



EVALUACIÓN GEOLÓGICA CON SONDAJES DIAMANTINOS DEL PROSPECTO INCAHUASI, REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Efraín Andrés Núñez Acevedo

Profesional Guía: Sr. Álvaro Muñoz Muñoz
Profesor Guía: Msc. Abraham Elías González Martínez.
Profesores Comisión: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra.
Dr. Luis Arturo Héctor Quinzio Sinn.

Resumen.

El Prospecto Incahuasi está ubicado en la región de Antofagasta, aproximadamente 890 kilómetros al norte de Santiago, sobre la traza del Sistema de Falla de Domeyko (SFD; Cornejo y Mpodozis, 1996) y en la faja de pórfidos del Eoceno superior-Oligoceno inferior (Camus, 2003).

Consiste en una zona de alteración fílico-argílica de 3x1,5 km², elongada en dirección NE-SW, donde afloran brechas hidrotermales y freatomagmáticas de cuarzo-turmalina-pirita y pórfidos dioríticos relacionados al “Complejo Intrusivo Santa Ana”, que corta a rocas volcanoclásticas jurásicas y paleocenas, y fuera del área de estudio genera una aureola de rocas córneas y una zona de *skarn* de piroxeno y magnetita (Cornejo y Mpodozis, 1996).

Se ejecutaron tres sondajes diamantinos, perforando principalmente rocas volcánicas y subvolcánicas del Jurásico al Paleógeno, las que muestran un estilo de alteración/mineralización tipo IOCG con vetillas de magnetita-actinolita-calcita±granate y alteración/brechización incipiente por magnetita-clorita-epidota-albita-feldespato potásico±actinolita-apatito, al que se sobreimpone un evento epitermal tardío de baja-intermedia sulfidización que está expresado por vetillas y vetas de cuarzo-carbonatos con texturas bandeadas y de reemplazo, y con mineralización de pirita±sulfosales de cobre-pirrotina-oro nativo.

A las profundidades *testeadas* no se interceptaron evidencias de mineralización tipo pórfido cuprífero.

Palabras Claves: *Perforación; sondajes diamantinos; Sistema de Falla de Domeyko; Incahuasi; Pórfido cuprífero; Eoceno; IOCG.*

1. Introducción

El prospecto Incahuasi se encuentra amparado por el bloque de propiedades Domeyko Sur de Vale Exploraciones Chile y consiste en una zona de alteración de 3 x 1,5 km², elongada en dirección NE-SW, ubicado sobre la traza del Sistema de Falla de Domeyko (SFD; Cornejo y Mpodozis, 1996) y en la faja de pórfidos del Eoceno superior-Oligoceno inferior (Camus, 2003). En trabajos de superficie se reconoce una zona de alteración fílico-argílica, el afloramiento de brechas hidrotermales y freatomagmáticas de cuarzo-turmalina-pirita y pórfidos dioríticos, además de *chips* de sondajes de aire reverso perforados en el área (Via, 2018). Estos trabajos fueron complementados por estudios geofísicos y culminaron con el diseño de una campaña de seis proposiciones de sondajes y la ejecución de tres sondajes diamantinos, cuyos resultados son presentados en este trabajo.

1.1. Objetivo General

- Evaluar el potencial de los blancos de exploración definidos en el prospecto Incahuasi, del bloque de propiedades Domeyko Sur.

1.2. Objetivos Específicos

- Compilar trabajos geológicos y geofísicos previos realizados por la compañía en el área.
- Diseñar una campaña de sondajes diamantinos.
- Describir unidades geológicas presentes en los sondajes diamantinos perforados.
- Confeccionar tres secciones geológicas; una para cada sondaje.
- Realizar la interpretación litogeoquímica de las unidades perforadas.

1.3. Ubicación del Área de estudio

El prospecto Incahuasi está ubicado en la región de Antofagasta, aproximadamente a 890 kilómetros al norte de Santiago. Para acceder desde Antofagasta, se hace por la Ruta 28 en dirección La Negra hasta la Ruta 5, por donde se continúa en dirección al Sur 200 kilómetros, para luego tomar la ruta B-885 en dirección hacia el Salar de Aguas Calientes. En el kilómetro 40 hay una ruta de ripio, sin número, hacia el Sureste, que cruza la Quebrada del Chaco y llega al prospecto, luego de 40 kilómetros aproximadamente (Figura 1.1).

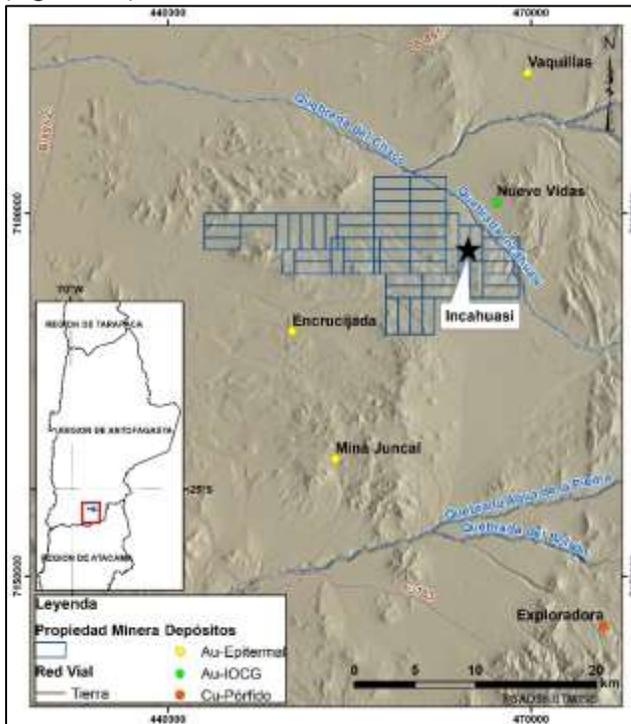


Figura 1.1 Ubicación del área de estudio. En azul parte de las propiedades mineras de Vale Exploraciones Chile.

1.4. Agradecimientos

Agradezco a Vale Exploraciones Chile por la autorización para presentar los resultados de la

campaña de perforación. En particular, a los colegas José Miguel López y Álvaro Muñoz, por su insistencia y constante motivación que resultó en este trabajo que me permite finalizar mi trabajo de título.

A los profesores y trabajadores del departamento de Geología de la Universidad de Concepción por sus enseñanzas durante toda mi estadía en la carrera y consejos en terreno.

Finalmente, a mi familia, a quienes debo la vida, financiaron mi etapa universitaria en Concepción y deseaban este título tanto como yo.

2. Marco Geológico

2.1. Generalidades

La zona de estudio se encuentra en el límite entre los “dominios estructurales occidental y central” (Cornejo y Mpodozis, 1996), donde en el “Dominio Occidental” (borde este de la depresión intermedia) dominan rocas volcánicas con algunas intercalaciones de rocas sedimentarias marinas e intrusivas del Mesozoico al Cenozoico, mientras que en el “Dominio Central” (Precordillera o Cordillera de Domeyko) afloran unidades del Paleozoico al Cenozoico, principalmente rocas sedimentarias continentales y marinas, rocas volcánicas e intrusivos subvolcánicos del Eoceno superior relacionados a mineralización.

2.2. Rocas Estratificadas

- **Formación Candeleros (Jurásico Superior) (Naranjo y Puig, 1984):** Nivel superior compuesto por lavas andesíticas, brechas volcanoclásticas con intercalaciones de calcilitas y cerca de la base niveles de cherts laminados rojos y verdes.
- **Secuencia Volcánica Cerro Nevado (Paleoceno inferior, 64-61 Ma) (Cornejo y Mpodozis, 1996):** Secuencia constituida por lavas andesíticas fluidales, andesítico-basálticas y daci-andesíticas y un nivel basal de volcarenitas de coloración rojiza.
- **Ignimbritas Llano Las Vicuñas (19-17 Ma, Mioceno medio) (Cornejo y Mpodozis, 1996):** Depósitos de flujos piroclásticos soldados formado principalmente por tobas dacíticas y daci-andesíticas, de cristales, líticos y pómez con niveles basales de vitrófros.

2.3. Rocas Intrusivas

- **Monzodioritas de Sierra Santa Ana y Quebrada Incahuasi (ca. 46 Ma) (Cornejo y Mpodozis, 1996):** *Stocks* de 1-5 km², de textura microgranular, con plagioclasa y menos feldespato potásico y cuarzo. También se reconocen abundantes piroxenos reemplazados por actinolita, con magnetita diseminada y microvenillas de actinolita y clorita.
- **Dioritas de Quebrada Oreganito (45-45 Ma) (Cornejo y Mpodozis, 1996):** Pequeños *stocks* de 0,5 a 2 km² de rocas microcristalinas con textura porfídica y fenocristales de plagioclasa y piroxeno reemplazados por anfíbol en una masa fundamental intergranular intensamente argilizada.
- **Riolitas Santa Ana (Cornejo y Mpodozis, 1996):** *Sills* y diques de pórfidos riolíticos y riolitas afaníticas que intruyen secuencias volcánicas del Eoceno. Poseen pequeños cristales de cuarzo y plagioclasa argilizada en una masa fundamental cuarzo-feldespática fina.
- **Pórfidos andesíticos de Sierra Santa Ana (Cornejo y Mpodozis, 1996):** Diques y *sills* de hasta 4 km de largo, de grano medio, con fenocristales de plagioclasa y anfíbol cloritizados y una masa fundamental felsítica, moderadamente argilizada y recristalizada.

2.4. Estructuras

El rasgo estructural mayor del área corresponde al Sistema de Fallas de Domeyko, que en la zona está expresado por el Sistema de Falla Gran Llano, la que define el límite entre el "Dominio Central" que contiene la Faja Plegada y Corrida de Sierra Exploradora (FPCE; Cornejo y Mpodozis, 1996) y el "Dominio Occidental" que está conformado por las rocas del Cretácico Superior al Eoceno medio, las que están afectadas por una deformación moderada, con pliegues de gran longitud de onda.

2.5. Geología Económica

Durante el Paleógeno se emplazaron unidades subvolcánicas a las que se asocia la mineralización. Las minas Curoqui I y II contienen Au-Ag con minerales oxidados de cobre. Al norte de Quebrada Incahuasi, se ubica la mina Victoria, que explotó una veta que contiene mineralización oxidada de plata y cobre. En el Eoceno superior destacan numerosos intrusivos subvolcánicos (42-34 Ma), dioríticos a

riolíticos, que generaron mineralización vetiforme de Cu, Au-Cu, polimetálicos y tipo pórfidos cupríferos de pequeño volumen (prospecto Sierra Jardín, ca. 42 Ma, y prospecto Exploradora, ca. 35 Ma)

3. Metodología

Se definió una propuesta de perforación (Tabla 3.1) de seis recomendaciones (Figura 3.1, anexo), de las cuales se perforaron tres, alcanzando 1.683 m (Tabla 4.1, anexo).

Tabla 3.1. Propuesta programa de perforación DDH Incahuasi 2019

Recomendación	X_PSAD56	Y_PSAD56	Elevación	Azimuth	Dip	Largo
INTI-A	466470	7176530	3139	120	-80	700
INTI-B	466875	7176975	3197	120	-80	700
INTI-C	465985	7175500	3265	120	-80	700
INTI-D	465150	7174670	3273	120	-80	700
INTI-E	467064	7177240	3155	140	-75	700
INTI-F	466578	7176898	3203	120	-80	700

Los sondeos fueron perforados desde superficie por la empresa Foraco, entre agosto y septiembre de 2019, con una sonda modelo LF-230, en diámetro HQ.

Los testigos recuperados se pusieron en cajas de cartón de cuatro canaletas, donde fueron regularizados y se realizó la medición sistemática de susceptibilidad magnética con un susceptibilímetro portátil "KT-10". Luego en la Muestrera, se efectuó el mapeo geotécnico, mapeo geológico preliminar y mediciones sistemáticas con los equipos de fluorescencia de rayos X ("pXRF") y Halo Terraspec. Posteriormente, las cajas con testigos se enviaron al laboratorio ALS Global en La Serena para su fotografía, marcado de línea de corte, corte, preparación mecánica, inserción de muestras de control y análisis químico. El soporte de muestreo fue de 2 metros, siendo cada muestra preparada según código ALS PREP-31B y analizada por método ICP detección ultra traza, bajo digestión de cuatro ácidos (HNO₃-HClO₄-HF-HCl), según código ME-MS61, y oro a través de fusión a fuego y espectroscopia de absorción atómica, según código Au-ICP21 (ALS, 2021).

Finalmente, se realizó un *reloqueo* de los sondeos perforados, complementado con trabajos de petrografía/calcografía y geoquímica, y se confeccionaron tres secciones NW/SE para definir las

unidades litológicas del prospecto.

4. Resultados

4.1. Generalidades

Los tres sondajes fueron perforados en el norte, centro y sur de la zona de alteración y cortaron secuencias volcánicas y subvolcánicas andesíticas y algunas brechas freatomagmáticas e hidrotermales (Figura 3.1 y Tabla 4.1, en anexo).

4.2. Descripción geológica de sondajes

Sondaje DSP-INCA-DH00001:

Este sondaje muestra hasta los 60,4 m andesita porfídica con alteración esmectita±caolinita-turmalina-sericita y vetillas de limonitas y yeso (Figura 4.1a). De 60,4 a 91,85 m continúa la misma andesita porfídica, pero localmente brechosa (brecha volcánica andesítica), con alteración cuarzo-illita±turmalina-sericita y afectada, de forma incipiente, por brechización de cuarzo-turmalina-pirita. Entre 91,85 y 99 m brecha hidrotermal de cuarzo-turmalina-pirita, monomítica, con clastos angulosos poco rotados y alteración cuarzo-illita±sericita-turmalina-carbonato-caolinita de fragmentos y matriz (Figura 4.1b). Entre 99 y 147,65 m secuencia volcánica andesítica formada por brechas volcánicas y andesitas porfídicas de anfíbol con textura de flujo, alteración illita-esmectita débil, turmalina diseminada y clorita selectiva sobre máficos. De 147,65 a 166 m se describe una andesita porfídica de anfíbol relativamente fresca (alteración illita-esmectita débil y clorita selectiva sobre máficos), con pirita diseminada en trazas y algunas vetillas de yeso y calcita. Entre 166 y 227 m aparece una secuencia volcánica andesítica, compuesta por brechas volcánicas andesíticas pardo amarillentas a moradas, con alteración cuarzo-illita-esmectita débil a moderada y 0,5-1,0% de pirita diseminada y en vetillas finas, y andesitas porfídicas de anfíbol relativamente frescas (clorita selectiva en máficos). De 227 a 257 m, andesita porfídica de anfíbol con alteración clorítica selectiva. Entre 257 y 268,45 m se reconoce brecha volcánica gris amarillenta con alteración illita-esmectita moderada, turmalina diseminada en nidos y 0,5-1% de pirita diseminada y en vetillas. Finalmente, entre 268,45 y el final de

pozo (626,10 m), se repite la misma secuencia descrita anteriormente de andesitas porfídicas de anfíbol con variaciones texturales de fenocristales (Figura 4.1c), localmente con texturas brechosas y de flujo, alteración clorita-calcita-epidota moderada, vetillas de calcita, vetillas puntuales de magnetita y pirita diseminada en trazas hasta 0,5% y brechas volcánicas andesíticas con alteración illita-esmectita±caolinita-clorita-epidota-turmalina débil a moderada, vetillas de clorita-calcita-epidota y 0,5-1% de pirita diseminada y en vetillas y puntualmente especularita. No se observan vetillas tipo pórfido.

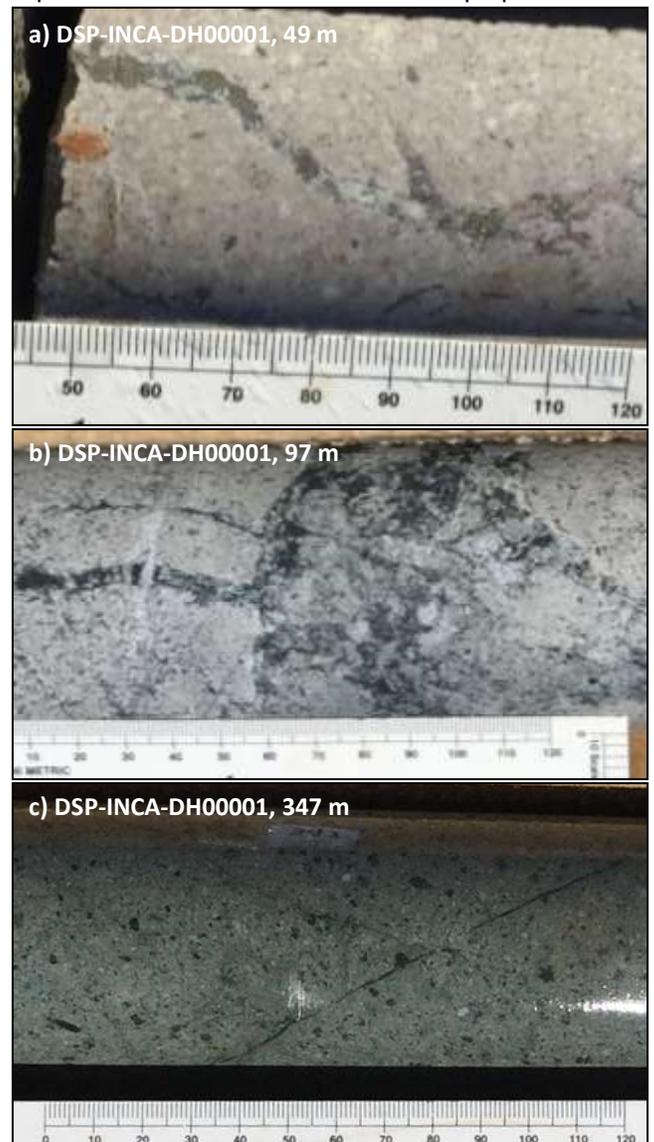


Figura 4.1 Litologías DSP-INCA-DH00001. a) Andesita porfídica cortada por vetilla de qz-py; b) Brecha volcánica andesítica, incipiente brechización cuarzo-turmalina-pirita; c) Andesita porfídica de anfíbol (Diorita porfídica a inequigranular según petrografía).

Sondaje DSP-INCA-DH00002

El sondaje DSP-INCA-DH00002 tiene hasta los 11,10 m una brecha volcánica andesítica con fuerte alteración esmectita-caolinita-illita pervasiva y limonitas en vetillas y como reemplazo de posibles sulfuros. De 11,10 a 25,20 m andesitas porfídicas de color amarillo a gris, textura obliterada por alteración fuerte cuarzo-sericita-illita, limonitas en vetillas y fracturas con algunos remanentes de pirita diseminada y vetillas de yeso. Entre 25,20 y 76,40 m diorita fina gris verdosa con textura en parte porfídica, alteración a illita-clorita selectiva moderada a fuerte en máficos y cúmulo, en tramos sobreimpuesta a feldespato potásico de fondo. Domina pirita diseminada y en vetillas con 3-5%. A partir de 76,40 hasta 106,30 m pórfidos dioríticos gris-verdosos a gris-rosados, localmente con aspecto brechoso, alteración clorita selectiva sobre máficos, sobreimpuesta a feldespato potásico de fondo y 5-10% de pirita diseminada y en vetillas. De 106,30 a 161 m pórfido diorítico fino color gris claro dado por alteración cuarzo-sericita selectiva en máficos y pervasiva en masa fundamental, sobreimpuesta a alteración potásica de fondo y 5-8% de pirita diseminada, en cúmulos y vetillas, en el que destacan fenocristales de mayor tamaño y la aparición de vetas y vetillas de cuarzo-calcita con texturas bandeadas y de reemplazo y pirita subhedral gruesa (Figura 4.2a), expresión de un evento epitermal tardío que se sobreimpone. Entre 161 y 208 m andesitas porfídicas a pórfidos dioríticos con textura parcialmente obliterada por alteración y aspecto brechoso, con incipiente brechización hidrotermal de magnetita-clorita-hematita-epidota-feldespato potásico (Figura 4.2b). Los minerales de alteración principales son clorita-albita-epidota±cuarzo-sericita-actinolita con feldespato potásico relicto y vetillas de magnetita definiendo un ambiente calcosódico de intensidad moderada a fuerte, al que se sobreimpone pirita diseminada, en vetas y vetillas alcanzando entre 5-15%. De 208 a 214,80 m brecha hidrotermal monomíctica con fragmentos de pórfido andesítico, afectados por alteración a feldespato potásico-albita y matriz afectada por alteración cuarzo-sericita, con pirita diseminada en cúmulos y vetillas alcanzando hasta 20%. Solo se identifican vetillas de pirita-calcita-cuarzo en esta unidad. Entre 214,80 y 216,40 m se reconoce una estructura tipo veta/falla con 40% de pirita masiva, y luego otra brecha hidrotermal hasta

los 227,65 m, con clastos indiferenciados. Posee alteración propilítica fuerte de la matriz con clorita-calcita-epidota-albita-feldespato potásico y pirita en cúmulos y diseminada en clastos alcanzando un 40%. Se observan vetillas de pirita-calcita y calcita en esta brecha. Entre 227,65 y 229,80 m corta otra falla, similar a la anterior, con 40% de pirita masiva y alteración argílica fuerte, a la que sigue un pórfido diorítico que se extiende hasta los 245,25 m, de aspecto brechoso local, con alteración clorita-calcita-epidota pervasiva y selectiva fuerte, y 15% de pirita en vetillas, diseminada y en cúmulos. Vetas y vetillas de magnetita-epidota-clorita-carbonatos ±actinolita-hematita y pirita posterior cortan esta unidad y la brechizan incipientemente (Figura 4.2c). Luego, entre 245,25 y 253,00 m hay una nueva brecha hidrotermal de color gris negro con alteración clorita-epidota-albita-actinolita-carbonatos de matriz y feldespato potásico de fragmentos, 20% de pirita diseminada, en cúmulos y vetillas y magnetita diseminada. Entre 253,00 y 277,75 m secuencia de pórfidos andesíticos a dioríticos, de aspecto local brechizado, color gris verdoso, con alteración pervasiva a epidota-clorita-calcita y 5-15% de pirita diseminada y en vetillas. Desde 277,75 a 285,15 m brecha hidrotermal de color negro verdoso, con clastos indiferenciados afectados por alteración pervasiva a feldespato potásico-albita, epidota en cúmulos y vetillas con menor albita y sericita-esmectita pervasiva. La pirita se encuentra diseminada y en cúmulos junto con magnetita y hematita en la matriz de la brecha y en vetillas, alcanzando un 50%. Finalmente, desde 285,15 m hasta fondo del pozo (382,90 m), y en contacto por falla con unidad anterior, se identifican pórfidos andesíticos con textura parcialmente obliterada por alteración, la que varía de cuarzo-sericita moderada a fuerte pervasiva y débil clorita-calcita, que se sobreimpone a alteración albita-feldespato potásico-clorita-epidota de fondo, con mineralización de pirita diseminada, en vetas masivas y vetillas alcanzando 15%, junto con magnetita y hematita diseminada y en vetillas.

Sondaje DSP-INCA-DH00003

Este sondaje presenta hasta los 13,65 m brecha volcánica lixiviada de color pardo amarillo, clastos subangulosos a subredondeados, alteración esmectita-caolinita pervasiva fuerte, con limonitas diseminadas alterando máficos (5%), localmente agregados de cuarzo-turmalina y numerosas vetillas

de yeso. De 13,65 a 41,20 m brecha freato-magmática, polimíctica, con clastos juveniles parcialmente asimilados, textura de flujo y pirita diseminada en matriz que varía de 5-20% (Figura 4.3a).



Figura 4.2 Litologías DSP-INCA-DH00002. a) Pórfido diorítico cortado por vetilla epitermal de cuarzo-pirita-carbonatos+oro; b) Andesita porfídica afectada por brechización cuarzo-clorita-epidota-calcita-pirita-hematita; c) Pórfido diorítico cortado por vetilla de magnetita-hematita-carbonato-actinolita.

La alteración es cuarzo-illita±sericita-esmectita pervasiva moderada, calcita selectiva en cristales de plagioclasa y vetillas en matriz y cuarzo-feldespatos potásico-illita-esmectita en fragmentos. Sólo posee algunas vetillas muy locales, finas e irregulares de cuarzo-calcita-pirita±turmalina. Desde 41,20 a 85,50 m brechización hidrotermal incipiente de un protolito volcánico de textura obliterada por la pervasiva alteración cuarzo-illita±sericita-calcita-

turmalina, de fragmentos y matriz (Figura 4.3b). Posee 1-5% de pirita diseminada y en venillas finas y magnetita diseminada. La brecha se encuentra afectada por numerosas fallas con relleno de salbanda y presenta tramos silicificados.

De 85,50 a 113,30 m la brechización hidrotermal es solo local sobre una brecha volcánica andesítica con algunos fragmentos redondeados aislados de similar composición y que está alterada a cuarzo-illita±sericita. Entre 113,30 y 181,50 m pórfido diorítico de anfíbol con textura parcialmente obliterada por alteración cuarzo-sericita-illita±clorita pervasiva y posible feldespatos potásico de fondo. Está cortada por vetillas de cuarzo-pirita-yeso que la brechizan incipientemente. Desde 181,5 a 192,70 m pórfido diorítico gris verde con textura levemente brechosa, afectado por alteración cuarzo-clorita-epidota pervasiva y vetillas de clorita-pirita±hematita-epidota. Entre 192,70 y 483 m pórfido andesítico-diorítico gris rosado (Figura 4.3c), cortado en tramos por vetillas de cuarzo-pirita (goetita) que brechizan incipientemente y/o llegan a formar brechas hidrotermales de poca potencia (“alimentadores” de cuarzo gris y bandeado-pirita-goetita de contactos netos, fragmentos angulosos y textura oquerosa). Está afectado por alteración cuarzo-sericita-illita±feldespatos potásico-caolinita pervasiva y yeso rellenando espacios abiertos. Posee mineralización de pirita-goetita diseminada en matriz de tramos brechosos, en vetillas y en vesículas junto con calcopirita-pirrotina-marcasita (Geocronos, 2020). De 483 a 556,25 m toba de cristales andesítica, bandeada en 45° (con respecto al eje del sondaje), con textura fragmental de plagioclasas (¿o embahiamiento?), silicificación pervasiva e illita±jarosita selectiva en cristales de plagioclasa, jarosita en vetillas y pirita-goetita diseminada y en vetillas. De 556,25 a 559,60 m otra brecha (“alimentadora”) de cuarzo gris-pirita-turmalina, clastos angulosos y textura de flujo. De 559,60 a 615,80 m, zona de falla, foliada (ángulo aproximado 40°) afecta posibles brechas volcánicas, con fuerte silicificación y brechización incipiente por vetillas de cuarzo-pirita. Desde 615,8 a fin de pozo (674,00 m) secuencia sedimentaria gris verdosa definida por lutitas laminadas y silicificadas, con alteración cuarzo-clorita-albita-illita y pirita en cúmulos (Figura 4.3d).

4.4. Resultados geoquímicos

La Tabla 4.2 (anexo) muestra un resumen estadístico de los principales elementos de interés para todas las unidades reconocidas en el prospecto. La unidad con mayor concentración de cobre y molibdeno corresponde a la brecha hidrotermal cortada en el sondaje DSP-INCA-DH00003 entre los 41 y 113 m con, 511 ppm de cobre y 3.2 ppm de molibdeno, la que presenta trazas de mineralización diseminada en fragmentos y principalmente en matriz, de calcopirita y tetraedrita/tenantita (Figura 4.3b).



Figura 4.3 Litologías DSP-INCA-DH00003. a) Brecha freato-

magmática con fragmento juvenil (25 m); b) Pórfido diorítico afectado por brechización hidrotermal cuarzo-sericita-carbonato-caolinita-pirita±calcopirita-tetraedrita (77 m); c) Pórfido diorítico localmente brechoso (196 m); d) Secuencias sedimentarias bandeadas silicificadas (620 m).

5. Discusión

5.1. Integración de geología de superficie y subsuelo

Se definieron las siguientes litologías desde más antigua a más reciente (Tabla 5.1, anexo):

- **Sedimentitas jurásicas:** Calcilitas laminadas, gris verdosas, que fueron reconocidas entre los 615 m y el fondo del DSP-INCA-DH00003 (Figura 4.3d). Están afectadas por alteración clorita-albita-illita y fuerte silicificación. Serían correlacionables con el miembro superior de la Formación Candeleros (Naranjo y Puig, 1984) por lo que tendrían edad Jurásico Superior.
- **Andesitas y brechas volcanoclásticas:** Andesitas porfídicas, brechas volcanoclásticas y niveles subordinados de tobas de cristales. Las brechas tienen fragmentos subredondeados y están afectadas por alteración argílica moderada. Corresponden a las unidades de caja que afloran en la parte central del área y también serían correlacionables con el miembro superior de la Formación Candeleros (Naranjo y Puig, 1984) del Jurásico Superior.
- **Andesitas, dacitas y areniscas volcanoclásticas:** Secuencia de andesitas a dacitas porfídicas y areniscas volcanoclásticas subordinadas. Las andesitas poseen textura de flujo, son parcialmente brechosas y están afectadas por alteración argílica. Fueron reconocidas al oeste de la Quebrada Incahuasi y serían correlacionables con la Secuencia Volcánica de Cerro Nevado (Cornejo y Mpodozis, 1996) del Paleoceno inferior.
- **Pórfido andesítico de anfíbol:** Cuerpo tabular de grano grueso, con fenocristales de plagioclasa y anfíbol y masa fundamental silicificada (Figura 5.1). Serían equivalentes a los Pórfidos andesíticos de Sierra Santa Ana (Cornejo y Mpodozis, 1996), que, por relación de contacto, tendrían edad posterior al Eoceno inferior. Fueron reconocidos sólo en superficie en las laderas de la Quebrada Incahuasi (Via, 2018).
- **Pórfidos dioríticos:** Cuerpos subvolcánicos de <1

km² que afloran en el área de estudio y también fueron interceptados en todos los sondajes. Poseen textura pilotaxítica de grano fino. Están compuestos por plagioclasas con alteración a esmectita y relictos menores de piroxenos alterados a calcita-clorita-cuarzo (Figura 4.1c, 4.2a, 4.2c, 4.3c). Pueden estar cortados por venillas de cuarzo-feldespato potásico-calcita-magnetita-hematita ± clorita-albita-pirita y serían correlacionables con los *stocks* monzodioríticos de Sierra Santa Ana y Quebrada Incahuasi (Cornejo y Mpodozis, 1996), de edad Eoceno medio. Hacia el este del área, en superficie, los pórfidos dioríticos poseen textura fina, la masa fundamental es pardo rosada (Figura 5.2), y pueden estar cortados por vetillas subparalelas de cuarzo oscuro bandeado.



Figura 5.1 Pórfido andesítico silicificado con masa fundamental felsosídica. (Via, 2018).

- **Brechas freato-magmáticas:** Brechas reconocidas tanto en superficie como en los primeros metros del sondaje DSP-INCA-DH00003. Son brechas monomícticas y polimícticas, con fragmentos juveniles (Figura 4.3a) y otros redondeados de pórfidos andesíticos y/o dioríticos con mosaicos de cuarzo-turmalina-jarosita-yeso y una matriz fina micrométrica de turmalina-cuarzo (Figura 5.3). Poseen rasgos de fluidización con orientación de fragmentos (Cornejo, 2018).
- **Brechas hidrotermales de cuarzo-turmalina:** Corresponden a pulsos hidrotermales que afectan de forma incipiente (“craquelamiento”) a pervasiva a las unidades volcánicas y subvolcánicas andesíticas (figuras 4.1b y 4.3b) y probablemente, en forma sincrónica con las brechas freatomagmáticas. En superficie fueron

reconocidas con orientación NW-SE y NE-SW, desarrollando “sombrosos” de cuarzo-turmalina (Via, 2018) (Figura 5.4).



Figura 5.2 Pórfido diorítico fino con venillas paralelas de cuarzo ahumado. (Via, 2018).

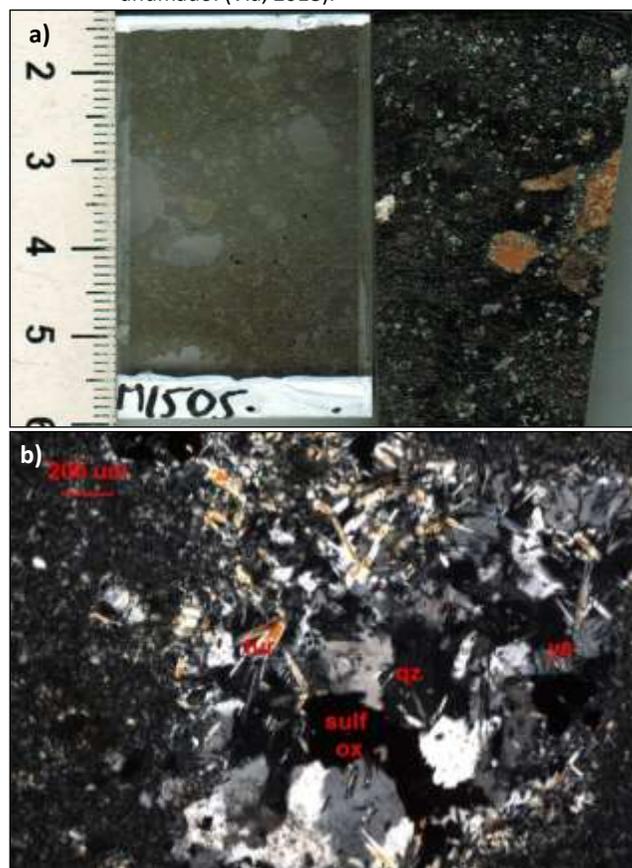


Figura 5.3. Brecha freato-magmática polimíctica fina. a) Fragmentos orientados alterados a mosaicos de cuarzo-turmalina-jarosita-yeso, y matriz fina de turmalina-cuarzo. b) Detalle de fragmento con margen fino de cuarzo-turmalina y centro oqueroso ocupado por cuarzo sacaroidal-turmalina-yeso y sulfuros oxidados granulares. Nicoles cruzados, aumento 10 x 14 (Cornejo, 2018).



Figura 5.4. Afloramiento de brechas hidrotermales de cuarzo-turmalina (Vía, 2018).

En sondajes destaca el intercepto del pozo DSP-INCA-DH00003, que corta una brecha hidrotermal de fragmentos líticos poco rotados y no reconocibles por fuerte alteración cuarzo-sericita-carbonatos-turmalina y una matriz hidrotermal de similar composición (Figura 4.3b), donde se identifica en sección transparente (Figura 5.5) mineralización diseminada en fragmentos y principalmente en matriz, de pirita±calcopirita-tetraedrita/tenantita (Geocronos, 2020).



Figura 5.5. Mineralización diseminada de pirita(Py)-calcopirita (Ccp)-tetraedrita/tenantita(Ttr-Tnt). En matriz de brecha hidrotermal interceptada en sondaje DSP-INCA-DH00003, 79 m (GEOCRONOS, 2020).

- **Ignimbritas:** En el borde este del área aflora un nivel ignimbrito subhorizontal correlacionable con la Ignimbrita Llano Las Vicuñas (Cornejo y Mpodozis, 1996) del Mioceno medio.

- **Depósitos Cuaternarios:** Principalmente depósitos no consolidados de gravas de origen aluvial y coluvial que rellenan depresiones.

5.3 Eventos de Alteración/Mineralización

Se interpretan de forma preliminar cuatro eventos de alteración-mineralización principales (Tabla 5.2, anexo):

- Evento potásico temprano asociado a la intrusión de los pórfidos microdioríticos, representado por la paragénesis feldespato potásico-albita-cuarzo y mena de magnetita-rutilo y menor pirita.
- Evento calcosódico/IOCG de mayor extensión, asociado al emplazamiento de stocks monzodioríticos, expresado por la asociación clorita-albita-actinolita-cuarzo y menor feldespato potásico-epidota y titanita. La mineralización de mena consiste en magnetita-pirita-pirrotina y menor calcopirita-covelina (microinclusiones). Destaca la ocurrencia local de vetillas de granate-piroxeno±epidota-cuarzo-magnetita-pirita (Cornejo, 2018) y vetillas de magnetita masiva-carbonatos-epidota±actinolita.
- Evento epitermal de baja a intermedia sulfuración asociado al emplazamiento de brechas hidrotermales con alteración fílica-argílica que afecta a clastos y principalmente matriz, con cuarzo-sericita-illita-esmectita-caolinita-carbonatos±turmalina y mineralización de pirita-hematita-especularita con trazas de calcopirita-tetraedrita-bornita-oro nativo y plata nativa. También afecta a pórfidos dioríticos y se sobrepone a la mineralización tipo IOCG (como lo visto en sondaje DSP-INCA-DH00002) con vetillas de cuarzo oqueroso, pirita subhedral y texturas bandeadas.
- Evento tardío de brechas hidrotermales de turmalina-cuarzo y mineralización de pirita.

5.4. Litogeoquímica

En la figura 5.6 (anexo) se observa que la alteración dominante es la alteración calco-sódica, lo que se ve reflejado en la acumulación de muestras con una alta razón Na/Al en la base del gráfico. Esto está bien expresado en los sondajes DSP-INCA-DH00001 y DSP-INCA-DH00002 perforados en la zona sur, mientras que la alteración de mica blanca (illita-sericita) domina hacia el norte en el pozo DSP-INCA-

DH00003, siendo congruentes con lo registrado en el mapeo geológico.

La distribución de elementos trazadores en las diferentes zonas de alteración definidas por el mapeo geológico son consistentes y muestran un enriquecimiento del Zn en el ambiente calcosódico y/o propilítico más alcalino, mientras que se encuentra deprimido en el ambiente de mica blanca. Cu, As y parcialmente Mo están enriquecidos en el ambiente de mica blanca, en particular, en la unidad brecha hidrotermal (Figura 5.7 y 5.8, anexo.)

6. Conclusiones y Recomendaciones

La zona de estudio presenta en superficie una extensa zona de alteración, anomalía positiva en la concentración de arsénico, afloramiento de brechas freatomagmáticas e hidrotermal de cuarzo-turmalina y pórfidos dioríticos de edad prospectiva para la franja y es coincidente con un corredor desmagnetizado con la misma orientación NE-SW. Sin embargo, hasta las profundidades alcanzadas con los tres sondajes perforados, no se reconocen características típicas de un depósito tipo pórfido cuprífero como vetillas, alteración, mineralización ni anomalías en concentración de elementos de interés. Sólo fueron reconocidos intrusivos porfídicos dioríticos sin vetillas ni mineralización importante asociada, siendo la brecha hidrotermal perforada en los primeros metros del tercer sondaje (parte norte del prospecto), la única unidad que posee anomalías de cobre sub-económicas.

La alteración del sondaje DSP-INCA-DH00002 fue originalmente descrita como propilítica intensa. Sin embargo, el mapeo geológico de detalle y petrografía (vetillas de magnetita-actinolita-calcita±granate y alteración/brechización incipiente por magnetita-clorita-epidota-albita-feldespato potásico±actinolita-apatito), permitieron reinterpretarla como parte de un sistema de alteración/mineralización tipo IOCG de borde de cúpula de complejos intrusivos (probablemente asociado al complejo intrusivo de Santa Ana), al que se superpone un evento epitermal tardío de intermedia sulfuración que está expresado por vetillas y vetas de cuarzo-carbonatos con texturas

bandeadas y de reemplazo, con mineralización de piritas±sulfosales de cobre-pirrotina-oro nativo.

Finalmente, las brechas freatomagmáticas e hidrotermales con texturas de “craquelamiento” y fluidizadas podrían corresponder también a una expresión del evento epitermal de sulfuración intermedia posterior que afecta al sistema y estar asociado al emplazamiento somero de los intrusivos hipabisales dioríticos reconocidos en el área o a un sistema porfídico en profundidad no reconocido aún.

7. Referencias

ALS Geochemistry, 2021. Schedule of Services & Fees. <https://www.alsglobal.com/es-cl/myals/descargas>.

Camus, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. CODELCO y Servicio Nacional de Geología y Minería: 267 pp. Santiago.

Cornejo, P. 2018. Estudio petrográfico y calcográfico, Vale Exploraciones América Andina. Proyecto Inti. Informe interno (Inédito): 59 pp. Santiago.

Cornejo, P. y Mpodozis C. 1996. Geología de la Región de Sierra Exploradora (Cordillera de Domeyko 25°-26°S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado, IR-96-09: 330 pp., 9 mapas escala 1:50.000. Santiago.

Cornejo, P.; Mpodozis, C.; Rivera, O. y Matthews, S. 2009. Carta Exploradora, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 119: 100 pp., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago

GEOCRONOS, 2020. Estudio Petrográfico-Calcográfico, Vale. Informe interno (inédito): 85 pp. Concepción.

Vía, S. 2018. Programa Domeyko Sur. Reporte Final Temporada 2018. Informe interno TR_20181218_F12_dsp_domeyko_sur_RE-PORTE ANUAL_v3: 124 pp. Santiago.

ANEXO FIGURAS Y TABLAS

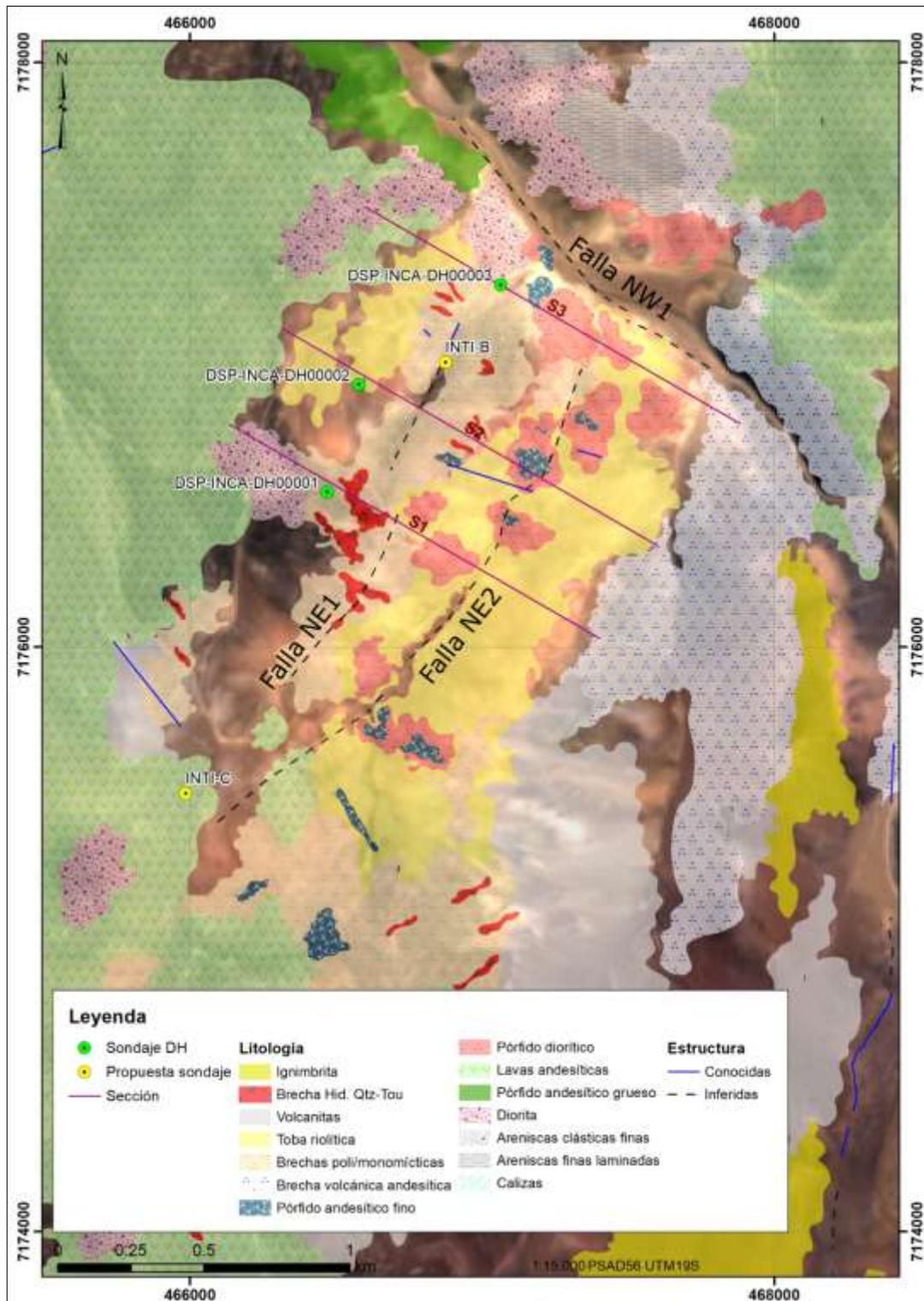


Figura 3.1. Distribución de sondajes. Círculo verde: perforados campaña DDH 2019. Círculo amarillo: proposiciones no perforadas. Líneas moradas: secciones NW-SE. Geología de Reporte Final Temporada 2018 (Via, 2018).

Tabla 4.1. Detalle de sondajes perforados en campaña DDH Incahuasi 2019.

HOLEID	Recomendación	Este	Norte	Elev.	Azimuth	Dip	Profundidad
DSP-INCA-DH00001	INTI-A	466470	7176530	3139	120	-80	626.1
DSP-INCA-DH00002	INTI-F	466578	7176898	3203	120	-80	382.9
DSP-INCA-DH00003	INTI-E	467064	7177240	3155	140	-75	674
TOTAL							1683.00

Tabla 4.2. Resumen estadístico de principales elementos de interés para el blanco Incahuasi.

	Cu_ppm	Mo_ppm	As_ppm	Bi_ppm	Sb_ppm	Mn_ppm	Zn_ppm	Pb_ppm
All_lito								
Mínimo	0.70	0.11	14.90	0.01	1.40	12.00	2.00	0.50
Máximo	2080.00	177.00	1940.00	21.40	324.00	4290.00	2040.00	259.00
Promedio	64.84	5.07	119.20	0.85	26.65	471.65	99.19	10.46
Mediana	15.65	2.39	71.95	0.46	12.75	318.50	25.00	4.00
Percentil 5	2.00	0.30	27.22	0.05	3.54	120.15	4.00	1.30
Percentil 25	5.57	0.75	43.58	0.17	7.06	228.75	13.00	2.30
Percentil 75	47.85	4.70	138.13	1.03	27.83	483.50	57.00	7.73
Percentil 95	277.80	17.76	340.50	2.76	111.50	1610.00	497.40	44.25

Tabla 5.1. Cuadro resumen de unidades geológicas definidas para el prospecto Incahuasi.

	Jurásico			Cretácico		Paleógeno			Neógeno		Cuaternario	
	Inf.	Med.	Sup.	Inf.	Sup.	Paleoc.	Eoceno	Oligoc.	Mioc.	Plioc.	Pleisto.	Hol.
	Roca caja			Inter-mineral			Post-mineral					
Sedimentitas jurásicas												
Andesitas y brechas volcanoclásticas												
Andesitas, dacitas y areniscas volcanoclásticas												
Pórfido andesítico de anfíbol												
Pórfidos dioríticos												
Brechas hidrotermales de turmalina-cuarzo												
Brechas freatomagmáticas												
Ignimbritas												
Depósitos cuaternarios												

Tabla 5.2 Cuadro paragenético. Ocurrencias: M: masivo; D: diseminado; V: vetilla; R: reemplazo; F: relleno de fracturas; I: microinclusiones. Intensidad varia de fuerte (línea negra) a muy débil (gris claro).

		Magmático	EVENTO I	EVENTO II	EVENTO III	EVENTO IV
Minerales de Mena	Rutilo I	D-V-R				
	Ti-Magnetita	D-V				
	Rutilo II		D-R			
	Magnetita I		D-R			
	Pirita I		D-V-I			
	Magnetita II			D-R-V		
	Pirita II			V-R-D		
	Pirrotina I			D-V		
	Calcopirita I			I		
	Covelina I			I-R		
	Pirita III				D-V	
	Hematita				R-F-D	
	Especularita				R	
	Tenantita				R	
	Plata nativa				D	
	Oro nativo				D	
	Calcopirita II				D	
	Bornita				R	
	Pirita IV					D-V
Minerales de Ganga	Ca-Plagioclasa					
	Piroxeno					
	Hornblenda					
	K-Feld		R-V			
	Albita		R-V			
	Cuarzo I		R-V			
	Titanita			D-R		
	Fe-Granate			V		
	Carbonatos I			V-R		
	CaFe-Pirox (Hed)			V-R		
	Epidota I			V		
	Cuarzo II			V-R		
	Clorita I			D-R-V		
	Actinolita			R-V		
	Cuarzo III				R-V	
	Esmectita				R	
	Sericita				R-D	
	Illita				R-V	
	Caolinita				R	
	Clorita II				R-V	
	Turmalina I				D-F	
	Turmalina II					V-D
	Cuarzo IV					R-V
	Carbonatos II					V
	Epidota III					V

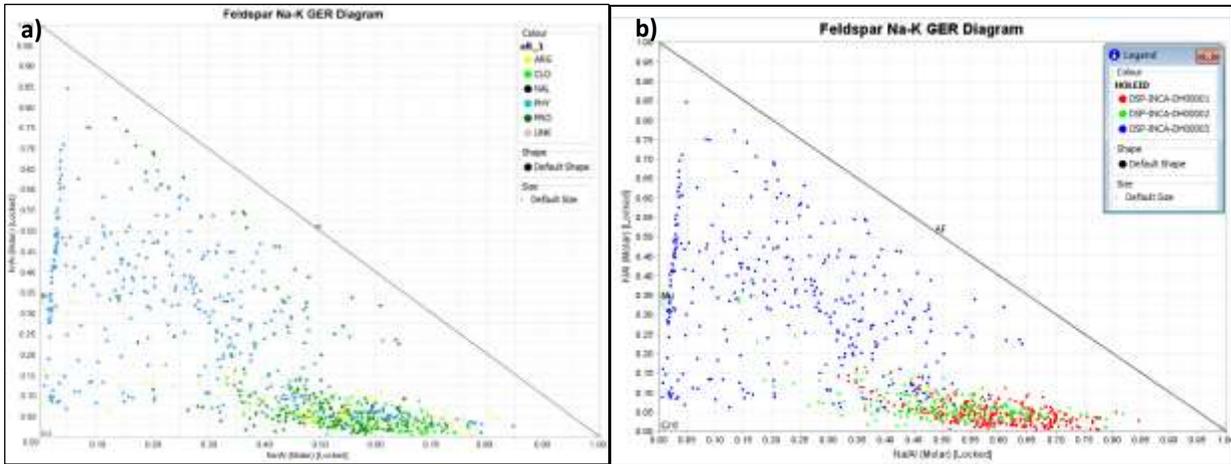


Figura 5.6. Diagrama Na-K GER. Distribución según: a) zona de alteración mapeada; b) según sondaje perforado.

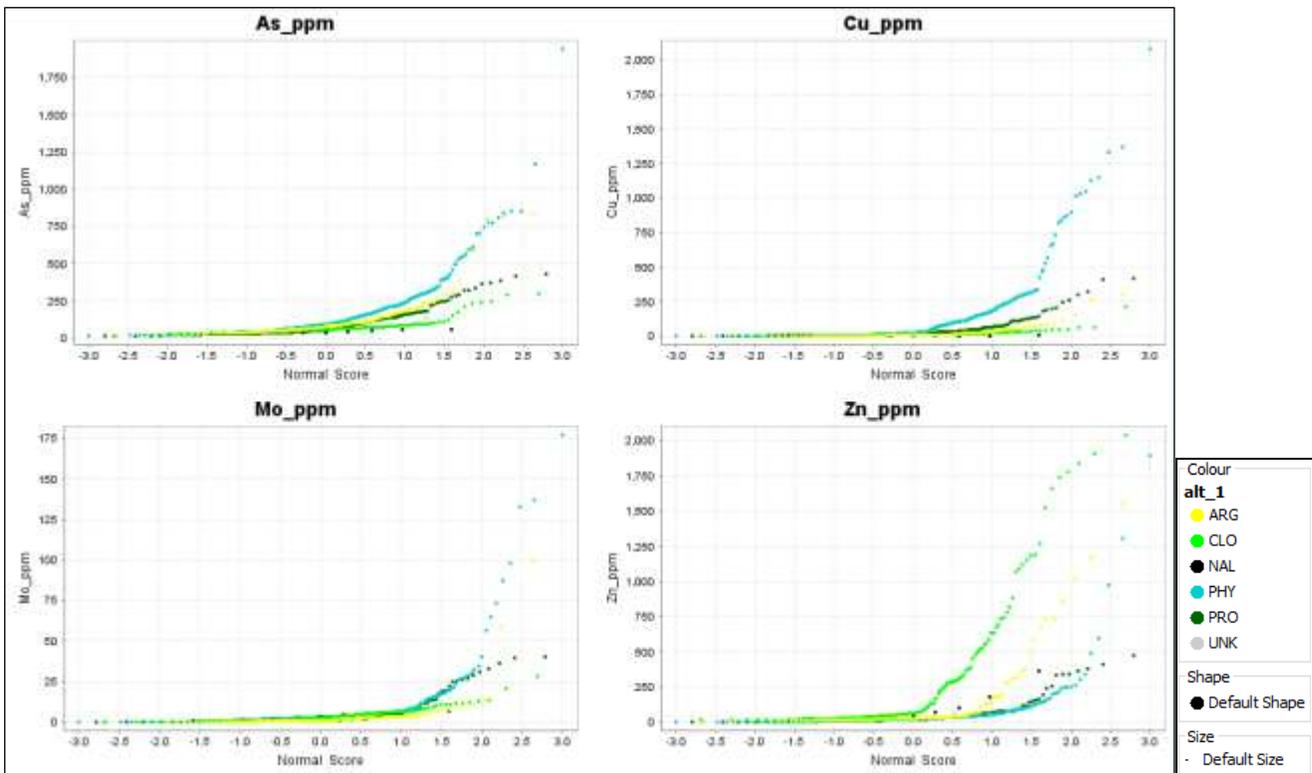


Figura 5.7. Diagramas de probabilidad de As, Cu, Mo y Zn para las diferentes alteraciones definidas

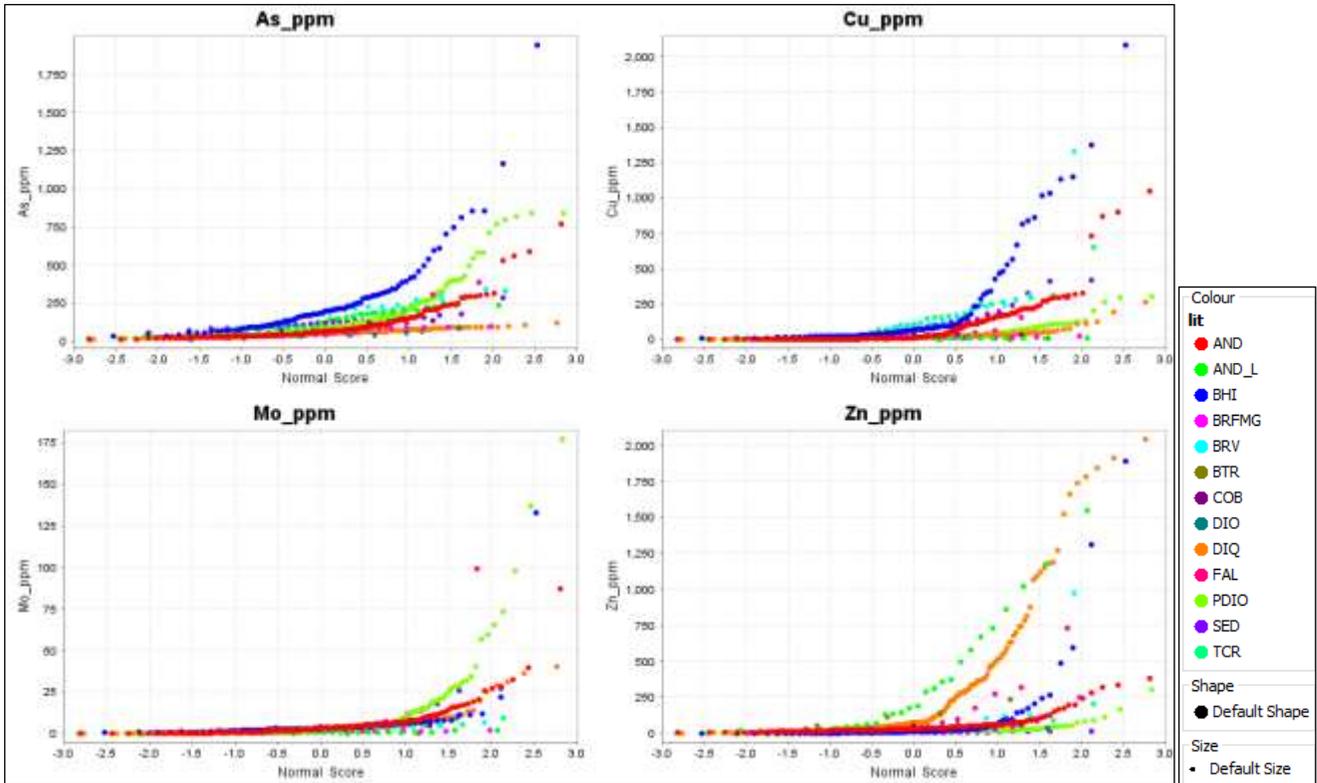


Figura 5.8. Diagramas de probabilidad de As, Cu, Mo y Zn para las diferentes litologías definidas

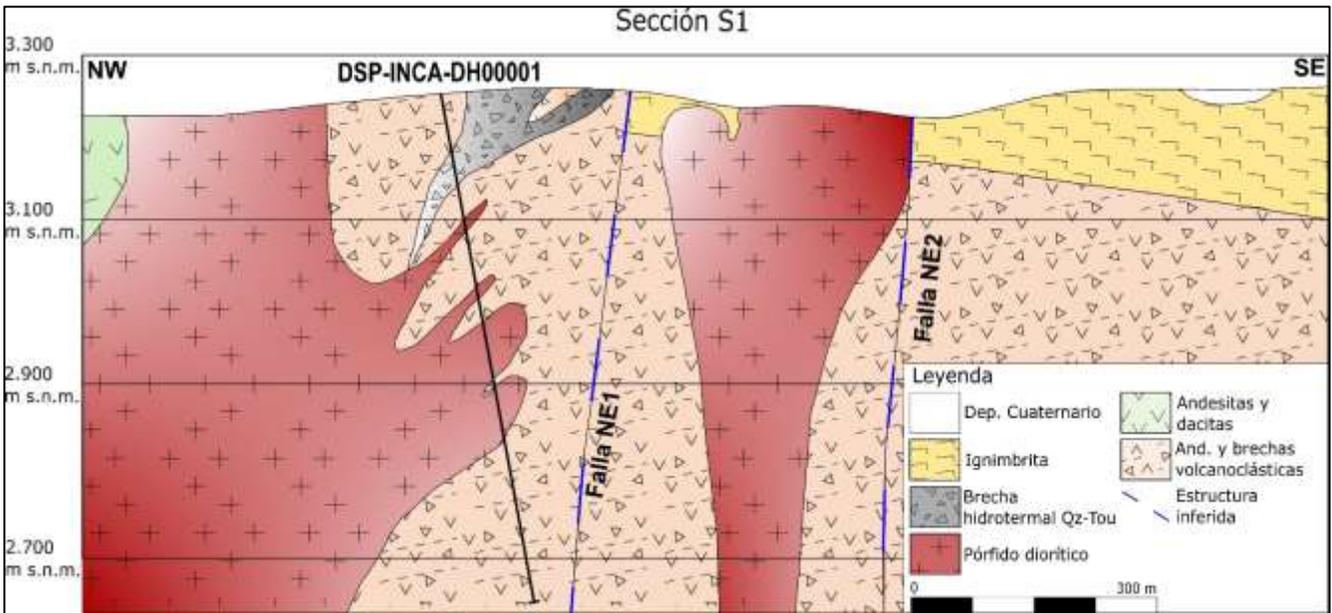


Figura 5.9. Sección S1 con traza de sondaje DSP-INCA-DH00001.

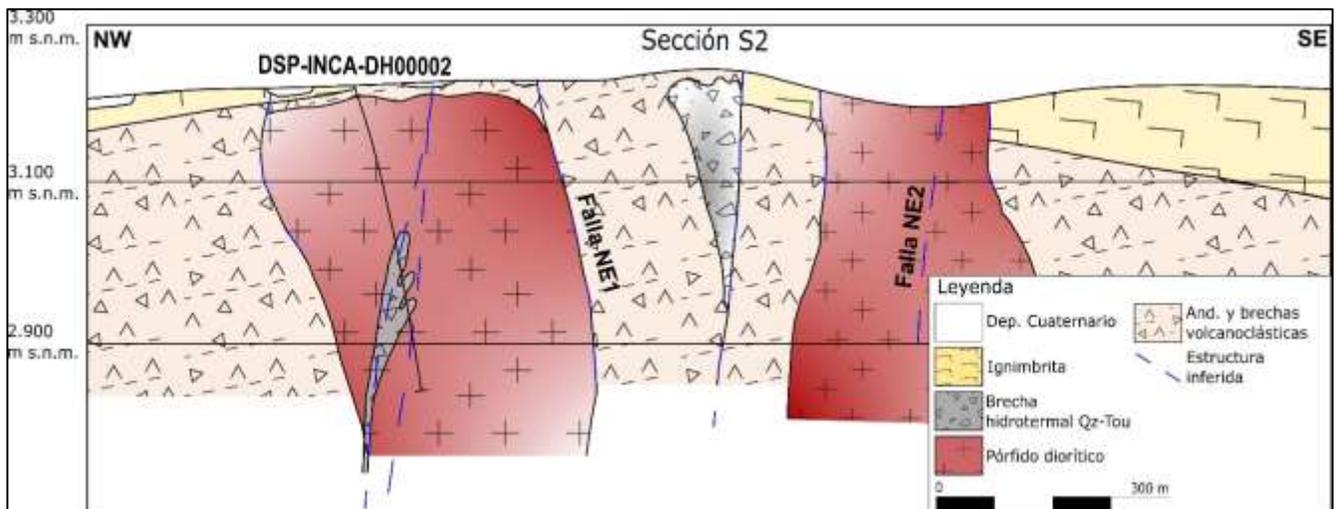


Figura 5.10. Sección S2 con traza de sondaje DSP-INCA-DH00002.

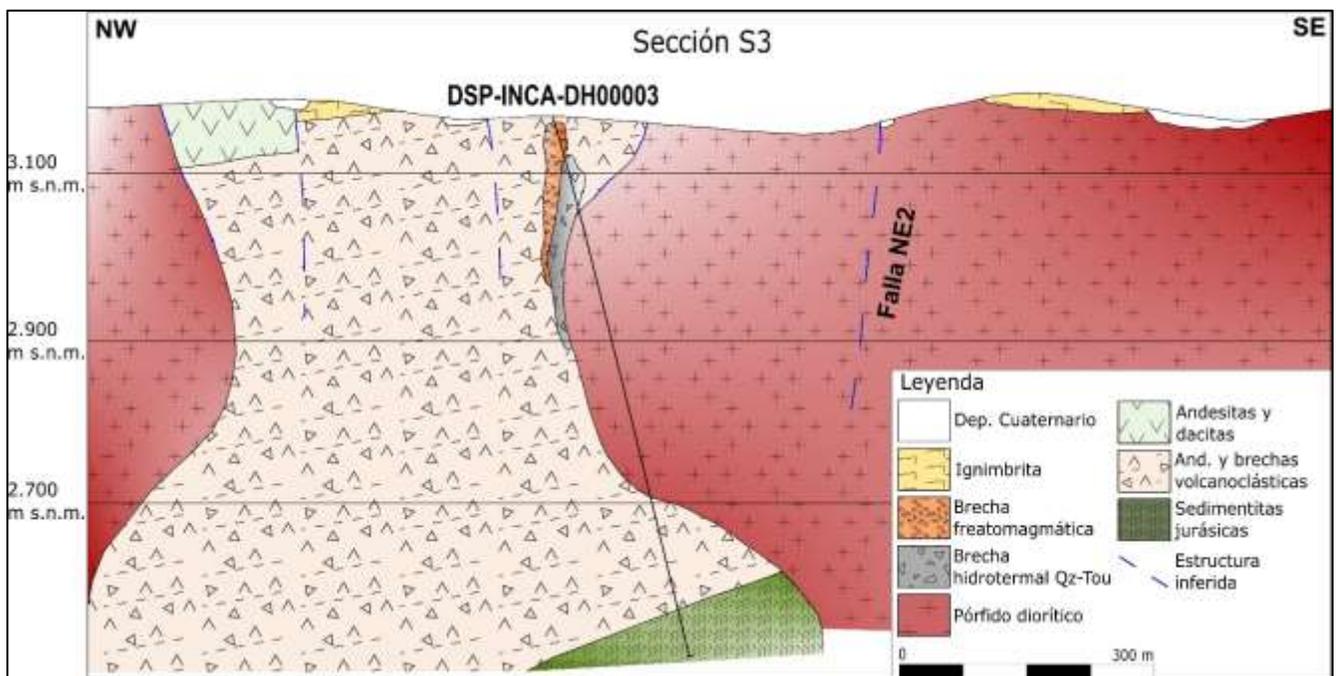


Figura 5.11. Sección S3 con traza de sondaje DSP-INCA-DH00003.