centralizers required
- Borehole diameter range: 2 1/2" to 21"
- Logging speed: Function of image resolution and wireline electrical properties
i.e: 6 m/min with 900 pixels azimuthal resolution, 2 mm vertical sampling rate @ 100 Kbps
- Wirelines: Multi conductor, mono or coaxial cables
- Acquisition systems: ALTLogger, BBOX and Matrix
- Min. software configuration: LoggerSuite 11.2 – Wellcad 5.0 build 1103

Technical Specifications

- Diameter: 40 mm (1.6")
- Length: 1.47 m (57.9")
- Weight: 5.3 kg (11.7 lbs)
- Max. Temperature: 70°C (158°F)
- Max. pressure: 200 bar (2900 PSI)

Optical system

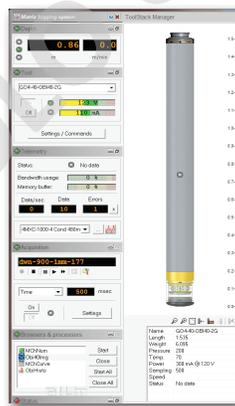
- Sensor: 1/3" high sensitivity CMOS digital image sensor
- Color resolution: 24 bits RGB true colors
- Responsivity: 5.48V/lux-sec
- Azimuthal resolutions: 120, 180, 360, 600, 900, 1800 points
- Vertical resolution: User defined. Function of depth encoder vertical resolution

Light source

- Light source: High efficiency LEDs
- Color temperature: 5600 K
- Light intensity: 750 lm
- Color rendering index: 80 %
- Power max.: 5.60 W

Orientation sensor

- Sensor: APS544 – 3 axis magnetometer and 3 axis accelerometers
- Azimuth accuracy: +/- 1.2 deg
- Tilt accuracy: +/- 0.5 deg

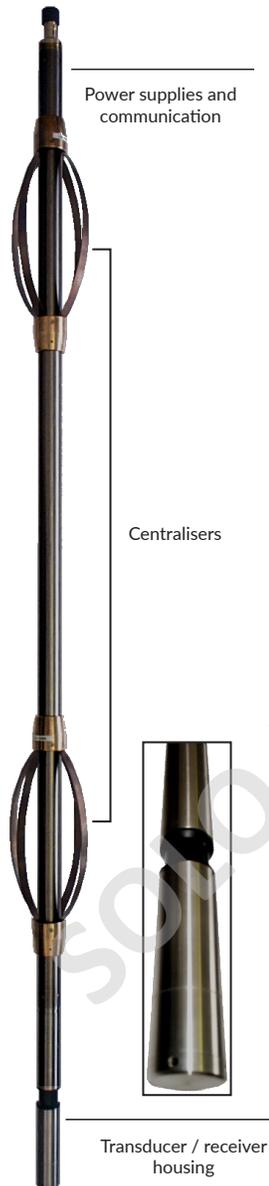


Mount Sopris Instrument Co. Inc. | 4975 E. 41 st Ave. Denver | CO 80216 | USA | Ph. 303 279 3211 | www.mountsopris.com



Zoning de Solupla Bât A | route de Niederpallen | L-8506 Redange | Luxembourg | Tel. +352 23 649 289 | www.alt.lu
36th Floor, Menara Maxis | Kuala Lumpur City Centre | 50088 Kuala Lumpur | Malaysia | Tel. +60 3 2615 7261 | www.alt.lu

Acoustic Borehole Imaging probe BHTV 42 & BHTV 42G



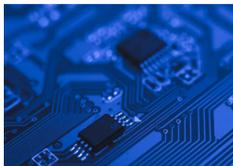
The **BHTV 42** televiwer tool employs a rotating transducer mounted at the lower extremity of the tool to send a highly focalised ultrasonic pulse radially outwards towards the borehole wall up to 360 times per revolution, the amplitude and travel time of which are measured on its return to the tool after reflection at the borehole wall. This information, combined with the data given by the tool's onboard orientation system, provides an extremely detailed and orientated acoustic image of the borehole wall. The televiwer tool is used wherever orientated geological structure information is required.

SPECIFICATIONS :

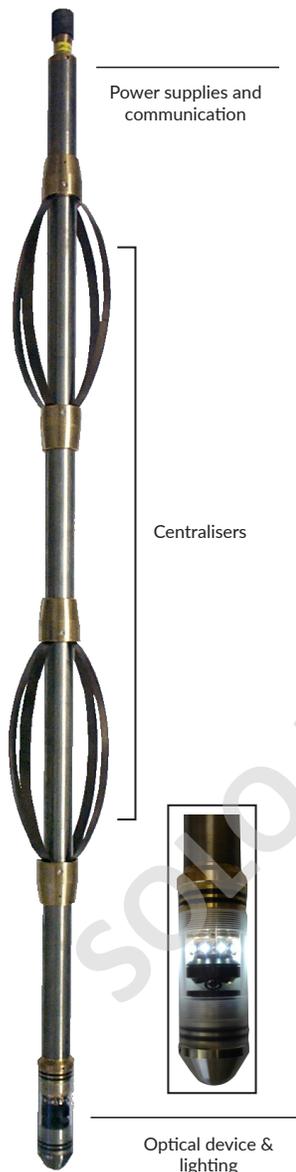
- Diameter : 42 mm
- Length : 2100 mm
- Weight : 8 Kg
- Max. Temp / Pressure : 70°C/200 bar
- Housing : titanium and non magnetic brass
- Transducer type : 1 inch focussed piezocomposite sensor and rotating mirror
- Signal frequency : 1.5 MHz
- Acoustic beam angle : 3° (3dB) conical
- Amplification : 0 to 60 dB, in 1 dB steps and AGC
- Pulses per resolution : 90, 120, 180 or 360 (horizontal definition)
- Vertical definition : Unlimited, determined by logging speed
- Rotation speed : Up to 20 revolutions per second
- Orientation : Triple magnetometers / accelerometers
- Orientation accuracy : +/-0.5° dipping ; +/-1.0° azimuth

OPTIONS ACCESSORIES :

- Gamma ray sensor
- Verticality calibrator, bowspring centralisers, centraliser collar, weighter (load)



Optical Borehole Imaging probe OPTV 52 & OPTV 52G



A precision wide angle lens and a CMOS camera assembly permits a high definition video image of the borehole wall to be captured in a variety of horizontal and vertical resolutions. The resulting image is digitised in the sonde and combined with the orientation data for transmission to the surface.

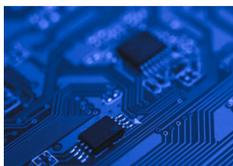
The orientated, unrolled image log, whether as a standalone product or when forming the basis of a detailed structural interpretation, proves immensely useful in a wide variety of applications. These include core orientation, fracture detection and analysis, bedding dip and direction, lithological characterisation.

SPECIFICATIONS :

- Diameter : 52 mm
- Length : 1630 mm
- Weight : 6.70 Kg
- Max. Temp / Pressure : 100 Bar/60°C + 200 Bar/60°C kit in option (the probe diameter changes to 62mm)
- Camera sensor : 1280 x 1024 pixels CMOS on board digitalisation
- Picture format : 24 bit RGB
- Horizontal definition : 360/540/720/900/1080/1260/1440 pixels
- Vertical definition : unlimited (defined to logging speed)
- Orientation : triple magnetometers / accelerometers
- Orientation accuracy : +/-0.5° dipping ; +/-1° azimuth

OPTIONS ACCESSORIES :

- Gamma ray sensor
- Verticality calibrator, bowspring centralisers, centraliser collar supplementary sinker weight, transport case



Electromind SA (LIM Group)
Tél : +352 26 30 53 13
Email : electromind@lim.eu
Website : electromind.eu

Anexo B: Tablas de Datos

DHID	Pozo	N° de Entradas (Ranks)	DHID	Pozo	N° de Entradas (Ranks)	DHID	Pozo	N° de Entradas (Ranks)
1	LB170066	1.751	41	LB190017	2.088	81	LB200029	1.212
2	LB170069	2.012	42	LB190018	2.595	82	LB200030	1.477
3	LB170073	1.626	43	LB190021	3.533	83	LB200032	1.253
4	LB180004	696	44	LB190022	1.040	84	LB200033	1.453
5	LB180059	342	45	LB190024	1.209	85	LB200034	1.623
6	LB180060	575	46	LB190026	1.293	86	LB200035	971
7	LB180063	411	47	LB190033	2.519	87	LB200039	303
8	LB180066	619	48	LB190038	1.480	88	LB200040	629
9	LB180071	604	49	LB190042	1.403	89	LB200041	904
10	LB180073	1.569	50	LB190043	1.360	90	LB200042	1.035
11	LB180075	599	51	LB190049	58	91	LB200043	1.962
12	LB180079	3.006	52	LB190051	661	92	LB200044	3.164
13	LB180084	1.441	53	LB190053	294	93	LB200046	2.280
14	LB180093	616	54	LB190054	1.994	94	LB200047	1.684
15	LB180094	5.580	55	LB190059	1.734	95	LB200049	1.422
16	LB180096	1.709	56	LB190061	878	96	LB200052	3.043
17	LB180101	1.451	57	LB190062	1.217	97	LB200053	6.521
18	LB180108	2.441	58	LB190063	1.676	98	LB200061	3.294
19	LB180109	460	59	LB190064	958	99	LB200062	1.334
20	LB180115	2.080	60	LB190069	3.687	100	LB200066	4.391
21	LB180117	1.545	61	LB190072	1.324	101	LB200075	704
22	LB180119	303	62	LB190073	2.702	102	LB200077	930
23	LB180120	2.608	63	LB190076	960	103	LB210001	1.246
24	LB180121	1.650	64	LB190077	891	104	LB210005	1.442
25	LB180126	1.259	65	LB190084	6.492	105	LB210007	2.000
26	LB180128	1.649	66	LB190085	2.566	106	LB210008	1.271
27	LB180134	74	67	LB190086	2.831	107	LB210012	2.761
28	LB180135	1.451	68	LB190095	3.376	108	LB210018	2.930
29	LB180136	1.242	69	LB190096	2.642	109	LB210019	3.494
30	LB180140	659	70	LB190097	1.524	110	LB210021	1.934
31	LB180148	1.048	71	LB190098	2.802	111	LB210022	1.237
32	LB180152	1.520	72	LB190099	2.632	112	LB210024	1.843
33	LB180154	1.442	73	LB190101	5.918	113	LB210026	2.082
34	LB190001	3.205	74	LB190102	1.291	114	LB210034	1.452
35	LB190002	1.998	75	LB190107	1.347	115	LB210036	1.562
36	LB190005	1.138	76	LB190118	1.895	116	LB210040	1.406
37	LB190006	596	77	LB200002	6.031			
38	LB190007	723	78	LB200012	4.401			
39	LB190012	766	79	LB200016	643			
40	LB190015	1.083	80	LB200019	1.346			
							Total:	209.087

Tabla 4: Tabla de pozos de la base de datos global. Se expone el número de entradas por pozo.

DHID	Pozo	N° de Entradas (Ranks)
1	LB170066	1.751
2	LB170069	2.012
3	LB170073	1.626
4	LB180004	696
5	LB180059	342
6	LB180060	575
7	LB180071	604
8	LB180073	1.569
9	LB180079	3.006
10	LB180084	1.441
11	LB180094	5.580
12	LB180096	1.709
13	LB180136	1.242
14	LB190069	3.687
15	LB190072	1.324
16	LB190073	2.702
17	LB190076	960
18	LB190084	6.492
19	LB190086	2.831
20	LB190097	1.524
21	LB190101	5.918

DHID	Pozo	N° de Entradas (Ranks)
22	LB190118	1.895
23	LB200012	4.401
24	LB200035	971
25	LB200039	303
26	LB200040	629
27	LB200043	1.962
28	LB200044	3.164
29	LB200046	2.280
30	LB200047	1.684
31	LB200049	1.422
32	LB200052	3.043
33	LB200061	3.294
34	LB200062	1.334
35	LB200066	4.391
36	LB210012	2.761
37	LB210021	1.934
38	LB210036	1.562
39	LB210040	1.406

Total:	86.027
--------	--------

Tabla 5: Tabla de pozos seleccionados de la Fase Infiernillo 5. Se expone el número de entradas por pozo.

Base de Datos (116 Sondajes)		
Rank	Número	Porcentaje
Rank 1	74.832	35,79%
Rank 2	23.137	11,07%
Rank 3	905	0,43%
Rank 4	247	0,12%
Rank 5	109.433	52,34%
Rank 6	513	0,25%
Rank 7	20	0,01%

Total:	209.087	100%
--------	---------	------

Base Datos Acotada (39 Sondajes)		
Rank	Número	Porcentaje
Rank 1	28.068	32,63%
Rank 2	7.880	9,16%
Rank 3	369	0,43%
Rank 4	120	0,14%
Rank 5	49.379	57,40%
Rank 6	204	0,24%
Rank 7	7	0,01%

Total	86.027	100%
-------	--------	------

Tabla 6: La tabla izquierda muestra los pozos de la base de datos global por clasificación de Rank, la tabla derecha muestra los pozos de la base de datos acotada a la fase de Infiernillo 5 por clasificación de Rank.

Pozo	N° Vetillas Mapeo Geólogo	N° Vetillas Televiewer	Relación Televiewer / Mapeo	Tipo de Mapeo
LB170066	259	428	165,3%	Sistemático
LB170069	731	1.577	215,7%	Sistemático
LB180004	154	145	94,2%	Sistemático
LB180059	103	81	78,6%	Sistemático
LB180060	159	331	208,2%	Sistemático
LB180071	127	329	259,1%	Sistemático
LB180073	479	701	146,3%	Sistemático
LB180079	559	1.430	255,8%	Sistemático
LB180084	114	170	149,1%	Sistemático
LB180094	1.034	743	71,9%	Sistemático
LB180096	29	24	82,8%	Sistemático
LB180136	805	856	106,3%	Sistemático
LB190069	970	2.254	232,4%	Sistemático
LB190072	113	316	279,6%	Sistemático
LB190073	471	1.431	303,8%	Sistemático
LB190076	269	368	136,8%	Sistemático
LB190084	2.308	2.755	119,4%	Sistemático
LB190086	895	1.686	188,4%	Sistemático
LB190101	2.039	3.169	155,4%	Sistemático
LB190118	28	48	171,4%	Sistemático
LB200035	70	209	298,6%	Sistemático
LB200039	15	72	480,0%	Aleatorio
LB200040	14	76	542,9%	Aleatorio
LB200043	19	136	715,8%	Aleatorio
LB200044	136	809	594,9%	Aleatorio
LB200046	3	64	2.133,3%	Aleatorio
LB200047	40	387	967,5%	Aleatorio
LB200049	11	65	590,9%	Aleatorio
LB200052	22	123	559,1%	Aleatorio
LB200066	57	862	1.512,3%	Aleatorio
LB210012	871	1.886	216,5%	Aleatorio
LB210036	8	231	2.887,5%	Aleatorio

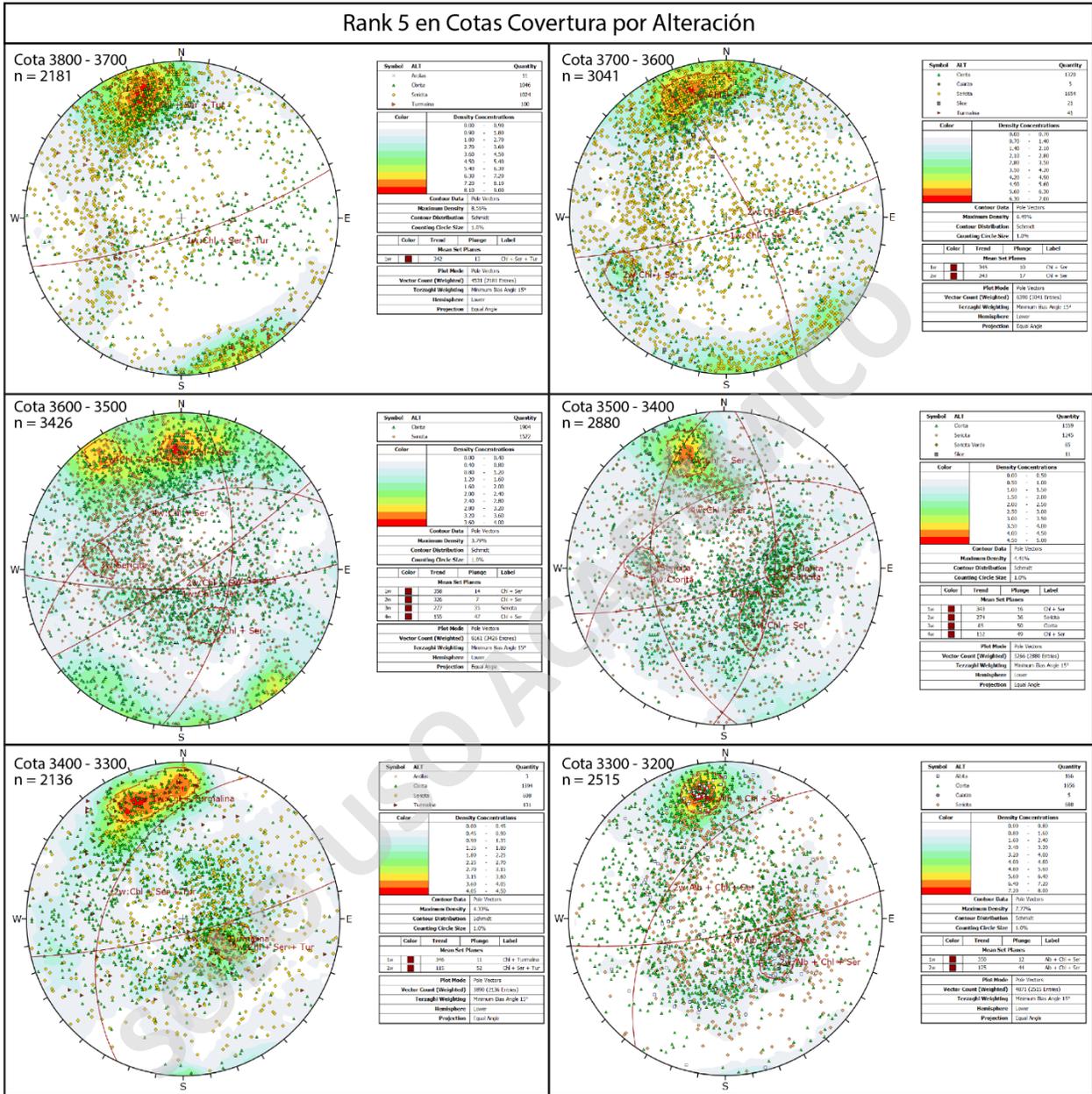
Tabla 7: Tabla comparativa de mapeo por número de vetillas realizado por el geólogo con el número de vetillas (clasificadas como Rank 5) medidas con televiewer. La tabla muestra un tipo de mapeo sistemático (cada 5 metros) y mapeo de tipo variable (desde 1 hasta 60 metros).

Tipo de Vetilla	Número de Tramos (5m)	Suma de Vetillas	Porcentaje Tramos	Porcentaje Suma Vetillas	Estadística de Vetillas por Tramos de 5 m					
					Máximo	Promedio	Mediana	Moda	Desv. Estándar	Varianza
VET_VEB_NUM	112	345	2,23%	1,59%	8	3,08	3	3	1,06	1,12
VET_VM_NUM	5	11	0,10%	0,05%	3	2,20	2	3	0,84	0,70
VET_VA_NUM	384	1.378	7,65%	6,36%	25	3,59	3	2	3,05	9,29
VET_VB_NUM	176	974	3,51%	4,50%	26	5,53	5	5	4,29	18,39
VET_VC_NUM	55	164	1,10%	0,76%	15	2,98	2	2	2,84	8,06
VET_VC1_NUM	36	93	0,72%	0,43%	8	2,58	2	2	1,68	2,82
VET_VC2_NUM	925	5.507	18,43%	25,43%	37	5,95	4	4	5,27	27,77
VET_VC3A_NUM	610	1.734	12,16%	8,01%	15	2,84	3	3	1,01	1,02
VET_VC3B_NUM	401	1.243	7,99%	5,74%	7	3,10	3	3	1,15	1,32
VET_VD_NUM	1.659	8.480	33,06%	39,16%	27	5,11	4	3	3,66	13,37
VET_VDT_NUM	655	1.723	13,05%	7,96%	15	2,63	2	1	2,18	4,75

Total:	5.018	21.652	100%	100%
--------	-------	--------	------	------

Tabla 8: Resumen estadístico de la clasificación de vetillas mapeadas en celdas sistemáticas (21 sondajes).

Anexo C: Diagramas de Contornos de Polos Adicionales



Rank 5 en Cotas Cobertura por Alteración

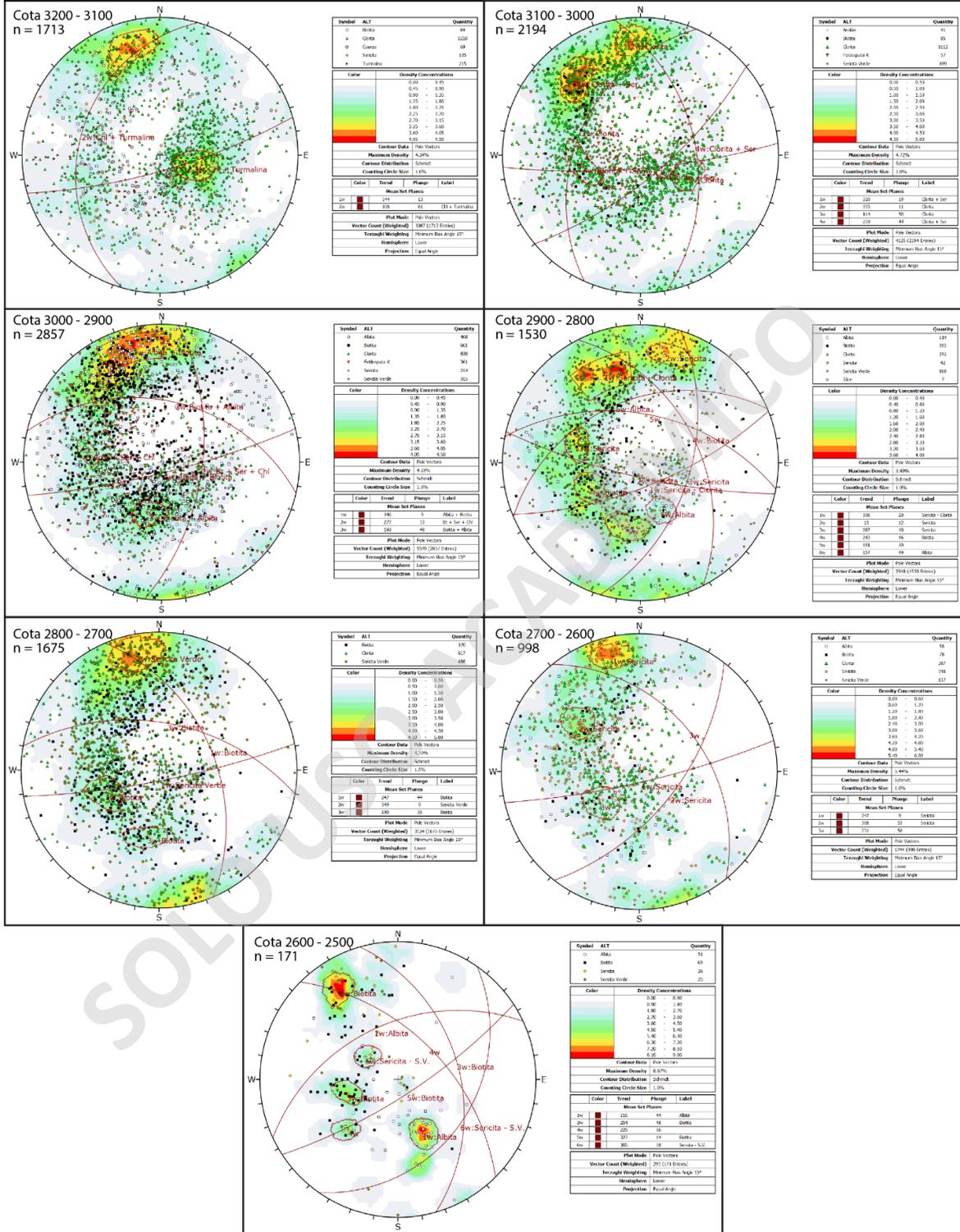


Figura A.1: Diagramas de contorno de polos en tramos de 100 metros, desde la cota 3.800 a la 2.500 La cobertura es una vista general de todas las estructuras clasificadas como Rank 5 en zonas de alteración con mineral dominante y abarca todos los pozos que caen dentro de los tramos. Cada grafico muestra un promedio general del comportamiento estructural global de los datos en dichos tramos.