



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE LA LITOLOGÍA, ALTERACIÓN Y
MINERALIZACIÓN DEL *CLUSTER* DE PÓRFIDOS *Au – Cu* LUCIANO,
DISTRITO MINERO CASALE, III REGION DE ATACAMA, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

GISELLA FRANCISCA PALMA LIRA

PROFESOR GUÍA:

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

VICTOR MAKSAEV JURCHUC

JAIME CORTÉS YÁÑEZ

SANTIAGO DE CHILE

JULIO 2014

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Geóloga
POR: Gisella Francisca Palma Lira
FECHA: 01/07/2014
PROFESOR GUIA: Brian Keith Townley Callejas

**CARACTERIZACIÓN DE LA LITOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN
DEL CLUSTER DE PÓRFIDOS *Au – Cu* LUCIANO, DISTRITO MINERO CASALE,
III REGION DE ATACAMA, CHILE**

El Distrito Minero Casale se encuentra ubicado en la porción sur de la Franja de Maricunga, el cual corresponde a un *cluster* de pórfidos *Au – Cu* con edades entre los 23 y 12 *Ma*. Este incluye los depósitos porfídicos *Au – Cu* Cerro Casale y el sub-*cluster* Luciano, conformado por los depósitos Luciano (~15 *Ma*), Luciano Norte y Úrsula, entre otros.

La litología del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se compone de Unidades Preminerales conformadas de Tobas daci-andesíticas, Conglomerados y los Complejos andesítico Juanes y Autobrechizado (intrusivo diorítico y brecha intrusiva, respectivamente). Los procesos de alteración y mineralización se encuentran relacionados a intrusiones multifásicas porfídicas dioríticas agrupadas en las unidades Pórfido Diorítico I, II y III, ubicadas en posiciones intermineral temprano, intermineral y tardío mineral dentro de la evolución magmática-hidrotermal. Cuerpos de Brechas Intrusivas, Intrusivas alteradas, Magmáticas-hidrotermales y Freatomagmáticas se consideran eventos subordinados de mineralización y representan un volumen menor al 5 % de los depósitos en estudio.

Las zonas de mineralización de oro mayores a 0.5 *ppm Au* se asocian principalmente a Unidades Porfídicas (Pórfido Diorítico I y II) en el sector de Luciano y Luciano Norte. Mientras que para el sector de Úrsula el evento principal de mineralización corresponde a un cuerpo de Brecha Intrusiva alterada con mineralización de oro mayor 0.5 *ppm Au* asociada a fragmentos de pórfido mineralizado con vetillas truncadas de cuarzo.

Se ha determinado una zonación vertical de la alteración hidrotermal, mineralización sulfurada y asociación mineralógica del oro, relacionada a alteración potásica y propilítica I. Una zona profunda potásica, con un predominio de vetillas de cuarzo A y B, mineralización sulfurada hipógena de cobre, galena y menor esfalerita (Sector Luciano); a una zona superior propilítica I, con predominio de vetillas de cuarzo transicionales bandeadas, escasas de cuarzo bandeadas, mineralización sulfurada de esfalerita, pirita, galena y escasos sulfuros de cobre (Sector Luciano Norte y Úrsula).

La alteración potásica y propilítica I gradarían de manera lateral y distal hacia una propilítica II, y son sobreimpuestas en la parte profunda por una sódico-férrica (Sector Luciano y Luciano Norte). En superficie se sobreimpone una alteración argílica y silicificación (Luciano Norte y Úrsula).

El oro de carácter principalmente nativo (< 30 μm) presenta dos asociaciones mineralógicas principales: *Au – Cu* (bornita, calcopirita) y *Au – Zn – Pb* (esfalerita y galena). Las asociaciones *Au – Cu* y *Au – Pb \pm Zn* se relacionan a alteración potásica y *Au – Zn \pm Pb* se relaciona a alteración propilítica I.

Las características de alteración, estilos de vetillas y mineralización descritas anteriormente indicarían que los depósitos porfídicos *Au – Cu* en estudio presentarían distintos niveles de erosión o exhumación, donde Luciano es el depósito más erodado o exhumado, seguido de Luciano y finalmente Úrsula.

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas me gustaría agradecer a las personas que han hecho posible que llegara a esta instancia de mi vida. Las que han estado, y siguen estando a mi lado.

En primer lugar a mis padres que me inculcaron las cosas importantes, los valores y siempre se esforzaron por darme lo mejor. A mis hermanas Andrea y Pamela, que a pesar de ser tan diferentes, comparto con cada una de ellas una parte importante de mi. Gracias por ser un pilar fundamental en mi niñez, ya que me crié prácticamente con tres mamás. A mis sobrinos pequeños: Lucas, Florencia, Gaspar y Tomás, que cada vez que los veo me llenan de alegría y energías, y a quienes espero dedicarles más mi tiempo para aprovecharlos, jugar con ellos, enseñarles cosas y aprender de ellos.

De manera especial agradecer al Nacho, que en el desarrollo de este trabajo se llevó la parte más pesada. Cada vez que quería tirar la memoria por la ventana y me ponía mañosa (muy mañosa), ahí estaba él con su paciencia y amor incondicional, ayudándome a lo que fuera que necesitase. Muchas gracias por todo, por amarme, cuidarme y por hacerme tanto reír y feliz.

Agradecer a mis amigos, a los del colegio: Martina, Vanja, Martín y Fefi, que a pesar de que todos hemos tomado caminos muy distintos, los estimo mucho, tienen un lugar inmenso en mi corazón y siento una cercanía y cariño gigante por ustedes. A mis amigos de la universidad, los que conocí desde el inicio en plan común. A las niñas: Pasita, Kol, Coni, Mila, Nati, Dani y Nico; y los niños: Zombeka, Fano, Seba, Vixon, Mauro, Gusti, Pablo Jeréz, Chino Vera, con quienes viví y disfruté un montón de experiencias, paseos, vacaciones y risas, haciendo mis primeros años universitarios los mejores. Y mis amigos y compañeros de Geología: Gaby, Vale Astudillo, Salo, Dani Villela, Fabi, Rurik, Nico Gainza, Vale Hanna, entre otros, con los que compartí la mayor parte de mis últimos años de carrera. Junto con ustedes, a pesar de ser tan diferentes, disfruté y me divertí mucho estando a su lado, compartiendo con algunos el día a día en terreno, estudiando, conversando de la vida o simplemente hablando tonteras e incoherencias.

Por último, me gustaría agradecer a todas las personas que participaron en la realización de este trabajo. En especial al geólogo Jaimé Cortés por su incondicional apoyo y cercanía, por todo lo que me enseñó y aprendí de él, quien quizás sin querer se convirtió en uno de mis guías más importantes. Al geólogo Aldo Vasquez quien asumió la responsabilidad de guiarme para que mi trabajo tuviera 'pies y cabeza', con quien también aprendí mucho y agradezco todo el tiempo que me dedicó y la buena disposición. Al geólogo Juan Rojo por todo su apoyo en el trabajo de terreno. Al geólogo Enrique Tidy, que sin conocerme me abrió las puertas de su casa para apoyarme en la petrografía y calcografía. A la geóloga Lan-Yen Ip por su ayuda y realización de los análisis QEMSCAN. A los geólogos y profesores Brian Townley y Victor MaksaeV por las correcciones que me sugirieron para poder terminar este trabajo de la mejor manera.

Por último, agradecer a los administrativos del departamento de geología, en especial a la Blanca, y a todas las personas que conocí en mi paso por Barrick, tanto en la oficina en Santiago, en La Serena y en el proyecto mismo en Copiapó.

*Dedico este trabajo a mis padres,
hermanas y sobrinos...
Los quiero mucho*

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 Objetivo general | 11 |
| 2.2 Objetivos específicos | 11 |
| 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO | 12 |
| 4. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO | 13 |
| 5. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS | 14 |
| 5.1 Investigación bibliográfica | 14 |
| 5.2 Selección de las secciones representativas | 15 |
| 5.3 Trabajo de terreno | 15 |
| 5.4 Caracterización mineral | 15 |
| 5.5 Geoquímica | 15 |
| 5.6 Análisis mineralógico TMS (técnica QEMSCAN) | 18 |
| 5.7 Test metalúrgico de cianuración | 20 |
| 5.8 Análisis, procesamiento de datos y elaboración del informe final | 21 |
| 6. MARCO GEOLÓGICO | 21 |
| 6.1 Marco Geológico Regional | 21 |
| 6.2 Marco Tectónico Regional | 23 |
| 6.3 Marco Metalogénico Regional | 26 |
| 6.4 Marco Geológico Distrital | 27 |
| 6.5 Marco Tectónico Distrital | 29 |
| 7. ANTECEDENTES | 31 |
| 8. GEOLOGÍA DEL CLUSTER DE PÓRFIDOS <i>Au – Cu</i> LUCIANO | 33 |
| 8.1 LITOLOGÍA | 33 |
| 8.1.1 Unidades Preminerales | 33 |
| 8.1.2 Unidades Porfídicas | 43 |
| 8.1.3 Brechas | 50 |
| 8.2 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL | 57 |
| 8.2.1 Alteración potásica | 58 |
| 8.2.2 Alteración propilica I | 69 |
| 8.2.3 Alteración sódico-férrica | 73 |
| 8.2.4 Otras alteraciones y estilos de vetillas | 75 |
| 8.3 MINERALIZACIÓN | 77 |
| 8.3.1 Mineralogía Sulfurada | 77 |
| 8.3.2 Mineralogía del Oro | 87 |

| | |
|--|------------|
| 9. GEOQUÍMICA | 96 |
| 9.1 Control de Calidad | 96 |
| 9.2 Caracterización y clasificación geoquímica de las unidades intrusivas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano | 99 |
| 9.2.1 Diagramas de elementos incompatibles y <i>spider</i> | 99 |
| 9.2.2 Fertilidad de los magmas | 101 |
| 9.2.3 Clasificación litológica | 105 |
| 9.2.4 Alteración Hidrotermal | 111 |
| 9.2.5 Mineralización | 115 |
| 10.DISCUSIÓN GENERAL | 118 |
| 10.1 Litología | 118 |
| 10.2 Alteración Hidrotermal y Mineralización | 121 |
| 10.3 Implicancias preliminares metalúrgicas | 127 |
| 10.4 Implicancias en la exploración | 120 |
| 10.5 Fuente magmática y procesos que dieron origen al cluster de pórfidos Au – Cu Luciano | 130 |
| 11.CONCLUSIONES | 133 |
| 12.BIBLIOGRAFÍA | 136 |
| 13. ANEXOS | 142 |
| 13.1 Anexo A: Estudios realizados en secciones AA', BB' y CC' | 142 |
| 13.2 Anexo B: Análisis mineralógico TMS-QEMSCAN | 148 |
| 13.3 Anexo C: Análisis de cianuración | 162 |
| 13.4 Anexo D: Geoquímica de roca total | 163 |
| 13.5 Anexo E: Petrografía y Calcografía | 168 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|--------------|
| Figura 1. Ubicación del Distrito Minero Casale en la III Región de Atacama en la Franja de Maricunga, Chile. | 13 |
| Figura 2. Ubicación del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> , los depósitos porfídicos <i>Au – Cu</i> Luciano, Luciano Norte, Úrsula y Cerro Casale. | 14 |
| Figura 3. Secciones representativas AA', BB', y CC'. | 16 |
| Figura 4. Marco Geológico esquemático de la Franja Maricunga (Modificado de Davidson & Mpodozis, 1991). | 24 |
| Figura 5. Contexto tectónico regional de la Franja de Maricunga (Adaptado de Muntean & Einaudi, 2001) | 25 |
| Figura 6. Marco Geológico Distrital (Modificado de <i>Placer Dome</i> , 2000). | 30 |
| Figura 7. Mapa Litológico simplificado del área del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano. | 34 |
| Figura 8. Sección litológica simplificada AA' del pórfido <i>Au – Cu</i> Luciano | 35 |
| Figura 9. Sección litológica simplificada BB' del pórfido <i>Au – Cu</i> Luciano Norte | 36 |
| Figura 10. Sección litológica simplificada CC' del pórfido <i>Au – Cu</i> Úrsula | 37 |
| Figura 11. Fotografías de Unidades Preminerales (A-F) | 39 |
| Figura 12. Fotografías de Unidades Porfídicas (A-F) | 48 |
| Figura 13. Fotografías de Brechas (A-F) | 55 |
| Figura 14. Mapa litológico y de alteración hidrotermal simplificado del área del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano | 59 |
| Figura 15. Sección litológica y de alteración Hidrotermal AA' simplificado del pórfido <i>Au – Cu</i> Luciano | 62 |
| Figura 16. Sección litológica y de alteración hidrotermal BB' simplificado del pórfido <i>Au – Cu</i> Luciano Norte | 63 |
| Figura 17. Sección litológica y de alteración hidrotermal CC' simplificado del pórfido <i>Au – Cu</i> Úrsula | 64 |
| Figura 18. Fotografías de Alteración Hidrotermal en el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-J) | 67-68 |
| Figura 19. Fotografías de estilos de vetillas en el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-N) | 71-72 |
| Figura 20. Microfotografías de Mineralogía sulfurada en el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-H) | 81-82 |
| Figura 21. Sección AA' de Mineralización <i>Zn – Pb</i> del sector de Luciano | 84 |
| Figura 22. Sección BB' de Mineralización <i>Zn – Pb</i> del sector de Luciano Norte | 85 |

| | |
|---|----------------|
| Figura 23. Sección CC´ de Mineralización <i>Zn – Pb</i> del sector de Úrsula | 86 |
| Figura 24. Sección AA´ de Mineralización <i>Au – Cu</i> del sector de Luciano | 89 |
| Figura 25. Sección BB´ de Mineralización <i>Au – Cu</i> del sector de Luciano Norte | 90 |
| Figura 26. Sección CC´ de Mineralización <i>Au – Cu</i> del sector de Úrsula | 91 |
| Figura 27. Ocurrencia principal de las partículas de oro en el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano | 92 |
| Figura 28. Asociación Mineralógica del oro en el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-F). Imágenes TMS (QEMSCAN) | 94 |
| Figura 29. Esquema resumido de la asociación mineralógica del oro en alteración hidrotermal potásica y clorítica para rocas intrusivas del sector de Luciano y Luciano Norte; y brecha magmática-hidrotermal del sector de Úrsula | 95 |
| Figura 30. Diagramas geotectónicos para el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-E) | 100 |
| Figura 31. Diagrama de elementos incompatibles y <i>spider</i> de tierras raras para rocas intrusivas del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano (A-B) | 101 |
| Figura 32. Diagrama de fertilidad de magmas <i>Nb/Y</i> versus <i>Ba/Zr</i> para el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano | 102 |
| Figura 33. Diagrama de fertilidad de magmas para el <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano, de abundancia de tierras raras e itrio (<i>Y</i>). Para pórfidos del Eoceno-Oligoceno y Mioceno | 104 |
| Figura 34. Diagrama de <i>Sr/Y</i> para rocas con afinidad adakítica para rocas intrusiva del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano y otros sistemas porfídicos de oro, cobre y magmas no productivos | 105 |
| Figura 35. Diagramas de variación <i>Harker</i> coloreados de acuerdo a unidades litológicas y temporalidad | 106 |
| Figura 36. Diagrama TAS para clasificación geoquímica de las rocas intrusivas del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano | 108 |
| Figura 37. Diagramas geoquímicos de elementos traza para clasificación de unidades intrusivas (A-D) | 110 |
| Figura 38. Diagramas de caja para óxidos relacionados a la alteración hidrotermal y elementos relacionados a la mineralización (<i>Cu, Zn, Pb</i> y <i>Au</i>) | 112 |
| Figura 39. Diagramas ternarios de alteración (<i>K, Mg</i> y <i>Al_{residual}</i>) (A-B) | 113-114 |
| Figura 40. Diagrama <i>Na₂O</i> versus <i>SiO₂</i> para rocas del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano y rocas de la Franja de Maricunga (Loucks, 2000) | 114 |
| Figura 41. Diagramas de mineralización de <i>Cu, Zn, Pb</i> versus <i>SiO₂</i> para rocas intrusivas del <i>cluster</i> de pórfidos <i>Au – Cu</i> Luciano y rocas de la Franja de Maricunga (Loucks, 2000), coloreados de acuerdo a asociaciones de alteración hidrotermal | 116-117 |

Figura 42. Resumen esquemático de la paragénesis litológica, de alteración y mineralización para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **125**

Figura 43. Modelo esquemático de la litología, alteración y mineralización sulfurada, y de oro para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **128**

Figura 44. Diagrama *Sm/Yb* versus *La/Sm* para la Franja de Maricunga (Adaptado de Mpodozis et al., 1995) **132**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción detallada de Unidades Preminerales del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **42**

Tabla 2. Descripción petrográfica de las Unidades Porfídicas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **45**

Tabla 3. Caracterización de las Unidades Porfídicas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **46**

Tabla 4. Descripción macroscópica y petrográfica de las Brechas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **53**

Tabla 5. Características de las Brechas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **54**

Tabla 6. Descripción detallada de la alteración hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano **65**

Tabla 7. Mineralización Sulfurada y de Oro en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano de acuerdo a la alteración hidrotermal **79**

Tabla 8. Error analítico (%) para duplicados de laboratorio para cálculo de la precisión (Control de Calidad para análisis de geoquímica de roca total) **97-98**

Tabla 9. Sesgo (%) calculado para elementos mayores para determinación de la exactitud (Control de Calidad para análisis de geoquímica de roca total) **93**

Tabla 10. Clasificación geoquímica de las rocas intrusivas de acuerdo a diagrama TAS **109**

1. INTRODUCCIÓN

En esta memoria se presenta un estudio de la caracterización geológica del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, que incluye los depósitos tipo pórfido *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula.

El área de estudio correspondiente al sub-*cluster* Luciano ubicado al interior del Distrito Minero Casale. El Distrito Minero Casale se encuentra ubicado en la porción sur de la Franja de Maricunga ($27^{\circ} S$) y corresponde a un *cluster* de pórfidos *Au – Cu* con edades entre los 23 – 12 *Ma* (Mioceno). Este incluye los depósitos Cerro Casale (24.5 Moz *Au*, Informe Compañía Minera Barrick 2013) y otros blancos de mineralización tales como Estrella, Román, Eva, Anfiteatro, Jotabeche, Luciano, Luciano Norte, Úrsula, etc. Todos estos centros satélites muestran evidencias de mineralización tipo pórfido *Au – Cu*, con alteración propilítica (\pm illita) y potásica asociada a arreglos polidireccionales o subparalelos de vetillas de cuarzo y brechas hidrotermales relacionadas a intrusiones multifásicas someras de composición diorítica a granodiorítica.

El *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano fue descubierto durante campañas de exploración realizadas por geólogos de proyecto de la Compañía Minera Barrick. El pórfido *Au – Cu* Luciano fue descubierto en abril del 2011, mientras que Luciano Norte y Úrsula fueron descubiertos entre octubre del 2011 y febrero del 2012, respectivamente.

A la fecha el modelo geológico del yacimiento se encuentra en construcción. Por lo que este estudio busca aportar datos para la generación del mismo, con la definición y descripción de las principales unidades litológicas, la alteración hidrotermal y la mineralización. Además de generar nuevos antecedentes con respecto a la asociación mineralógica del oro.

A partir de los resultados obtenidos del mapeo macroscópico de sondajes, petrografía, calcografía, análisis de geoquímica de roca total, análisis mineralógico TMS (técnica QEMSCAN) y pruebas metalúrgicas preliminares de cianuración, se realiza una integración e interpretación de los datos con el fin de generar una secuencia paragénética y un modelo esquemático de la litología, alteración y mineralización sulfurada y oro para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

2. OBJETIVOS

Los objetivos generales y específicos del presente trabajo de memoria se describen a continuación:

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este estudio es determinar las características litológicas, de alteración y mineralización del *cluster* de porfidos *Au – Cu* Luciano, con el fin de establecer la distribución, secuencia paragenética y los posibles controles de la mineralización de oro. De los resultados se espera reconocer implicancias para el modelo geológico de los depósitos, con impactos a la metalurgia y/o exploración geológica.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mineralógicamente la litología, alteración hidrotermal y mineralización de las distintas unidades geológicas de cada uno de los depósitos en estudio.
- Generar secciones geológicas esquemáticas de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula que integren la información litológica, de alteración hidrotermal y de la mineralización.
- Detectar cuantitativamente la mineralización de oro en zonas de alta ley. Determinar la asociación mineralógica, granulometría, especie, texturas y grado de liberación (oro libre u ocluido) de las partículas de oro.
- Establecer una asociación entre el oro y la mineralización sulfurada para la las distintas alteraciones hidrotermales.
- Conocer en etapas tempranas la recuperación del oro (cantidad de oro cianurable) con el fin de tener una primera aproximación del potencial de las rocas del cluster de porfidos *Au – Cu* Luciano al ser procesadas por método de lixiviación.
- Caracterizar y clasificar geoquímicamente las rocas intrusivas del *cluster* de porfidos *Au – Cu* Luciano (preminerales, interminerales y tardías) como apoyo a la discriminación litológica, de la alteración hidrotermal y mineralización sulfurada. Además de establecer el contexto geotectónico y las características de los magmas que dieron origen al *cluster* de porfidos *Au – Cu* Luciano.

- Establecer una secuencia paragenética litológica, de alteración hidrotermal y, mineralización sulfurada y del oro. Generar un modelo geológico esquemático del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano que sintetice tanto de manera espacial como temporal la secuencia paragenética establecida.
- Reconocer las implicaciones que se generan de este estudio, tanto metalúrgicas preliminares y en la exploración geológica del *cluster* de pórfidos *Au – Cu*.
- Discutir y generar indicios acerca de la fuente de magmas y de los procesos que dieron origen al *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano dentro del contexto metalogénico de la Franja de Maricunga.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se habrían desarrollado al menos tres sistemas del tipo pórfido *Au – Cu*, que incluye los depósitos de Luciano, Luciano Norte y Úrsula. Estos presentan distintos niveles de exhumación o erosión evidenciado por características de alteración hidrotermal, estilo de vetillas y mineralización de cada uno de los depósitos.

El depósito más exhumado o erosionado sería el pórfido *Au – Cu* Luciano, el que presenta alteración potásica predominante y vetillas de cuarzo A y B. Menos exhumado o erosionado se encuentra el pórfido *Au – Cu* Luciano Norte, el que presenta un predominio de alteración propilítica y alteración potásica (de menor intensidad que en Luciano) además de un predominio de vetillas de cuarzo transicionales bandeadas por sobre las vetillas de cuarzo A y B, y escasas bandeadas. Finalmente el depósito menos expuesto sería el pórfido *Au – Cu* Úrsula, el cual presenta un predominio de alteración propilítica, sobreimposición argílica y silicificación, vetillas de cuarzo transicionales bandeadas y escasas bandeadas.

La mineralización de oro se encontraría principalmente asociada a alteración potásica, vetillas de cuarzo tempranas y mineralización de cobre en la zona más profunda. Mientras que en la zona más somera, la mineralización de oro se asociaría a la alteración propilítica, vetillas transicionales bandeadas, pirita y en menor proporción a minerales de cobre.

A pesar de que los depósitos de *Au – Cu* de la Franja de Maricunga, de acuerdo a Muntean & Einaudi (2000) contienen las menores razones de Cu/Au ($\% Cu/ppm Au \sim 0.03$) existiría una fuerte correlación oro-cobre. Esta se asociaría a sulfuros en zonas de alta densidad y volumen de vetillas de cuarzo. Sin embargo, no se descarta la presencia de oro asociada a otras fases sulfuradas, óxidos de hierro o cuarzo.

4. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El Distrito Minero Casale, se encuentra ubicado en la provincia de Copiapó, III Región de Atacama del Norte de Chile. Las coordenadas geográficas aproximadas para el centro del proyecto son $27^{\circ} 47' S$ y $69^{\circ} 17' O$. La ciudad de Copiapó está a 145 km al noroeste del depósito Cerro Casale y el límite internacional que separa Chile y Argentina está a 20 km al este de este depósito (Figura 1).

El acceso al proyecto está a 180 km por carretera desde Copiapó. Los primeros 25 km , dirigiéndose hacia el sur, son vía carretera pavimentada, la cual se conecta a un camino de tierra de 155 km hacia el sureste hasta el sitio del proyecto.

El acceso al área de estudio es a través de rutas hacia al área de operación de perforación construidas recientemente. El acceso se encuentra en buenas condiciones durante la mayor parte del año, solo circunstancialmente cerrado durante fuerte tormentas de nieve durante el invierno.

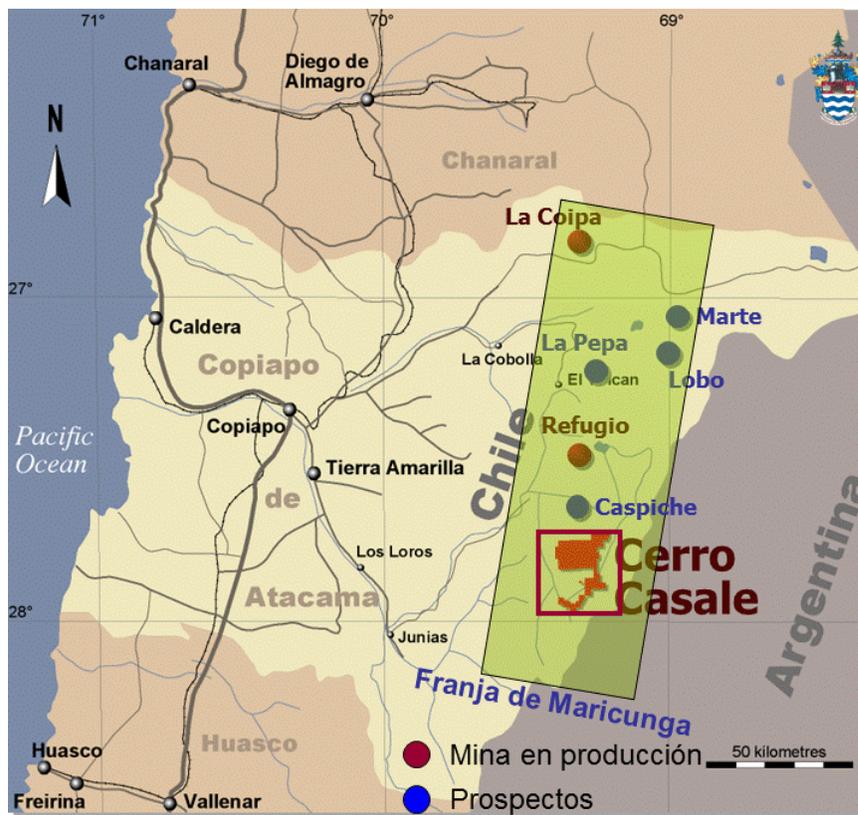


Figura 1. Ubicación del Distrito Minero Casale en la III Región de Atacama en la Franja de Maricunga, Chile. Los círculos rojos indican minas en producción de la Franja de Maricunga, mientras que los círculos azules prospectos mineros. Las líneas negras y grises indican la carretera principal y los caminos de tierra de acceso a los proyectos.

El *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se encuentra ubicado dentro del Distrito Minero Casale, a 10 km al oeste del depósito tipo pórfido $Au - Cu$ Cerro Casale (Figura 2). La altitud varía de 4300 a 4700 m sobre el nivel del mar.

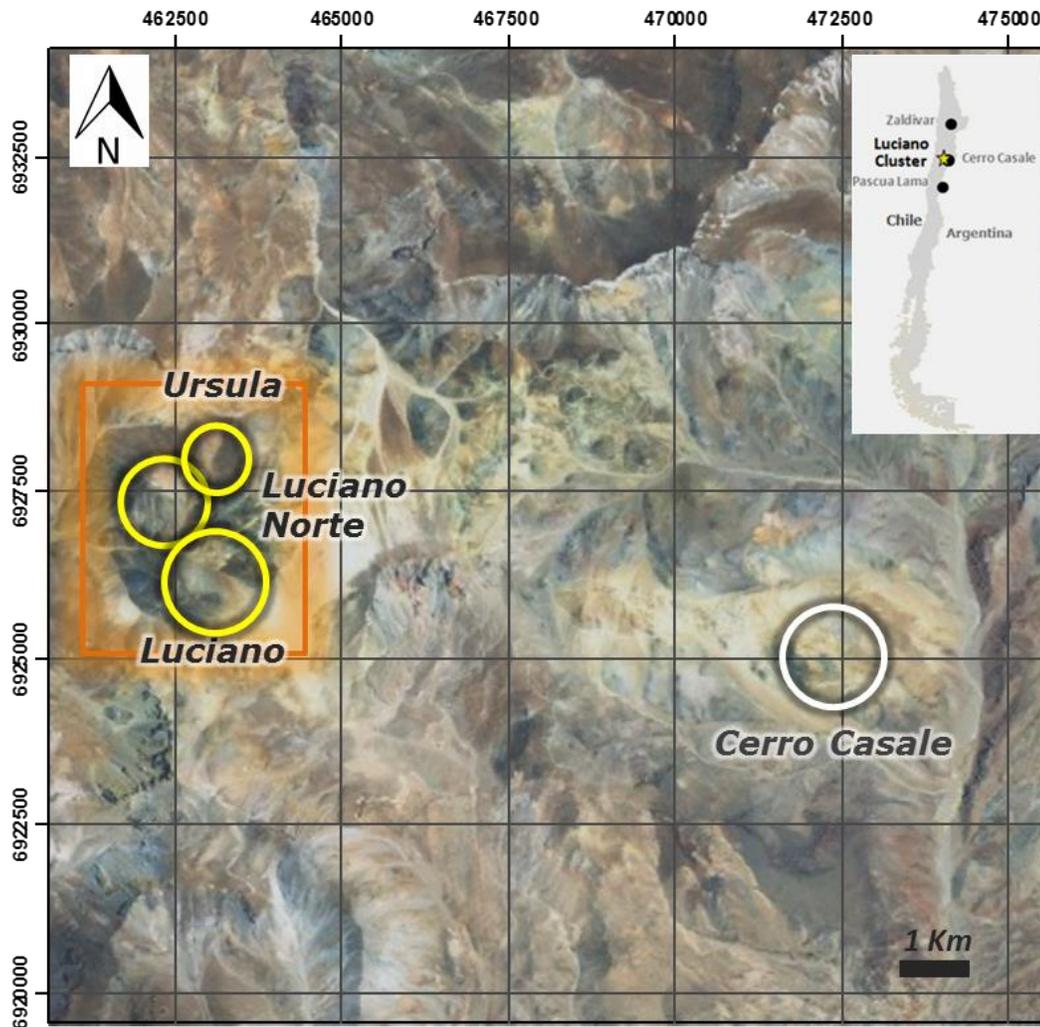


Figura 2. Ubicación del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano (recuadro naranja) conformado por los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte, Úrsula, con respecto al pórfido *Au – Cu* Cerro Casale. Imagen satelital (*Google Earth*).

5. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

Para la realización del estudio se proponen los siguientes pasos:

5.1 Investigación bibliográfica y recopilación geológica

En esta primera etapa se recopiló información bibliográfica sobre los depósitos auríferos de la Franja de Maricunga, además de las base datos de logueo de sondajes y toda la información disponible sobre el proyecto. Se prepararon los antecedentes y el estado del arte en el tema.

5.2 Selección de las secciones representativas

Para la realización del estudio se escogieron tres secciones representativas que atraviesan los depósitos de Luciano, Luciano Norte y Úrsula. Las secciones AA' (sector Luciano), BB' (sector Luciano Norte) y CC' (sector Úrsula) cortan unidades litológicas representativas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, atraviesan zonas de alta ley de oro en profundidad y en superficie, además de incorporar una cierta cantidad de pozos de sondajes perforados considerando una influencia de 100 m hacia cada uno de los lados de la traza de cada sección (Figura 3).

5.3 Trabajo de terreno

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2013 se realizó el trabajo de terreno, periodo en el cual se desarrolló la descripción macroscópica y re-logueo de los testigos de sondajes pertenecientes a las secciones AA', BB' y CC', además de la toma de muestras para análisis de geoquímica de roca total, análisis mineralógico TMS (técnica QEMSCAN), petrografía y calcografía.

Para esta etapa se generó una planilla de mapeo para testigos de sondajes que incluyen la descripción litológica, de alteración hidrotermal, vetillas y de mineralización sulfurada.

5.4 Caracterización mineral

La caracterización mineral se realizó a partir de estudios petrográficos y calcográficos de las distintas unidades geológicas definidas en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Para el estudio se describieron alrededor de 25 secciones transparentes y pulidas. Además se recopilaron los reportes de estudios petrográficos y calcográficos realizados anteriormente en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano (Anexo A).

Para el estudio de las secciones transparentes y pulidas se utilizaron los microscopios disponibles en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Algunas secciones transparentes y pulidas fueron posteriormente revisadas con el geólogo Enrique Tidy.

5.5 Geoquímica

Procedimiento de terreno

Para la toma de muestras se tuvieron las siguientes consideraciones:

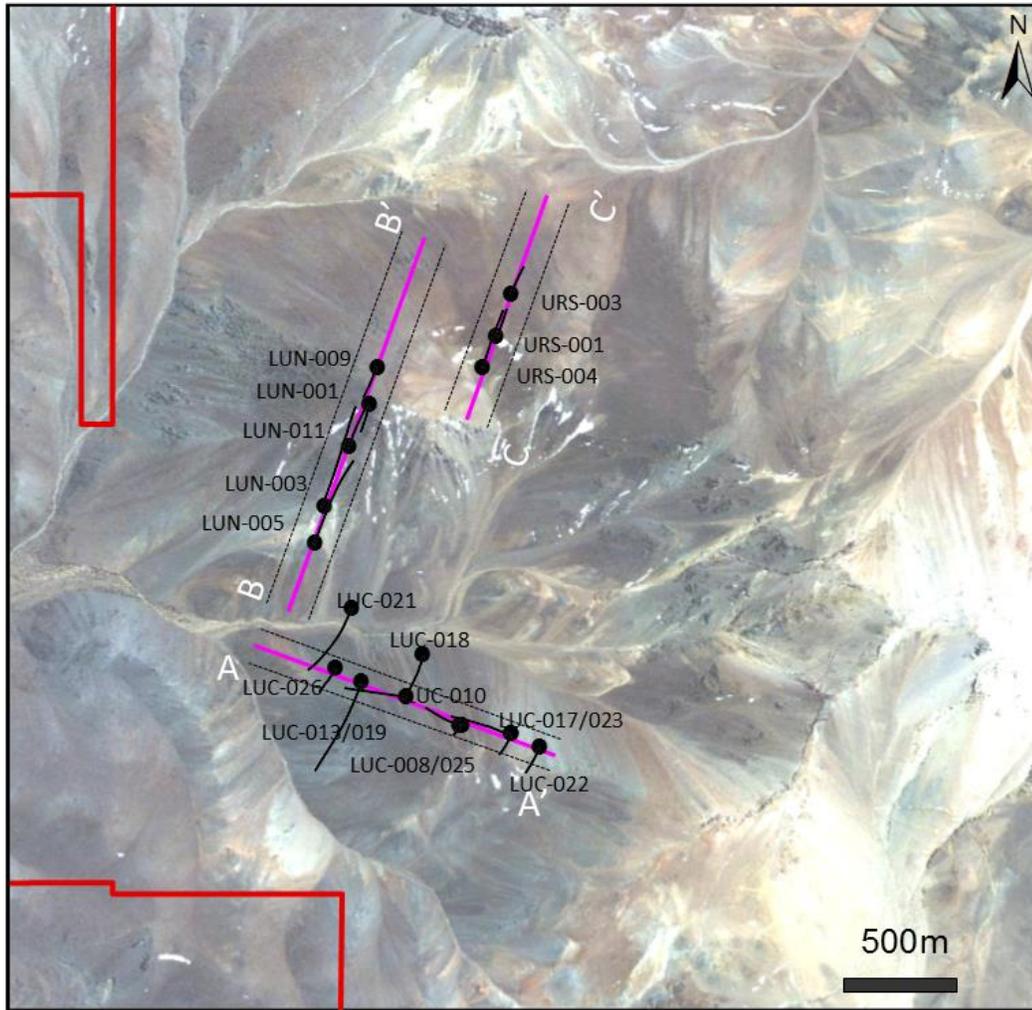


Figura 3. Secciones representativas AA' (Luciano), BB' (Luciano Norte) y CC' (Úrsula). En la figura se incluyen los pozos de sondajes utilizados para este estudio junto con su proyección en planta. La línea punteada a ambos lados de cada sección indica una influencia de 100 m hacia cada uno de los lados de la traza de cada sección.

- Se seleccionaron muestras de todas las unidades intrusivas pertenecientes a las secciones AA', BB' y CC' (Anexo A).
- Se tomaron muestras de 20 cm de testigo de sondajos que no presentaran vetillas, con el fin de no sobreestimar los valores de sílice, sulfato de calcio y otros compuestos.
- Se seleccionaron muestras en que la litología y la alteración fuesen representativas del tramo litológico al que pertenecían.
- Como no fue posible recolectar muestras frescas, ya que todas las rocas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano presentan algún grado de alteración, se seleccionaron muestras homogéneas con débiles efectos de alteración hidrotermal.

- Las muestras recolectadas corresponden a las unidades intrusivas preminerales, interminerales tempranas, interminerales, interminerales tardías y tardías, las cuales fueron clasificadas de acuerdo a las relaciones de contacto observadas en terreno y a las características descritas en el capítulo de Litología.

Finalmente se recolectaron 44 muestras en total, de las cuales, 25 corresponden al sector de Luciano, 16 al de Luciano Norte y 3 al de Úrsula (Anexo A y D). Además se incorporaron tres estándares para realizar un control de calidad de los datos.

Procedimiento de laboratorio y análisis de datos

Las 44 muestras seleccionadas y tres estándares fueron enviados al Laboratorio *Actlabs* en Canadá, donde se realizó un análisis de roca total *Trace4lito* research, que incluye técnicas de digestión total y de fusión, para la obtención de información litológica sobre la naturaleza de la roca hospedante, la mineralogía de alteración y elementos *pathfinders* hospedados dentro de minerales silicatados.

La digestión total, es la más fuerte de las digestiones usadas en geoquímica. En esta se emplea los ácidos clorhídrico, nítrico, perclórico y fluorhídrico. Incluso en esta digestión, ciertos minerales (tales como baritina, cromita y casiterita) pueden no quedar en solución. Otros minerales incluyendo el circón, esfeno y magnetita pueden no ser totalmente disueltos. El resto de los silicatos son puestos en solución, sin embargo, algunos elementos podrían ser erráticamente volatilizados, incluyendo el *Si, As, Sb, Cr, U* y *Au*. Este procedimiento no puede ser utilizado para determinar concentraciones exactas de tierras raras, *Ta, Nb, As, Sb, Sn, Hf, Cr* y *Si*, por lo que se utilizan técnicas de fusión de manera conjunta.

La técnica de fusión utilizada para este estudio corresponde a la más agresiva de todas, ya que emplea fusión con metaborato/tetraborato de litio. La muestra fundida resultante es rápidamente digerida en una solución de ácido nítrico débil. La fusión asegura que la muestra entera sea disuelta. Es solo con este ataque que la mayoría de los óxidos, incluyendo *SiO₂*, las tierras raras y otros *high field strength elements* son puestos en solución. Las rocas con altos contenidos de sulfuros debiesen requerir un tratamiento distinto, pero todavía pueden ser adecuadamente analizadas. El análisis es realizado con un ICP/MS.

El ICP-MS (técnica de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo) es una variante de las técnicas de análisis por espectrometría de masas. Su principal característica es la alta precisión y los bajos límites de detección para la mayoría de los elementos (de unas pocas *ppb* y *ppt*) lo que lo hace ideal para el análisis de elementos traza. La técnica ICP-MS combina dos propiedades analíticas que la convierten en un potente instrumento en el campo del análisis de trazas multielemental. La primera, obtiene una matriz libre de interferencias debido a la eficiencia de la ionización del plasma de argón, y la segunda, presenta una alta relación señal-ruido característica en las técnicas de espectrometría de masas.

Así, se obtuvo una base de datos robusta con el porcentaje peso de elementos mayores, *ppm* de elementos traza y tierras raras. Los elementos bajo el límite de detección fueron recalculados, utilizando la mitad del límite de detección. Para el procesamiento de datos se utilizó el *software ioGAS*.

Para la construcción de las secciones esquemáticas de litología, alteración y mineralización AA', BB' y CC' se utilizaron datos de geoquímica de roca total por digestión total (*Base de Datos Interna Barrick*) de todos los sondajes perforados dentro del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano con la información geoquímica de elementos mayores y algunos traza, cada dos metros de sondaje.

5.6 Análisis mineralógico TMS (técnica QEMSCAN)

El análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) se realizó en cuatro muestras de testigos de sondajes de 20 *cm* aproximadamente, de las cuales se prepararon cinco briquetas pulidas con el objetivo de definir la presencia de fases minerales con oro, su distribución, granulometría, textura, especie y asociaciones minerales. Cabe mencionar que dichas muestras presentan anomalías de oro dentro del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano (Anexo B).

Estas muestras fueron estudiadas utilizando el modo de operación TMS (*Trace Mineral Search*), la cual es una técnica especial de medición dentro de la técnica QEMSCAN que aumenta la probabilidad de encontrar elementos en proporciones muy bajas (< 0.5 % volumen).

Selección de las muestras

Se seleccionaron cuatro muestras de testigos de sondajes de unos 20 *cm* utilizando los siguientes criterios:

- Las muestras seleccionadas presentan alta ley de oro (≥ 1 *ppm*).
- Las muestras seleccionadas presentan mineralización sulfurada de interés (pirita, calcopirita, bornita, etc) con el fin de determinar la asociación de las partículas de oro con esta mineralogía.
- En las muestras seleccionadas, la mineralización sulfurada se encuentra en vetillas o diseminada, asociadas a una unidad litológica en particular y a un tipo de alteración hidrotermal dominante (potásica o clorítica).

Las descripciones macroscópicas de la litología, alteración y mineralización, ubicación de las muestras de testigos de sondajes seleccionadas para el análisis TMS se presentan en el Anexo B.

Preparación de las muestras

De las cuatro muestras de testigo de sondaje se definieron zonas de interés de estudio y se realizaron cinco briquetas de 3 X 3 cm, las cuales fueron montadas con resina epóxica. Posteriormente, estas se rebajaron, pulieron y carbonizaron para producir conductividad en la superficie.

Las fotografías de las muestras seleccionadas, el sector escogido para la realización del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) y las fotografías de las briquetas pulidas se presentan en el Anexo B.

Condiciones de medición

Las muestras fueron estudiadas en el *Laboratorio Geomaq* (Santiago) utilizando el Sistema QEMSCAN E430 con 2SDD detectores de rayos X libres de nitrógeno, usando procedimientos *standard QEMSCAN*.

El Sistema QEMSCAN consta de un microscopio electrónico de barrido básico, equipado con cuatro detectores de rayos X de dispersión de energía con elementos ligeros y una unidad de procesamiento electrónico diseñada por *Intellection*. QEMSCAN utiliza la intensidad de señal de los electrones retrodispersados (BSE) y una señal de rayos X de dispersión de energía (EDS) en cada punto de medición, por lo no realiza simplificaciones o supuestos de homogeneidad basados en la intensidad BSE, pues muchas fases minerales muestran superposición de BSE. La señal EDS se utiliza para asignar identidades minerales a cada punto de medición, mediante la comparación de la señal BSE y el espectro EDS con el programa o la base de datos de identificación de especies minerales (SIP).

Los datos son procesados utilizando el software *iDiscover 4.3*, el cual permite que las partículas sean categorizadas de diferentes maneras de acuerdo a las necesidades del cliente.

Procedimiento analítico QEMSCAN

La técnica QEMSCAN presenta tres modos de operación BMA (*Bulk Mineral Analysis*), PMA (*Particle Mapping Analysis*) y FS (*Field Scan*). El modo de operación PMA presenta tres alternativas de medición dependiendo del objetivo del estudio a desarrollar, estos son: PMA (*Particle Mapping Analysis*), SMS (*Specific Mineral Search*) y TMS (*Trace Mineral Search*). Este último se utiliza para estudiar la mineralogía del oro.

El análisis de minerales específicos o trazas (TMS) se usa solo cuando la fase de interés está presente a nivel de traza en la muestra. Este modo de lectura es una

función hardware, el cual a través de un monitoreo continuo de brillo BDS, registra una respuesta BDS en cada punto para generar una imagen. La imagen es almacenada para lograr la ubicación espacial de cada partícula y específicamente para las que tengan una respuesta BDS superior a cierto valor umbral. Las partículas seleccionadas son analizadas a espaciamientos menores para proveer un mapa mineral detallado de ellas. Las imágenes obtenidas del análisis TMS (de colores falsos) proveen información sobre las relaciones espaciales de los minerales, incluidos datos de liberación y asociación, y proporcionan una representación visual de las texturas de los minerales.

Este análisis es usado para analizar especies presentes en concentraciones menores al 0.5 % en volumen.

5.7 Test metalúrgico de cianuración

Para la realización de estudios geoquímicos y pruebas metalúrgicas preliminares, los testigos de sondajes son divididos en tramos de 2 m, de los cuales una mitad se utiliza para el logueo de sondajes, y la otra es pulverizada para la preparación de pulpas para estudios especiales.

En este estudio, se enviaron cuatro muestras de pulpas (las cuales pertenecen al mismo tramo de sondaje del que se tomaron las muestras para el análisis TMS) (Anexo B), al Laboratorio Acme, y se realizó un test metalúrgico por cianuración *TestG907* con el objetivo de obtener un resultado preliminar de la recuperación de oro (cantidad de oro cianurable). El porcentaje de oro cianurable se calculó ocupando la relación:

$$\% \text{ oro cianurable} = \left(\frac{AuCN}{Au^*} \right) \times 100$$

Donde *AuCN* es la cantidad (*ppm*) de oro recuperado con el test metalúrgico de cianuración *TestG907* y *Au** es la ley de oro (*ppm*) de la pulpa calculada por análisis de digestión total.

El procedimiento del test metalúrgico de cianuración *TestG907* consta de los siguientes pasos:

- Se homogenizan las pulpas a una malla de 200 (75 μ m).
- Se separa 20 g de material pulverizado.
- Se adiciona 50 ml de NaOH al 0.1 % v/v y un 1 % v/v de NaCN a temperatura ambiente y se agita la mezcla.
- Se adiciona 1 ml de PbNO3 al 0.5 v/v y se mezcla.
- Se mezcla bien la solución y se deja rolear por 4 horas.
- Se centrifuga la muestra a 2.800 rpm por 3 minutos.
- Al decantar la solución se analiza el contenido de oro y de otros elementos por determinar. Los sólidos son lavados.

Para este estudio, también se utilizaron datos de análisis de cianuración (*TestG907*) previamente realizados por la Compañía Minera Barrick (Anexo A).

La ubicación y resultados de las cuatro muestras específicas enviadas para análisis *TestG907* y la ubicación de los análisis realizados anteriormente se presentan en los Anexos A y C.

5.8 Análisis, procesamiento de datos y elaboración del informe final

Esta etapa corresponde al trabajo de gabinete, en el que se realizó la compilación de la información, el procesamiento de datos geoquímicos, la descripción de las secciones transparentes y pulidas, interpretación de datos, discusión, generación de las secciones geológicas, modelo geológico esquemático y conclusiones.

6. MARCO GEOLÓGICO

En este capítulo se presenta el marco geológico, tectónico y metalogénico de la Franja de Maricunga, además de la descripción de las principales unidades litológicas y rasgos estructurales a escala distrital.

6.1 Marco Geológico Regional

Basamento Paleozoico-Mesozoico

El basamento comprende unidades del Paleozoico hasta el Cenozoico Inferior (Figura 4). La unidad más antigua corresponde a la Formación Chinchas (Mercado, 1982), secuencia sedimentaria que incluye areniscas y lutitas de edad Devónico-Carbonífero (Mercado, 1982). Esta formación es cubierta en discordancia angular por rocas volcánicas ácidas de la Formación Pantanosos (Mercado, 1982) y por rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación La Ternera (Brüggen, 1950), de edades Pérmico-Triásico Inferior y Triásico Superior, respectivamente. La Fm. Pantanosos es intruida por granitoides y pórfidos riolíticos de edad Pérmico (Mercado, 1982). El techo de la Fm. Pantanosos está dado por una discordancia con rocas Jurásicas de la Fm. Lautaro y flujos volcánicos Cenozoicos, mientras que el techo de la Fm. La Ternera está representado por una aparente concordancia con la Fm. Lautaro (Mercado, 1982).

Representando un episodio de transgresión marina durante el Jurásico Inferior a Medio, la Fm. Lautaro (Segestrom, 1959) se define como un conjunto de rocas calcáreas y clásticas (Mercado, 1982), subyaciendo en concordancia a rocas de las Formaciones Quebrada Monardes y Quebrada Paipote, ambas de edad Jurásico

Superior-Cretácico Inferior. La Formación Quebrada Monardes (Mercado, 1982) corresponde a una secuencia de conglomerados y areniscas rojas. Muzzio (1978) indica un ambiente marino gradando a una depositación lacustre endorreica, finalizando con niveles evaporíticos transicionales a un ambiente marino. La Formación Quebrada Paipote (Mercado, 1982) consta de una secuencia de rocas volcánicas y clásticas propias de un ambiente continental, en ocasiones de ambiente lacustre (Mercado, 1982). La Formación Quebrada Seca (Mercado, 1982) corresponde a una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas de edad Cretácico Inferior, apoyadas en concordancia sobre la Formación Quebrada Monardes y subyaciendo en discordancia bajo las Gravas de Atacama. El Cretácico Superior está representado por la Formación Las Pircas (Mercado, 1982), la cual está formada por rocas sedimentarias clásticas. Esta secuencia se presenta discordantemente sobre la Formación Quebrada Paipote y en discordancia bajo las Gravas de Atacama (Mercado, 1982). Una formación compuesta de intercalaciones de lavas andesíticas, areniscas, calizas grises y lutitas yesíferas laminadas, areniscas y conglomerados rojos e ignimbritas basales se define como Secuencias de Río Nevado (Cretácico Superior-Eoceno?; Mpodozis, 1998) la cual se correlacionaría con algunas de las unidades descritas anteriormente.

Durante el Cretácico Superior-Mioceno Temprano suceden una serie de eventos volcánicos de tipo calcoalcalino rico en potasio. Los cuerpos volcánicos, datados radiométricamente entre 80 y 52 *Ma* (Carrasco, 1999), incluyen a complejos de domos y campos de caldera de colapso, los cuales afloran en las zonas de La Coipa, Cerros Bravos (Cornejo y Mpodozis, 1994; Cornejo et al., 1994; Arévalo et al., 1994), río Astaburuaga y Nevado de Jotabeche (Mpodozis et al., 1995).

La unidad Gravas de Atacama (Mortimer, 1973), corresponde a una secuencia de sedimentos clásticos de edad Mioceno Medio a Superior, formada por gravas y arenas poco consolidadas con intercalaciones locales de ignimbritas.

Volcanismo Cenozoico

El volcanismo Cenozoico está representado por una serie de eventos intermitentes, los cuales fluctúan entre los 26 y 5 *Ma* (Oligoceno Superior-Mioceno Superior; Mpodozis et al., 1995; Figura 4). Los productos volcánicos Cenozoicos se extienden por más de 200 *km*, desde el salar de Pedernales (26° *S*) hasta Cerro Pulido (28° *S*) (Mpodozis et al., 1994).

El evento volcánico más antiguo ocurrió entre los 26 y 21 *Ma*, del cual forman parte los estratovolcanes coalescentes Cerros Bravos y Barros Negros y los complejos de domos múltiples periféricos como Esperanza, La Ola y La Coipa. Al sur de la Franja de Maricunga la actividad magmática fue más reducida, restringida a pequeños complejos de domos múltiples, los cuales son portadores de mineralización de metales preciosos, asociados a su vez a flujos piroclásticos de volumen pequeño y alteración hidrotermal generalizada, destacándose los yacimientos Refugio, La Pepa y Santa Cecilia. La ubicación de los centros volcánicos se relaciona con fallas de rumbo *NW – WNW*, activas durante su emplazamiento (Carrasco, 1999).

Entre los 20 y 17 *Ma* se produce una disminución de la actividad volcánica, observándose pequeños domos dacíticos al este y norte de La Coipa y coladas de lavas andesíticas y dacíticas al sureste del Volcán Copiapó (proyecto Pantanillo), presentando en este último lugar una edad *K – Ar* en roca total de $19,5 \pm 1,1$ *Ma* y una edad *K – Ar* en biotita de $18,6 \pm 0,8$ *Ma* (Mpodozis et al., 1995).

La actividad volcánica se reanudó entre los 16 y 11 *Ma* (Mioceno Medio). Durante este segundo episodio, la actividad volcánica se extendió a lo largo de toda la Franja de Maricunga, concentrándose en grupos discretos de centros volcánicos. Al norte del Salar de Pedernales se desarrollaron los complejos Doña Inés y Gemelas Fortuna, mientras que al sur del salar de Maricunga se desarrollaron los complejos Ojos de Maricunga, Santa Rosa, Pastillitos, Lagunillas, Pastillos y Villalobos. En el extremo sur de la Franja se desarrollan los volcanes Cadillal, Jotabeche Norte, La Laguna y Yeguas Heladas. Entre los 13 y 11 *Ma*, la actividad volcánica se concentró en la parte sur de la Franja, destacándose el emplazamiento de los pórfidos auríferos de Marte, Lobo, Escondido y Cerro Casale (Figura 4). Al oeste de los complejos volcánicos se depositaron los depósitos sedimentarios conocidos como Gravas de Atacama. Estos depósitos incluyen intercalaciones de flujos ignimbríticos y niveles de ceniza. Su origen se asocia a una fase de alzamiento del Altiplano, posiblemente asociada a la deformación compresiva de la etapa inicial de la disminución del ángulo de subducción (Segerstrom, 1968; Mortimer, 1973; Clark et al., 1967; Cornejo et al., 1993; en Carrasco, 1999).

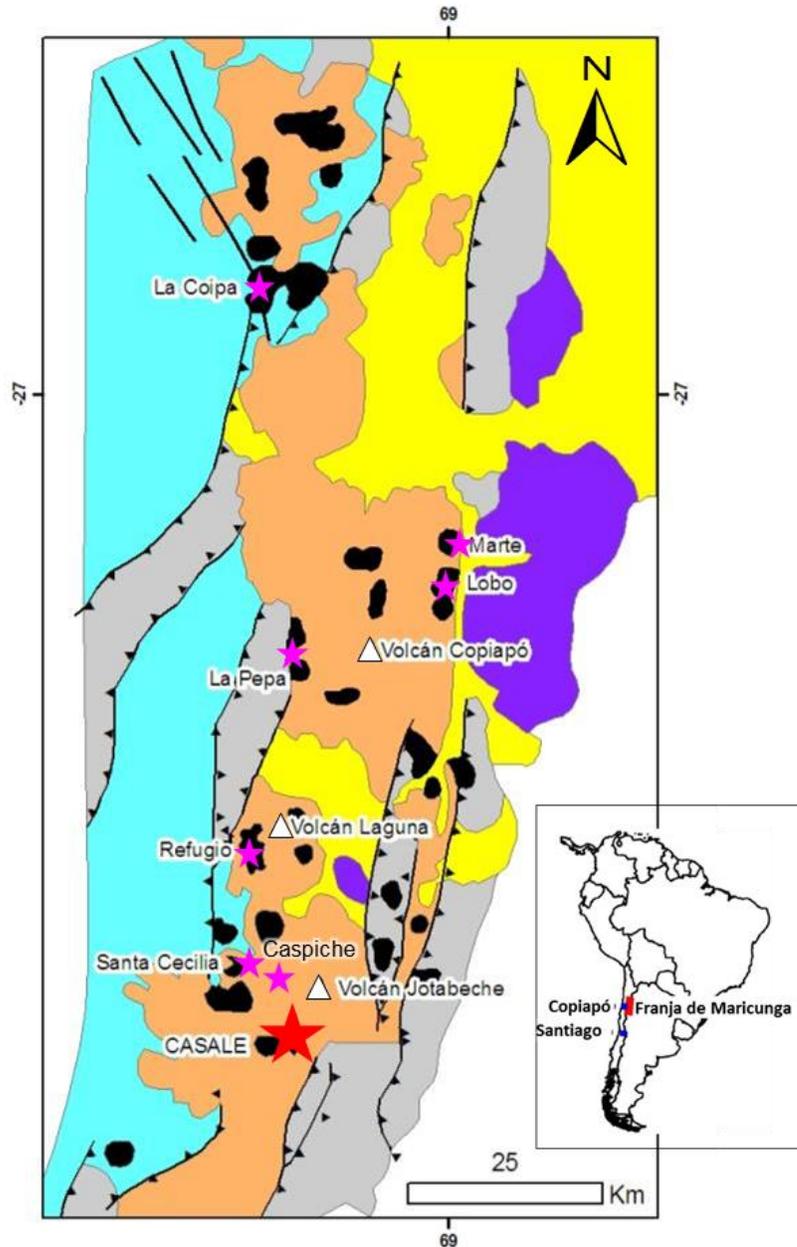
Posterior a este evento de gran intensidad magmática, sucede un periodo, entre los 11 y 7 *Ma*, de menor actividad volcánica, restringida al Complejo Volcánico Copiapó (CVC). La actividad del CVC se ha dividido en dos fases: una fase temprana entre los 11 y 10 *Ma* representada por el estratovolcán Azufre, ubicado al norte de la laguna del Negro Francisco, y una fase tardía entre los 8 y 7 *Ma* representada por la construcción del cono del Cerro Copiapó (Mpodozis et al., 1995).

El último evento volcánico registrado en la Franja de Maricunga se reduce a la zona del Nevado de Jotabeche, episodio comprendido entre los 6 y 5 *Ma* (Mpodozis et al., 1995). El volcanismo cesó a los 5 *Ma* en la Franja de Maricunga, al desplazarse el frente volcánico hacia el este (Mpodozis et al., 1991)

6.2 Marco Tectónico Regional

La Franja de Maricunga se ubica entre dos segmentos tectónicos de la cordillera principal de Los Andes. Alrededor de los 27° *S* se produce una transición del ángulo de subducción de la placa de Nazca, desde una subducción de 30° al norte de los 26° *S* en el límite sur de la Zona Volcánica Central (ZVC), hasta una subducción plana de 10° a 15° en una zona de inactividad volcánica, entre los 28° y 33° *S* (Barazangi e Isacks, 1976). Esta transición del ángulo de subducción se habría producido progresivamente entre los 20 y 6 *Ma*, reflejando una evolución de la estratigrafía y geoquímica de las rocas volcánicas (Mpodozis et al., 1995; Figura 5).

En la Franja de Maricunga se definen al menos tres direcciones estructurales mayores: *N – NE*, *NW* y *E – NE*



Leyenda

- Cuaternario:** Depósitos aluviales y evaporitas.
- Plioceno:** Rocas volcánicas.
- Oligoceno Tardío- Mioceno tardío:** Rocas volcánicas.
- Jurásico- terciario temprano:** Rocas volcánicas y sedimentarias.
- Paleozoico-Triásico:** Basamento (granitoides y rocas volcánicas)
- Zona de Alteración Hidrotermal**
- Fallas normales**
- Fallas inversas**
- Distritos Mineros o depósitos auríferos de la Franja de Maricunga.**
- Distrito Minero Casale**

Figura 4. Marco Geológico esquemático de la Franja de Maricunga. Modificado de Davidson & Mpodozis (1991).

Un sistema de fallas inversas de alto ángulo, de orientación $N-NE$ y de edad Cretácico Medio-Mioceno Medio (Vila y Sillitoe, 1991), involucran a rocas del basamento y se correlacionarían con la somerización de la zona de subducción (Davidson & Mpodozis, 1991; Vila & Sillitoe, 1991; Kay et al., 1994; Mpodozis et al., 1995). Estas fallas representan un sistema de *horst* y *graben*, en el que se desarrollan cuencas cerradas, tales como el Salar de Maricunga y la Laguna del Negro Francisco.

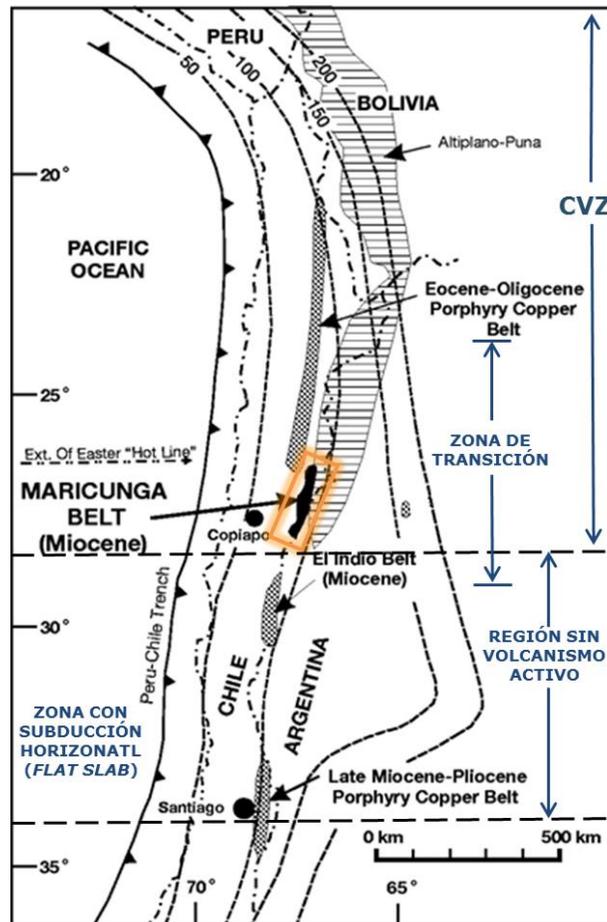


Figura 5. Contexto tectónico regional de la Franja de Maricunga. En la figura se observa la ubicación de la Franja de Maricunga en una zona de transición del ángulo de subducción. Abreviación: CVZ=Zona Volcánica Central. Adaptado de Muntean & Einaudi (2001).

Una segunda dirección estructural de orientación NW se asocia espacialmente a zonas de alteración hidrotermal, coincidiendo con la orientación de fallas normales, vetas, vetillas, *stockworks*, diques, brechas, y anomalías geoquímicas. La intersección de los sistemas NNE y NW controlaría los focos de mineralización y alteración en la Franja de Maricunga (Vila y Sillitoe, 1991). La orientación de los sistemas de fallas normales NW sugerirían una extensión $SW-NE$ (Oviedo et al., 1991; Vila & Sillitoe, 1991; Vila et al., 1991). Estas estructuras se encuentran en muchos de los centros volcánicos Oligoceno tardío a Mioceno temprano.

Una tercera dirección estructural está definida por lineamientos satélites *E – NE* interpretados por King (1992) como zonas de cizalle dextrales que marcan el límite sur del *plateau* Altiplano-Puna

En menor medida se registran pliegues locales, los cuales estarían asociados a la fallas de orientación *NNE – SSW* (Mercado, 1982).

6.3 Marco Metalogénico

EL Distrito Minero Casale, se encuentra ubicada en la porción sur de La Franja de Maricunga, ubicada en el norte de Chile entre los 26° y 28° *S* (Figura 4 y 5). Esta ha sido definida como un cinturón metalogénico estrecho, de 30 *km* de ancho, en el cual se encuentran numerosas zonas de alteración hidrotermal hospedadas en rocas volcánicas y cuerpos intrusivos de poca profundidad (Sillitoe et al., 1991). Las zonas de alteración hidrotermal presentan mineralización de oro, plata y cobre, albergándose en depósitos de carácter epitermal y de tipo pórfido aurífero (Vila y Sillitoe, 1991).

La mineralización de cobre, oro y plata se asociada principalmente a eventos volcánicos discretos de edad Mioceno (Mpodosis et al., 1995). Los episodios magmáticos se desarrollaron entre el Jurásico Superior y el Mioceno Superior, distribuyéndose en forma de franjas elongadas de orientación norte-noreste. La migración hacia el este estuvo acompañada de cambios de ambientes metalogénicos asociados a los distintos eventos volcánicos (Vásquez, 1999).

Dentro de los eventos volcánicos Terciarios formadores de la Franja de Maricunga, se reconocen dos episodios relacionados con alteración hidrotermal y mineralización, denominados subfranja oeste y subfranja este (Vila y Sillitoe, 1991). La subfranja oeste presenta una edad entre 24 y 20 *Ma* (incluyendo a La Coipa con 17 *Ma*), hospedando en la parte norte depósitos epitermales de alta sulfuración (La Coipa), mientras que hacia el sur de la franja predominan depósitos tipo pórfido aurífero, asociados a *stocks* subvolcánicos, tales como La Pepa, Refugio y Santa Cecilia (Vila y Sillitoe, 1991). Hacia el este del volcán Copiapó, se presenta la subfranja este, comprendida entre los 14 y 13 *Ma*, la cual es representada por pórfidos auríferos tales como Marte, Lobo, Escondido y Cerro Casale (Vila y Sillitoe, 1991).

Los pórfidos auríferos presentan dos tipos principales de alteración hidrotermal: alteración potásica y clorítica (\pm sericita). Localmente se aprecia alteración propilítica, fílica y argílica intermedia. Por otra parte, los sistemas epitermales de alta sulfuración se caracterizan por presentar alteraciones de tipo argílica avanzada (Vila y Sillitoe, 1991). En gran parte de los sistemas porfíricos registrados en la Franja de Maricunga se observa una superposición de tipo epitermal de alta sulfuración.

Las mayores diferencias entre los depósitos de *Au – Cu* de La Franja de Maricunga y los depósitos de pórfidos de cobre de otras franjas metalogénicas (por ejemplo, pórfido *Cu – Mo* del Eoceno-Oligoceno, Paleoceno o Mioceno Superior-Plioceno), se pueden atribuir a las bajas profundidades de formación, menores a un 1 *km* para los pórfidos auríferos, comparados a profundidades de 1.5 a 4 *km* para los pórfidos

Cu – Mo. Profundidades someras resultan en bajas concentraciones de sulfuros, vetillas locales de granate, alteración hidrotermal portadora de albita y, lo más importante, vetillas de cuarzo bandeadas, que son únicas para los depósitos del tipo pórfido aurífero (Muntean & Eiuaudi, 2000).

Las edades y reservas o recursos estimados de oro para algunos depósitos de la Franja de Maricunga son las siguientes: Lobo-Marte: reservas estimadas de 6.03 Moz @ 1.43 – 1.6 ppm Au (*Informe Interno Kinross, 2013*); Cerro Casale: 13.9 Ma (Sillitoe et al., 1991), reservas de 24.5 Moz (*Informe Interno Barrick, 2013*) @ ~ 0.6 ppm Au (Sillitoe et al 1991); La Pepa: 22 – 23 Ma (Sillitoe et al., 1991), recursos de 2.76 Koz @ 0.57 ppm Au (*Informe Interno Yamana Gold, 2013*); Refugio: 23 Ma, recursos de 3.4 Moz @ 0.96 ppm Au (*Informe Interno Cerro Maricunga, 2013*); La Coipa 24.7 Ma, recursos de 641 Koz @ 1.4 ppm Au (*Informe Interno Kinross 2013*); Caspiche 25.4 Ma, reservas de 24.9 Moz @ 0.55 ppm Au (Sillitoe et al., 2013), Santa Cecilia 24 Ma, 0.5 Moz (*Informe Interno Compañía Minera Cerro del Medio*) @ ~ 0.3 ppm Au (Sillitoe et al., 1991).

6.4 Marco Geológico Distrital

El Distrito Minero Casale está ubicado en la porción sur de la Franja de Maricunga comprendiendo un sub-*cluster* de ocurrencias de sistemas porfídicos *Au – Cu* de edad Mioceno (23 – 12 Ma). Este incluye el proyecto minero Cerro Casale (24.5 Moz, 6.7 Mlb Cu, 13.9 Ma , *Informe Interno Barrick, 2013*) y varios sistemas porfídicos *Au – Cu* de menor envergadura como Estrella, Eva, Román, Anfiteatro, Luciano, Luciano Norte, Úrsula, Jotabeche, Romancito, entre otros (Figura 6).

Todos estos centros hidrotermales satélites muestran evidencias de mineralización estilo pórfido *Au – Cu*, caracterizados por presentar altos tonelajes y bajas leyes de oro y cobre (50 – 1000 Mt, leyes de 0.5 – 2 ppm Au y < 0.5 % Cu).

El esquema estratigráfico de rocas volcánicas, volcanoclásticas e intrusivas para el Distrito Minero Casale que se presenta a continuación se basa en información de proyectos dentro de este, como por ejemplo, Cerro Casale, Eva, Luciano, Luciano Norte, observaciones de terreno por parte de geólogos de terreno y trabajos anteriores de Castelli (2010, 2013), Mpodozis (1991, 1998) y Mpodozis et al., (1995).

Las unidades más antiguas de edad Mesozoico-Cenozoico Inferior comprende un conjunto de rocas volcánicas principalmente por tobas de lapilli (hacia el techo) y tobas de ceniza líticas y cristalinas, de composición predominantemente andesítica y daciandesítica (hacia la base); también se reconocen coladas de lavas andesíticas amigdaloidales, niveles de areniscas y horizontes de conglomerados. Su techo ha sido observado en el sector de Luciano, en contacto más o menos concordante con conglomerados y en el depósito *Au – Cu* Cerro Casale en donde son sobreyacidas por andesitas amigdaloidales. Estas rocas presentan fuertes efectos de alteración potásica (principalmente biotita secundaria) en horizontes más 'clásticos' o de mayor granulometría, mientras que en los horizontes más finos suele presentar alteración de feldespato potásico. Cabe una posibilidad de que esta unidad sea

correlacionada con las ignimbritas basales de la unidad Secuencias de Río Nevado (Mpodozis, *et al.*, 1991; 1998).

Sobre esta unidad basal se reconoce una unidad volcanosedimentaria compuesta por una secuencia rítmica de rocas detríticas continentales rojas reconocidas como paraconglomerados polimícticos, de baja madurez composicional, mala madurez textural y areniscas rojas intercaladas, los que se disponen de forma subhorizontal. Esta unidad se ha reconocido en sondajes del Distrito Minero Casale, donde presentan efectos de alteración potásica de asociación de biotita secundaria-magnetita, principalmente. Hacia el techo de la unidad los conglomerados estarían en contacto concordante con la unidad de complejos volcánicos de la Franja de Maricunga (del Nevado de Jotabeche; Mpodozis, 1995). Según las características descritas esta unidad puede correlacionarse litológicamente con conglomerados félsicos y máficos en el sector de Cerro Casale (Cortés, 2013), con las brechas sedimentarias, areniscas y limolitas descritas en Caspiche (Sillitoe *et al.*, 2013), con los conglomerados rojos, areniscas y brechas de la unidad basal de las Secuencias del Río Nevado (Mpodozis, *et al.*, 1991; 1998), además de la Formación Quebrada Monardes (Mercado, 1982). No existen dataciones geocronológicas para esta unidad, sin embargo, esta unidad es cortada por pórfidos en el sector de Cerro Casale (13.9 Ma) y presentan clastos con vetillas que permiten asignar una edad tentativa del Oligoceno Tardío a Mioceno Medio (Figura 6).

Rocas del Oligoceno Superior- Mioceno Inferior afloran en las cercanías del depósito porfídico Au – Cu Caspiche conformado por domos y pórfidos dacíticos y andesíticos correspondiente a los complejos coalescentes de edad 22 – 25 Ma de domos intrusivos de los prospectos Santa Cecilia, Refugio, La Pepa, etc. Rocas volcánicas entre los 10 – 18 Ma afloran en el sector sur del depósito Cerro Casale comprendiendo lavas andesíticas, daciandesíticas, tobas dacíticas y brechas volcánicas (Figura 6).

Una secuencia de rocas volcánicas que afloran a lo largo de la parte superior del valle del Río Nevado, presentan sus mejores afloramientos en la quebrada que lleva hacia el área del depósito de Eva (Figura 6). Está constituida por un nivel basal de tobas, con intercalación de brechas piroclásticas y tobas andesíticas, un nivel intermedio donde predominan las brechas piroclásticas y uno superior de lavas andesíticas. Por sus rasgos, esta unidad puede ser correlacionada con las brechas volcánicas descritas en Caspiche, las que han sido datadas en 24.7 ± 0.7 Ma (Sillitoe *et al.*, 2013), así como con las ignimbritas y tobas alteradas de la unidad superior de las Secuencias de Río Nevado (Mpodozis, *et al.*, 1991; 1998). Estas rocas constituyen la roca huésped de todos los sistemas porfídicos reconocidos dentro del distrito; según Mpodozis (1991) y Mpodozis *et al.*, (1995), rocas de esta edad comprendería la roca hospedante de gran parte de la franja.

La mineralización de oro-cobre se generó durante el emplazamiento de múltiples fases de intrusiones porfídicas tempranas e interminerales de composición variable (granodioríticos, dioríticos y dacíticas de hornblenda y biotita) de edad Mioceno (15.8 Ma para Eva, 15.3 Ma para Luciano y 13.9 Ma para Cerro Casale; *Informe Interno Barrick*) y cuerpos de brechas, que fueron emplazados en una secuencia coetánea de rocas volcanoclásticas y volcánicas de edad Oligoceno Tardío-Mioceno Tardío.

La mineralización de oro ocurre relacionada al desarrollo de alteración potásica biotítica y/o feldespática con vetillas de cuarzo y cuarzo-magnetita en profundidad, y con la formación de vetillas bandeadas junto a alteración clorítica y/o clorita-sericita en niveles más someros. Estas vetillas de cuarzo se forman en arreglos polidireccionales (*stockwork*) y subparalelos (*sheeted*).

Un conjunto de rocas piroclásticas aflora en los niveles superiores del Cordón Yeguas Heladas. Se reconoce como una secuencia muy bien estratificada y subhorizontal, donde se presentan brechas piroclásticas, depósitos tipo bloques y cenizas, tobas de caída y de forma subordinada depósitos de lahares (Figura 6). A pesar de cubrir un área muy extensa, esta unidad no puede correlacionarse a ninguna otra unidad definida en el distrito. Dataciones realizadas por Mpodozis (1998) arrojan edades entre los 14 y 10 Ma, por lo que la edad de estos estratos se encontraría entre el Mioceno Medio al Mioceno Tardío. Una secuencia de lavas aflora en el área del volcán Nevado de Jotabeche y en las cadenas más altas a su alrededor (Yeguas Heladas), constituidas por lavas daciandesíticas de anfíbol con fenocristales de tamaño medio a grueso. De acuerdo a Mpodozis (1991), también incluiría ignimbritas y tobas riolíticas. Estas rocas se correlacionarían con las Lavas básicas de Pircas Negras (Mpodozis, 1998). Dataciones radiométricas realizadas por Mpodozis *et al.*, (1995), comprenden un rango de edad entre los 7 – 5 Ma (Mioceno Tardío).

6.5 Marco Tectónico Distrital

El Distrito Minero Casale, al igual que el resto de los depósitos auríferos de la Franja de Maricunga, se encuentra controlado principalmente por dos dominios estructurales: *NE-SW* y *E – W* (*WNW – ESE*).

El dominio estructural principal corresponde al de orientación *E – W*. De acuerdo a la observación de sondajes del Distrito Minero Casale, estas fallas no generarían grandes movimientos, no obstante, habrían sido favorables para el emplazamiento de magmas y pórfidos. Evidencias estructurales en terreno, han demostrado que fallas *E – W* (por ejemplo, en los sectores de Cerro Catedral, Cerro Casale, Román y Romancito) controlan el emplazamiento de los intrusivos del Distrito, así como también de cuerpos de brechas (Figura 6). Tanto en cuerpos de brecha como en pórfidos se han reconocido planos de clivaje, de fracturamiento, bandeamientos de flujos en direcciones *E – W*, lo que corrobora esta hipótesis (Winocur, 2010).

Las fallas de orientación *NE – SW* ejercen un control secundario en el emplazamiento de pórfidos e intrusivos. Una hipótesis es que algunas fallas *NE – SW* controlen el emplazamiento de intrusivos de caracteres póstumos o más tardíos, ya que estas fallas presentan movimientos posteriores a las *E – W*. Por

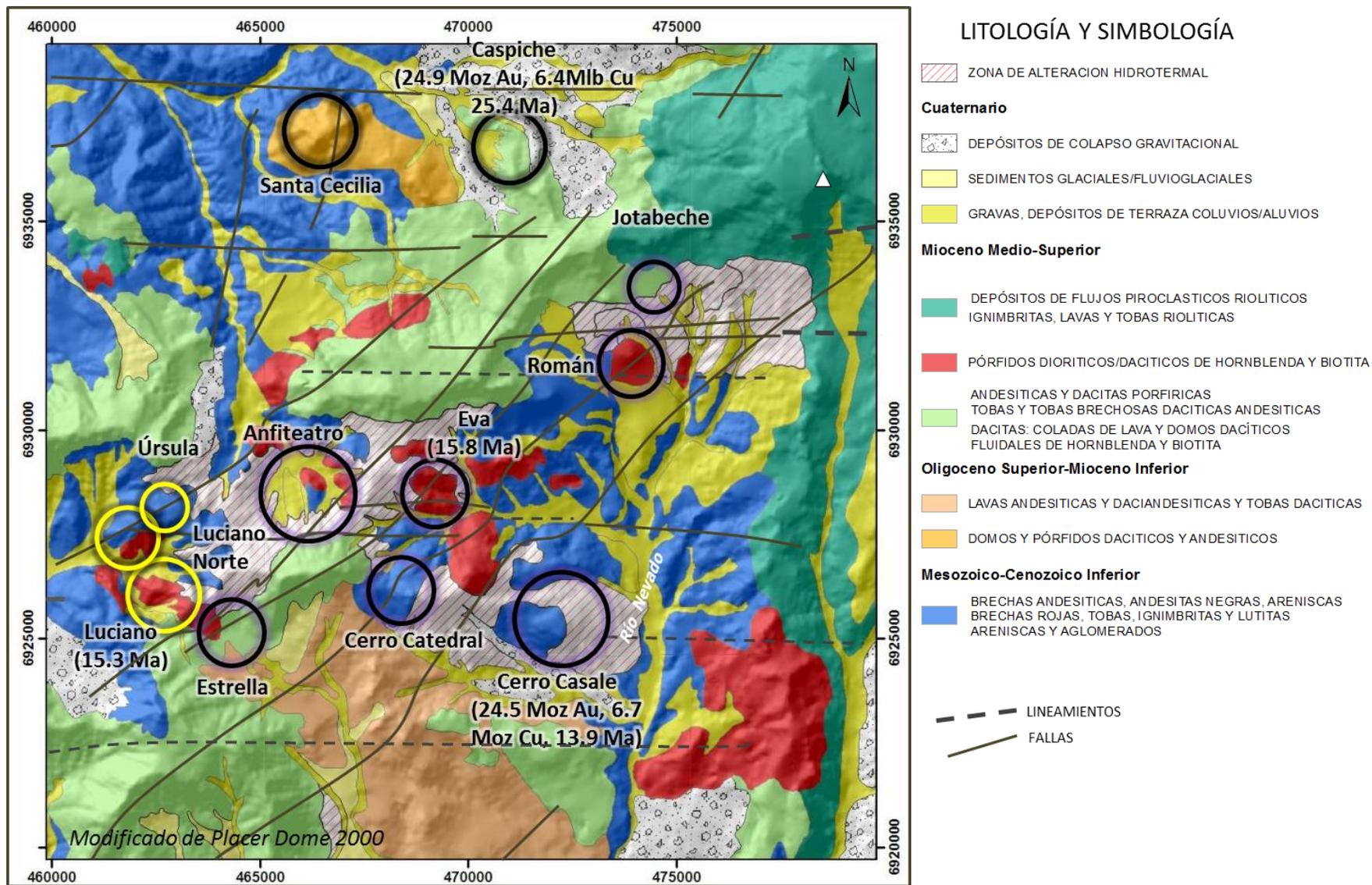


Figura 6. Marco Geológico Distrital. Modificado de Placer Dome 2000.

otra parte, las fallas *NE – SO* habrían generado el levantamiento progresivo de bloques hacia el oeste (Winocur, 2010). Estos bloques y sub-bloques definen distintos niveles de exposición de la mineralización del sistema, uno más profundo de *Au – Cu* y uno más somero de oro, sin cobre.

Los depósitos porfídicos *Au – Cu* como Cerro Casale, Luciano, Luciano Norte, Úrsula, al igual que el resto de las ocurrencias minerales del Distrito Minero Casale, ocurren en la intersección de fallas y lineamientos con orientaciones *NE – SW* y *E – W*, demostrando un control estructural para el emplazamiento de los complejos porfídicos mineralizados (Figura 6).

7. ANTECEDENTES

En el área de estudio no se han realizado estudios geológicos de detalle, ni publicaciones que hagan referencia al *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Sin embargo, los depósitos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula presentan características litológicas, de alteración y mineralización muy similares a otros depósitos de la Franja de Maricunga, por lo que se hace referencia a estudios realizados en los Distritos Mineros Casale, específicamente relacionados al pórfido *Au – Cu* Cerro Casale, Refugio y La Pepa.

Mpodozis et al. (1995) realizan una síntesis de la evolución volcánica de la zona sur de los Andes Centrales en el Oligoceno-Mioceno. Para la zona sur de la Franja de Maricunga ($27 - 28^{\circ} S$) indican un primer episodio de la actividad volcánica, el cual fue más reducido que en otros sectores y asociado a pequeños complejos de domos múltiples con mineralización de oro y plata (Pantanillo, Refugio, La Pepa) emplazados a través de una corteza más delgada ($\sim 35 - 40 km$). Un segundo episodio ($20 - 17 Ma$) asociado a un evento de deformación compresiva, engrosamiento cortical y disminución de la actividad volcánica. Finalmente, entre los 16 y $12 Ma$ el volcanismo se reanudó con vigor. Los magmas asociados a los centros más antiguos (Ojos del Maricunga, Santa Rosa y Jotabeche Norte); ($16 - 15 Ma$) evolucionaron en niveles corticales profundos, en equilibrio con granate, lo cual fue determinado por características geoquímicas de las rocas del Mioceno Medio, como fuertes variaciones en los patrones de tierras raras y altas razones La/Yb y Sm/Yb , entre otros.

Mpodozis (1998) realizó un mapa geológico de la Región Nevado del Jotabeche (1: 100.000) en el que se observa que la ubicación del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano coincide con zonas de fuerte alteración hidrotermal, rocas de la Secuencia de Río Nevado (Cretácico Superior- Eoceno?), rocas de los complejos coalescentes a los prospectos Santa Cecilia, Pantanillo, Refugio, La Pepa ($22 - 25 Ma$), tobas y flujos piroclásticos poco afectados por alteración hidrotermal generalizada.

Sillitoe & Vila (1991) indican que la mineralización de oro y cobre habría sido introducida por alteración potásica, la que se encuentra bien preservada en los prospectos Amalia, Refugio y Casale y es sobreimpuesta, además de comúnmente

obliterada, por asociaciones de sericita-arcilla-clorita del tipo argílica intermedia. Una mayor parte del oro está presente en *stockworks* de cuarzo y óxidos de hierro (magnetita y hematita). Estos últimos constituyen un volumen de un 5 – 10 % en las zonas mineralizadas. Los sulfuros se encuentran dominados por piritita, pero incluyen menores cantidades de calcopirita, y trazas de bornita y molibdenita. La mineralización aurífera asociada a sistemas porfídicos se encuentra como oro nativo, libre, como inclusiones en piritita y magnetita o en vetillas de cuarzo.

La profundidad de erosión de los sistemas tipo pórfido de Maricunga se presume que decrece desde zonas con alteración potásica expuesta en superficie como en Refugio y Cerro Casale, a los depósitos de Marte, Santa Cecilia y La Pepa, donde existen remanentes de *lithocaps* de alteración argílica avanzada.

Muntean & Einaudi (2001) realizaron una descripción geológica de los Distritos Mineros Refugio, Casale (Aldebarán) y La Pepa, y definieron los estilos de vetillas típicos de los sistemas porfídicos de la Franja de Maricunga.

Las vetillas A son las más tempranas y se desarrollan en la parte más profunda de los sistemas porfídicos de Maricunga. Se encuentran restringidas a zonas de alteración potásica y rocas intrusivas. Las vetillas de cuarzo A contienen cantidades variables de cuarzo, magnetita, biotita y calcopirita y localmente halos de feldespato potásico. Son vetillas con paredes irregulares y que carecen de simetría interna. El estudio de inclusiones fluidas hipersalinas ricas en líquido, indican temperaturas de hasta $700^{\circ}C$ y presiones entre los 200 y 400 *bars*, asumiendo una carga litoestática, equivalente a profundidades inferidas entre los 0.8 y 1.6 *km*. Zonas con abundantes vetillas A contienen en general $< 1 \text{ ppm Au}$ y 0.1 a 0.4 % de *Cu* hipógeno.

Por otra parte, las vetillas bandeadas ocurren por encima de las vetillas de cuarzo A y las cortan donde se traslapan. El color oscuro de las bandas, resulta de la alta densidad de inclusiones fluidas ricas en vapor y granos de escala de micrones de magnetita, que comúnmente ocurren como pares simétricos a las paredes de las vetillas. Estas vetillas son paralelas y débilmente sinuosas. El estudio de inclusiones fluidas ricas en líquido en vetillas bandeadas de cuarzo indican temperaturas $\leq 350^{\circ}C$ a presiones entre los 20 y 150 *bars*, asumiendo profundidades entre los 0.2 y 1.5 *km*. Zonas con abundantes vetillas de cuarzo bandeadas generalmente contienen 0.5 a 2 *ppm Au* y $< 0.1\%$ de *Cu* hipógeno.

Las vetillas bandeadas se formarían por *flashing* de los fluidos magmáticos durante episodios transicionales de presión litoestática a presión hidroestática. La pérdida de azufre a la fase vapor durante el *flashing* inhibe la formación de sulfuros de cobre en vetillas de cuarzo bandeadas y resulta en altas razones *Au/Cu*.

Las vetillas de cuarzo A y bandeadas cortan y son cortadas por intrusiones, indicando múltiples ciclos de intrusión → alteración potásica → vetillas A → vetillas bandeadas durante la formación de la mineralización estilo pórfido.

8. GEOLOGÍA DEL CLUSTER DE PÓRFIDOS DE *Au – Cu* LUCIANO

8.1 LITOLOGÍA

En los pórfidos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula se reconocen unidades litológicas que comprenden rocas volcanoclásticas, intrusivas porfídicas y brechas intrusivas, magmáticas-hidrotermales y freatomagmáticas (Figura 7, 8, 9 y 10).

Las distintas unidades litológicas son descritas con respecto a los eventos magmáticos-hidrotermales acaecidos en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, agrupadas como unidades preminerales, interminerales y tardías, según su posición en la evolución de los sistemas.

En general a lo largo del *cluster* no hay un gran desarrollo de fallas. Las zonas de fallas presentes son más bien menores y se relacionan a zonas de mayor permeabilidad donde ocurren zonas de oxidación con presencia de hidróxidos, óxidos de hierro, asociación de alteración argílica y trazas de óxidos de cobre.

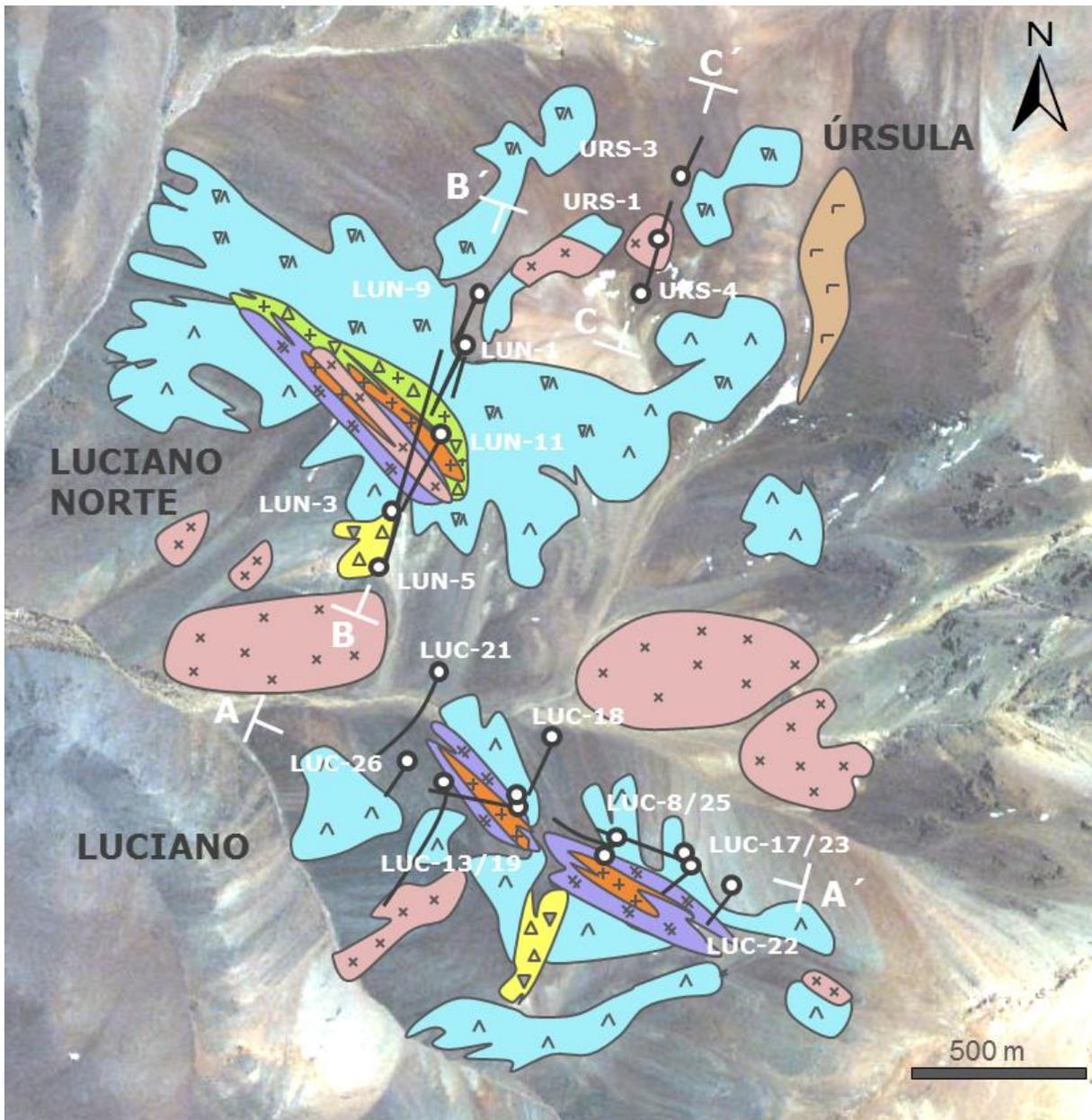
La descripción litológica que se realiza a continuación se basa en observaciones macroscópicas y microscópicas de testigos de sondajes pertenecientes a las secciones representativas AA', BB' y CC' del área de estudio.

8.1.1 Unidades Preminerales

La secuencia estratigráfica premineral está representada por una unidad de Tobas daci-andesíticas ubicadas en la base, seguidos de una unidad de Conglomerados. Ambas unidades se disponen de manera sub-horizontal en el área de estudio. Sobre este paquete de rocas, se dispone el Complejo Andesítico Juanes y el Complejo Andesítico Autobrechizado los cuales hospedan la mayor parte de las Unidades Porfídicas y Brechas de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula (Figura 8, 9 y 10).

Tobas daci-andesíticas

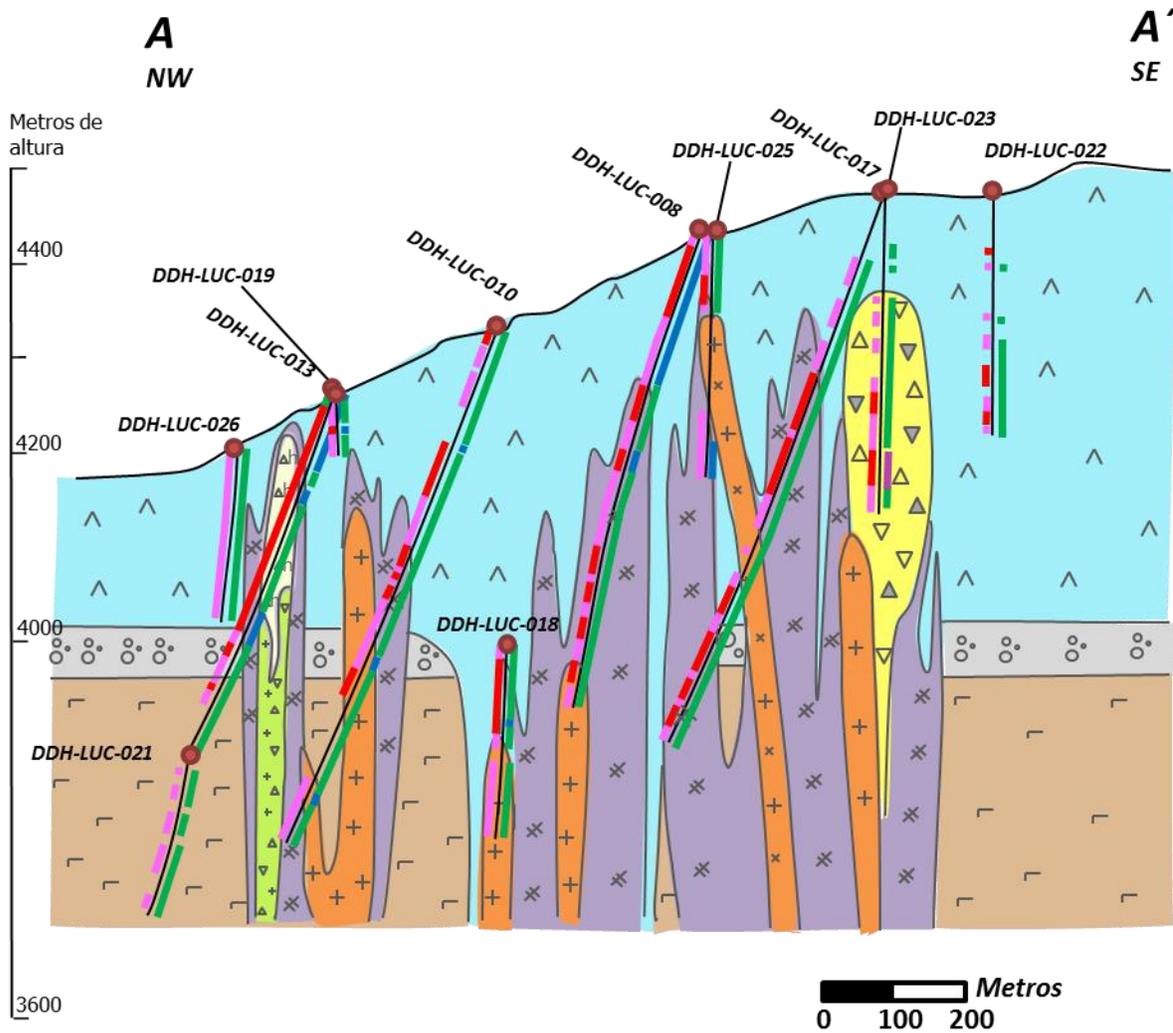
La unidad se identifica en el sector de Luciano y Luciano Norte hospedando a las Unidades Porfídicas mineralizadoras (Figura 8 y 9). Macroscópicamente se reconoce como una roca de textura volcanoclástica de color gris oscuro a claro y rosado a pardo cuando ha sido afectada por alteración potásica (feldespato potásico, biotita y magnetita; Figura 11 A). En algunos sectores se observan indicios de un protolito volcanoclástico y estructuras tales como: laminación local, fiames, gradaciones, vesículas rellenas (con clorita, calcita y sílice), fragmentos de cristales y ojos de cuarzo. Sin embargo, en otros sectores la textura es obliterada por efectos de alteración hidrotermal perversiva



Litología y simbología

| | | | | |
|-----------------------|-----------|---------------------------|---------|------------------------------------|
| Tardío mineral | [x x] | Pófido Diorítico III | [▽ ▽] | Complejo Andesítico Autobrechizado |
| | | | | |
| Intermineral | [▽ + ▽] | Brecha Intrusiva alterada | [▭ ▭] | Tobas daci-andesíticas |
| | [▽ + ▽] | Brecha Intrusiva | ○ | Sondajes |
| | [+ +] | Pófido Diorítico II | | |
| | [* *] | Pófido Diorítico I | | |

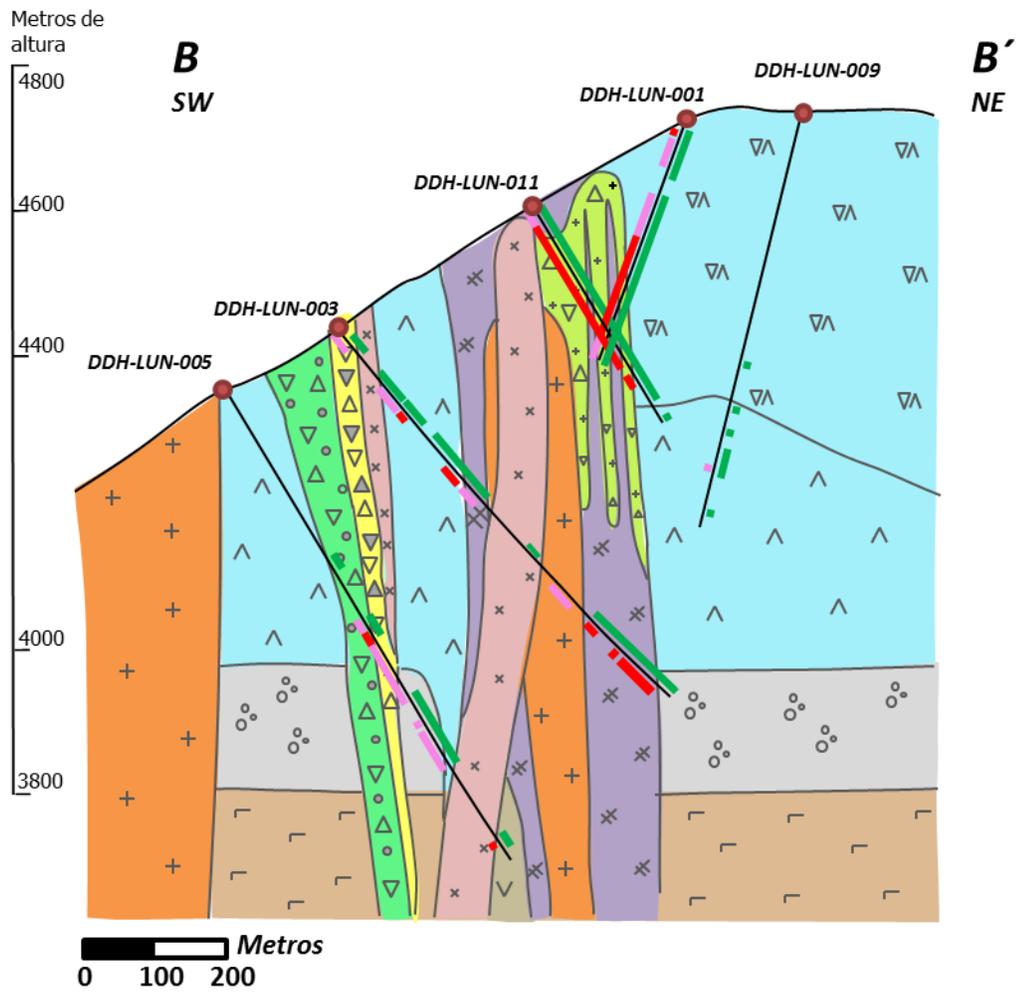
Figura 7. Mapa litológico simplificado del área del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano.



Litología y simbología

| | | |
|--------------|--|------------------------------|
| Intermineral | | Brecha Magmática-Hidrotermal |
| | | Brecha Intrusiva alterada |
| | | Brecha Intrusiva |
| | | Pórfido Diorítico II |
| | | Pórfido Diorítico I |
| Premineral | | Complejo Andesítico Juanes |
| | | Conglomerados |
| | | Tobas daci-andesíticas |
| | | Sondajes Sector Luciano |
| | | $\geq 0.2-0.5$ } ppm Au |
| | | ≥ 0.5 } |
| | | ≥ 0.05 } % Cu |
| | | ≥ 0.2 } |

Figura 8. Sección Litológica simplificada AA' del pórfido Au – Cu Luciano. Para ubicación ver Figura 7.



Litología y simbología

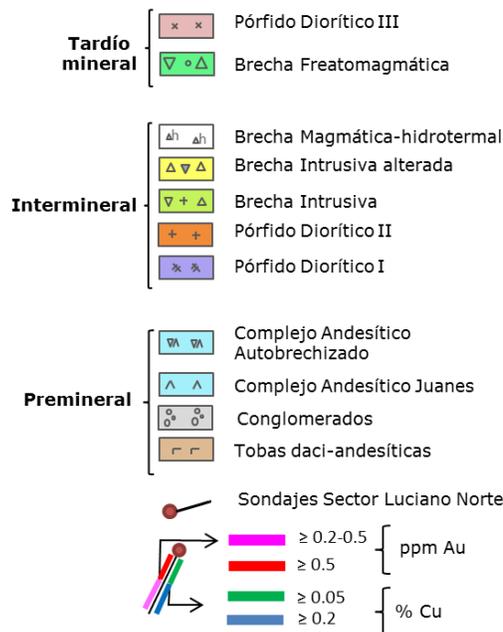
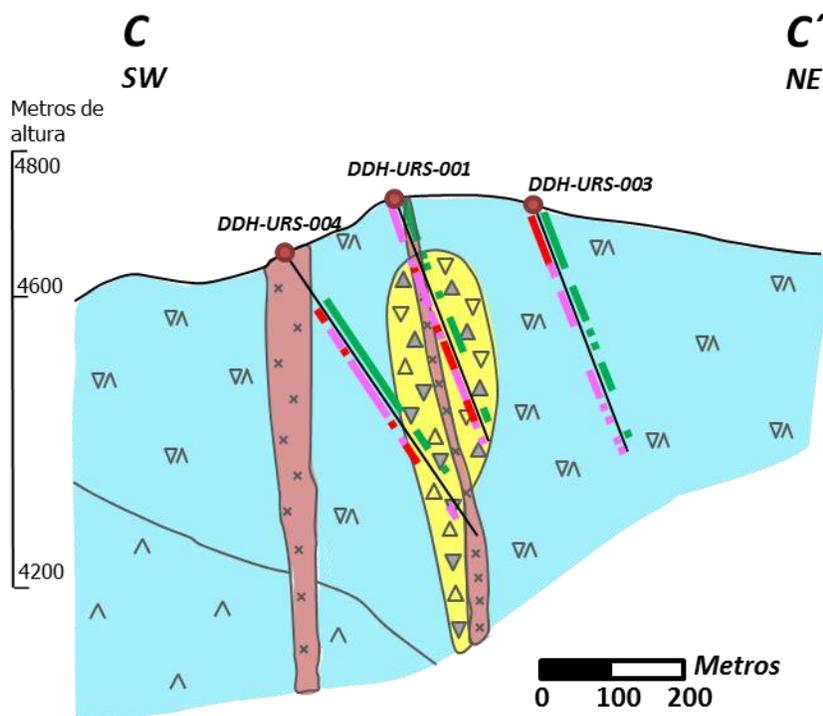


Figura 9. Sección litológica simplificada BB' del pórfido Au – Cu Luciano Norte. Para ubicación ver Figura 7.



Litología y simbología

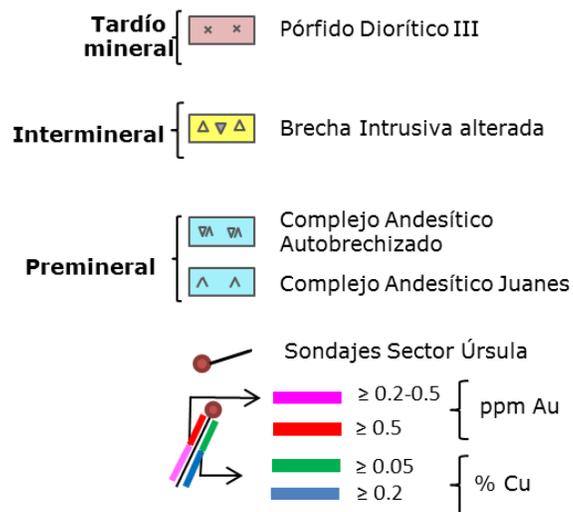


Figura 10. Sección litológica CC' simplificada del pórfido Au – Cu Úrsula. Para ubicación ver Figura 7.

La unidad de Tobas daci-andesíticas es cortada por rocas de los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado, Unidades Porfídicas, y por vetillas M, vetillas de cuarzo A y B, vetillas D y vetillas de clorita-epidota-magnetita con un volumen de vetillas menor al 10 – 15 % (Tabla 1; Definición y caracterización de vetillas en Capítulo 8.2, Alteración Hidrotermal)

La unidad se compone de intercalaciones de tobas dacíticas y andesíticas (Tabla 1). Su principal característica es la matriz de composición volcanoclástica con cuarzo granular fino producto de desvitrificación, además de la presencia de estructuras (principalmente vesículas rellenas) y la composición volcánica de los clastos.

Esta unidad se correlaciona a las tobas de la secuencia basal (Mesozoico-Cenozoico inferior) definidas en la Marco Geológico Distrital.

Conglomerados

Esta unidad ha sido reconocida en el Distrito Minero Casale tanto en testigos de sondajes ($\geq 350\text{ m}$ de profundidad) como en afloramientos. En el área de estudio, se reconoce en el sector de Luciano y Luciano Norte (Figura 8 y 9). En el sector de Úrsula los sondajes perforados ($\sim 350\text{ m}$) no interceptan la unidad de Conglomerados (Figura 10), por lo que se desconoce si es que esta unidad continúa al mismo nivel estratigráfico que en el sector de Luciano y Luciano Norte.

La unidad de Conglomerados es cortada por el Complejo Andesítico Juanes y por todas las Unidades Porfídicas. La presencia de clastos de tobas en los Conglomerados y su posición por sobre la unidad de Tobas daci-andesíticas en la columna estratigráfica, determinan su posterior depositación.

Los Conglomerados se definen como una unidad volcanoclástica, de textura fragmental, color gris oscuro a pardo rojizo, polimítica, compuestos de clastos volcánicos, intrusivos y tobáceos (Figura 11 B; Tabla 1), pudiendo distinguirse dos dominios principales: uno con clastos de composición félsica en la parte inferior de la secuencia y clastos de composición intermedia a básica en la porción superior. Los conglomerados del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano suelen presentar textura clasto soportado (aunque hay sectores matriz soportado) y mala selección. La matriz ($< 0.1\text{ mm}$) se compone de polvo de roca y presenta efectos de recristalización producto de alteración hidrotermal (Figura 11 C).

La unidad es cortada por escasas vetillas de cuarzo tempranas ($< 5 – 10\%$ volumen de vetillas) las que aumentan en unos pocos *ppm* ($< 0.5\text{ ppm}$ en promedio) los contenidos de oro.

Esta unidad se correlaciona a los paraconglomerados del Oligoceno Tardío al Mioceno Medio descritos en el Marco Geológico Distrital.

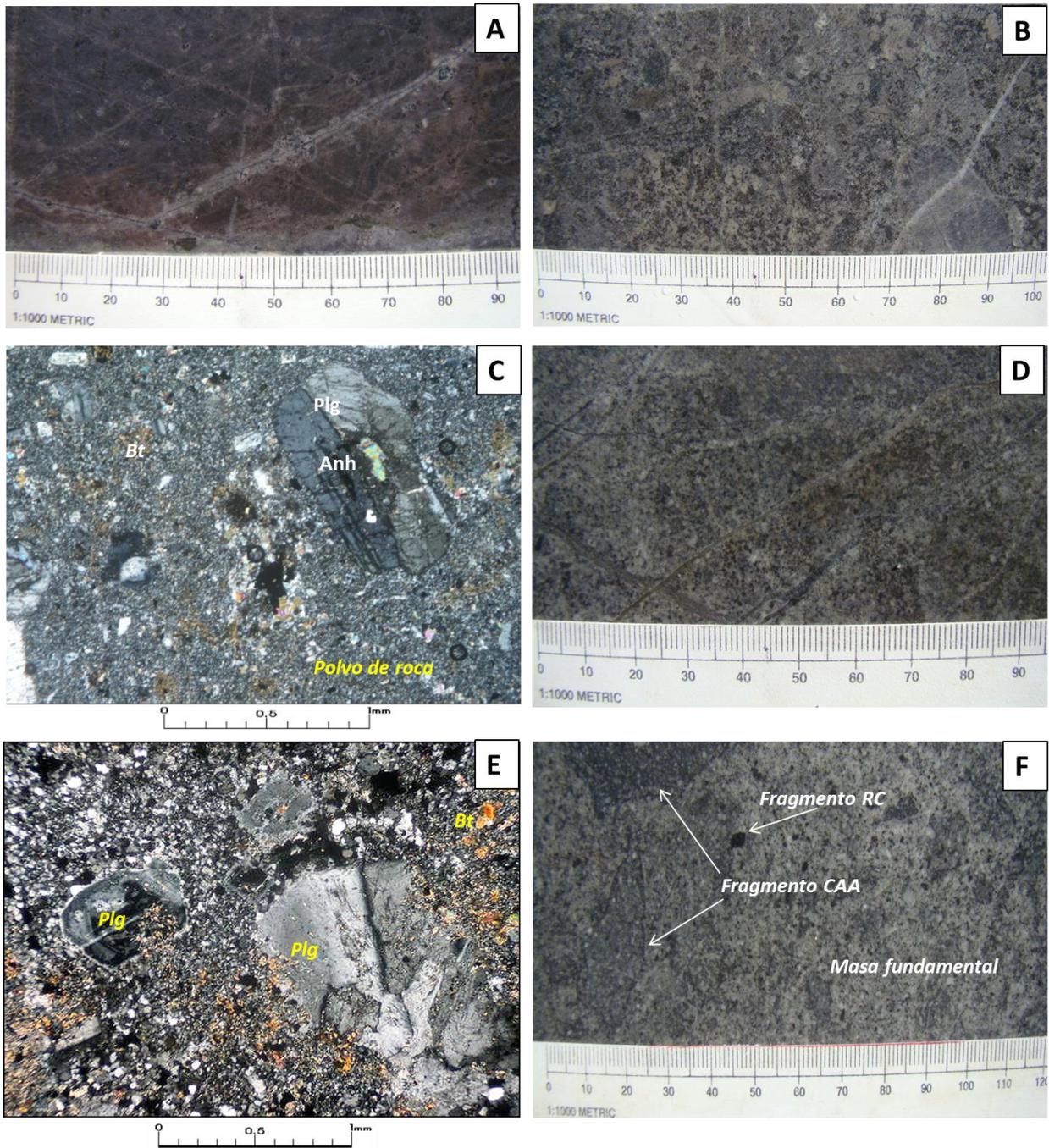


Figura 11. Unidades Preminerales. A. Fotografía de toba daci-andesítica con efectos de alteración potásica y silicificación; sondaje *DDH – LUC – 017,691 m*. **B. Fotografía de conglomerado** con efectos de alteración potásica (magnetita, biotita y feldespato potásico); sondaje *DDH – LUC – 013,418.08 m*. **C. Microfotografía de matriz de polvo de roca de conglomerado** formada por cristales de plagioclasa (Plg), escasos opacos, anhidrita (Anh) y biotita hidrotermal (Bt) intersticial; aumento 50X, nicoles cruzados; sondaje *DDH – LUC – 013,409.8 m*. **D. Fotografía de roca del Complejo Andesítico Juanes** afectada por alteración potásica y asociación clorita-illita; sondaje *DDH – LUN – 025,20.29 m*. En la fotografía se aprecia la textura fina característica a escala macroscópica. **E. Microfotografía de roca del Complejo Andesítico Juanes** con textura porfídica (fenocristales de plagioclasa en masa fundamental afanítica); aumento 50X, nicoles cruzados; Sondaje *DDH – LUC – 008,202.7 m*. **F. Fotografía de roca del Complejo Andesítico Autobrechizado**. En la fotografía se observan fragmentos y matriz cogenéticos, además de fragmentos de roca de caja más antigua (clasto RC); sondaje *DDH – LUN – 009,402.64 m*.

Complejo Andesítico Juanes y Complejo Andesítico Autobrechizado

Los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado se definen como parte del basamento sub-volcánico del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

Los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado hospedan gran parte las Unidades Porfídicas y brechas mineralizadas de los depósitos Luciano, Luciano Norte y Úrsula (Figura 8, 9 y 10). Estas unidades son precursoras al emplazamiento de las Unidades Porfídicas y se definen como 'complejos' debido a las variaciones texturales y las distintas poblaciones de tamaño de fenocristales de las rocas pertenecientes a estas unidades. Es por esto que su génesis se relacionaría a pulsos magmáticos multifásicos emplazados en forma de lacolito a poca profundidad ($< 1\text{ km}$) en un periodo de tiempo acotado ($< 1\text{ Ma}$).

Estos Complejos intruyen a las rocas de las unidades de Tobas daci-andesíticas y Conglomeradas, y son intruidas por todas las Unidades Porfídicas y Brechas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano

Complejo Andesítico Juanes

El Complejo Andesítico Juanes hospeda gran parte de las unidades mineralizadas del sector de Luciano, y en menor medida Luciano Norte y Úrsula (Figura 8, 9 y 10).

Macroscópicamente, a diferencia del resto de las unidades intrusivas (Unidades Porfídicas) el Complejo Andesítico Juanes no presenta textura porfídica, si no una textura fina en una masa fundamental afanítica (Figura 11 D).

A escala microscópica, al igual que el resto de las unidades intrusivas (Unidades Porfídicas), las rocas del Complejo Andesítico Juanes presentan textura porfídica (Tabla 1; Figura 11 E) pero se caracterizan por presentar una matriz afanítica (y más fina que el resto de las unidades intrusivas), una escasa proporción ($< 3 - 5\%$) de cristales de cuarzo en la masa fundamental y un predominio de biotita por sobre hornblenda como fase máfica primaria hidratada.

Otras características del Complejo Andesítico Juanes es la presencia de fragmentos líticos de roca de caja más antigua (de textura afanítica, redondeados a subredondeados de color pardo a negro, con reemplazo penetrativo de biotita-magnetita) y textura de brechización de forma local.

Las rocas del Complejo Andesítico Juanes presentan zonas mineralizadas y zonas libres de mineralización sulfurada y de oro. Las zonas mineralizadas ($\geq 0.3\text{ ppm Au}$) se correlacionan estrechamente con la alteración hidrotermal ($\geq 50 - 70\%$ reemplazo por asociaciones de alteración hidrotermal, predominantemente potásica); zonas con una densidad de vetillas $> 5 - 10\text{ v/m}$ ya sea de vetillas de cuarzo (A, B y transicionales bandeadas), vetillas M y *stockworks* de vetillas de cuarzo A y B; además de la proximidad de las rocas del Complejo Andesítico Juanes con unidades mineralizadas ($> 0.5\text{ ppm Au}$, principalmente Unidades Porfídicas).

Complejo Andesítico Autobrechizado

El Complejo Andesítico Autobrechizado hospeda gran parte de la mineralización de Luciano Norte y Úrsula (Figura 9 y 10). En el sector de Luciano no ha sido identificada.

Las rocas del Complejo Andesítico Autobrechizado se definen como una unidad de brechas intrusivas, la cuales se han denominado con el término 'autobrechizado' por el carácter cogenético de los fragmentos y la masa fundamental de estas. Así es que pulsos intrusivos que dieron origen a las rocas del Complejo Andesítico Juanes, habrían brechizado a rocas de esta misma unidad previamente emplazadas, generando una brecha intrusiva monomítica compuesta de fragmentos y masa fundamental de la misma composición (Figura 11 F). Por esta razón es que las brechas intrusivas del Complejo Andesítico Autobrechizado podrían considerarse un evento particular y en la etapa final del emplazamiento del Complejo Andesítico Juanes.

Las brechas intrusivas del Complejo Andesítico Autobrechizado se caracterizan por presentar mala selección, fragmentos monomíticos y angulosos, además de presentar predominantemente horizontes matriz soportados. Los contactos entre los fragmentos y la masa fundamental no son nítidos (o marcados) debido a que no se habría generado un contraste de temperatura importante (entre el magma que generó la brechización y la roca, que dio origen a los fragmentos, caliente y no totalmente cristalizada) al momento de la brechización, ocurriendo una apariencia 'fluidal' de los fragmentos clastos.

Al igual que las rocas del Complejo Andesítico Juanes se observan variaciones texturales y en el tamaño de los fenocristales en los fragmentos y en la masa fundamental de esta unidad. De manera local se identifican fragmentos o xenolitos de roca de caja más antigua correspondientes a Unidades Preminerales (Figura 11 F).

La mineralización se concentra en zonas cercanas y en los contactos a rocas de las unidades Pórfido Diorítico I y II y cuerpos de brechas, presentando un aumento de la densidad y volumen de vetillas, además de las leyes de oro y cobre (hasta 10 – 15 *v/m*, 30 – 50 % volumen de vetillas y > 0.5 *ppm Au* y 0.1 % *Cu*).

Las rocas del Complejo Andesítico Autobrechizado se encuentran principalmente afectadas por alteración propilítica en Luciano Norte y Úrsula, sin embargo en Úrsula se aprecian zonas con sobreimposición de alteración argílica y silicificación en la parte alta del sistema.

Tabla 1. Descripción detallada de Unidades Preminerales del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano.

| Unidad litológica | Líticos y cristales/ Clastos /Fenocristales ⁴ | Matriz/Masa fundamental (% promedio, tamaño promedio) ⁴ | Asociaciones de alteración hidrotermal predominante | Suceptibilidad Magnética promedio (unidades SI X 10 ⁻³) | Contenidos de Au (ppm), Cu (%), Mo (ppm), Pb (ppm), Zn (ppm) | Edad de cristalización | Estilo de mineralización ⁸ |
|------------------------------------|---|---|--|---|--|--|--|
| Tobas daci-andesíticas | Fragmentos líticos (60-70%) de composición dacítica y andesítica (angulosos, >5 mm) + cristales de plagioclasa + minerales opacos. Los fragmentos de composición andesítica presentan una masa fundamental afanítica compuesta principalmente de microlitos de plagioclasa y por fenocristales de plagioclasa. Los de composición dacítica presentan una masa fundamental con cuarzo y feldespato potásico hidrotermal, fenocristales de plagioclasa y cuarzo parcialmente reabsorbido. | Matriz volcanoclástica (30-40 %) de tamaño ceniza (<2mm), compuesta de cuarzo granular muy fino (desvitrificación) + cristales de feldespato potásico ± biotita ± clorita hidrotermal de forma intersticial. | Potásica en profundidad (feldespato potásico-magnetita y biotita-magnetita), propilítica y silicificación. | Variable (0-700 SI x 10 ⁻³), en promedio 60 SI x 10 ⁻³ 7. | 0.15 ppm Au, 0.08% Cu, 17.64 ppm Mo, 40.09 ppm Pb y 157.84 ppm Zn | >15.9 Ma ⁶ | Vetillas de cuarzo A y B, D, M; densidad de vetillas ≤5-10 v/m; volumen de vetillas <5%. |
| Conglomerados | Clastos polimícticos volcánicos andesíticos, dacíticos y de textura afanítica (color pardo o negro), tobáceos e igneos dioríticos a dacíticos. Los clastos andesíticos y dacíticos presentan textura porfídica, fenocristales de plagioclasa parcialmente albitizados y desarrollo local de biotita hidrotermal. Los clastos son de unos pocos centímetros hasta unos 50 cm, subredondeados a redondeados. | Matriz de tamaño ceniza (< 2mm), compuesta de polvo de roca + cristales subhedrales de plagioclasa + opacos + cristales de anhidrita intersticiales. El polvo de roca consta de fragmentos angulosos de plagioclasa + cuarzo + compuestos hidrotermales de asociación de alteración potásica (biotita y anhidrita). | Potásica (biotita-feldespato potásico-magnetita), propilítica y silicificación.. | Variable (0-500 SI X 10 ⁻³), 170 SI X 10 ⁻³ en promedio ⁷ | 0.25 ppm Au, 0.08 % Cu, 10.39 ppm Mo, 48.4 ppm Pb y 199.4 ppm Zn | >15.9 Ma ⁶ | Vetillas de cuarzo A y B, D, M y clorita-epidota-magnetita; densidad de vetillas ≤ 3-5 v/m; volumen de vetillas ≤ 5%; mineralización de pirita (≤ 0.5%), trazas de bornita y calcopirita en vetillas y diseminada. |
| Complejo Andesítico Juanes | Plagioclasa (35-40 % subhedrales, ≤ 5 mm) + biotita (≤ 10 %, ≤ 2mm, solo en algunos casos se observa biotita fresca subhedral; habitualmente reemplazados por minerales de alteración ⁷) ± hornblenda (≤ 2 %). | 55-60%; afanítica (<0.05 mm); compuesta de plagioclasa (subhedral a anhedral) + magnetita-ilmenita (2-3 %) + cuarzo (< 3-5 %) ± feldespato potásico hidrotermal en dominio de asociación de alteración potásica ¹ ± circón, apatito (trazas). | Variable: potásica ¹ 2, calcosódica ¹ 2; propilítica ² 3 ± argílica ² 3. | Variable, con altos valores (≥ 100) en zonas con fuerte alteración potásica ¹ 2 | Au y Cu variable ⁷ , el cual incrementa en el zona de contacto con unidades mineralizadas; 12.07 ppm Mo, 89.81 ppm Pb y 538.12 ppm Zn | 15.34 ± 0.52 Ma, 15.7 ± 0.27 Ma y 15.88 ± 0.33 Ma ⁵ | Variable, diseminada y en vetillas ⁷ . |
| Complejo Andesítico Autobrechizado | Fragmentos monomícticos, subredondeados a subangulosos, de algunos milímetros hasta unos metros, de composición diorítica (Complejo Andesítico Juanes: plagioclasa > 45% subhedral con desarrollo de bordes de crecimiento, 0.1-2 mm + biotita, < 10 % + hornblenda, < 1%, > 0.2-1 mm, cristales tabulares y elongados. Accesorios <1%, apatito y circón. | Masa fundamental y fragmentos cogenéticos. Compuesta de fenocristales de plagioclasa (> 30 %, 0.1-2 mm) + biotita (> 10 %) + hornblenda (< 1 mm, < 5 %). Accesorio apatiro y circón <1%. | Propilítica ² 3, argílica ² 3 y silicificación ³ . | Variable, con valores (≥ 100) en zonas con alteración potásica pervasiva ¹ | Au y Cu variable ⁷ , el cual incrementa en el zona de contacto con unidades mineralizadas; 14.22 ppm Mo, 40.93 ppm Pb y 438.75 ppm Zn | ≤ 15.34 ± 0.52 Ma, 15.7 ± 0.27 Ma y 15.88 ± 0.33 Ma ⁵ | Variable, diseminada y en vetillas ⁷ . |

¹ En el sector de Luciano

² En el sector de Luciano Norte

³ En el sector de Úrsula

⁴ Los porcentajes son promedios de estimaciones visuales macroscópicas y microscópicas. Para el caso de las tobas corresponde a matriz, líticos y cristales; para los Conglomerados, matriz y clastos; para el Complejo Andesítico Autobrechizado, masa fundamental y fragmentos; y para el Complejo Andesítico Juanes, masa fundamental y fenocristales.

⁵ Edad promedio de cristalización, utilizando el método geocronológico U-Pb (*Informe interno Barrick*)

⁶ Edad relativa de cristalización, asignada de acuerdo a las relaciones de contacto.

⁷ Dependiendo del dominio de alteración hidrotermal y profundidad (Ver Tabla 6, Alteración Hidrotermal)

⁸ La mineralización diseminada se asocia a la alteración hidrotermal (Ver Tabla 6 y 7, Alteración Hidrotermal y Mineralización)

8.1.2 Unidades Porfídicas

Con respecto a las unidades intrusivas porfídicas, la unidad más temprana reconocida se encuentra en una posición intermineral temprano dentro de la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Unidades Porfídicas ubicadas en una posición temprano mineral aún no han sido encontradas. Las evidencias principales corresponden a la presencia de xenolitos de roca huésped con vetillas truncadas de cuarzo tempranas en la unidad intermineral temprano y un predominio de vetillas de cuarzo B por sobre las vetillas de cuarzo A, las cuales son más tempranas (Ver descripción de vetillas A y B en Capítulo 8.2, Alteración Hidrotermal).

Las Unidades Porfídicas ubicadas en una posición intermineral temprano, intermineral y tardío mineral en la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, se denominan Pórfido Diorítico I, II y III, respectivamente. Todas estas unidades presentan una composición intermedia (diorítica), además de similares poblaciones, contenidos de fenocristales (plagioclasa + hornblenda \pm biotita) y componentes de la masa fundamental (principalmente plagioclasa \pm cuarzo); (Tabla 2 y 3). A causa de estas similitudes, la clasificación de estas unidades es aún más difícil en áreas afectadas por alteración hidrotermal. Por lo que las unidades Pórfido Diorítico I, II y III se distinguen por las vetillas (estilo, densidad y volumen) que cortan a cada una de estas unidades, contenidos de oro y cobre, valores de susceptibilidad magnética, tipo e intensidad de alteración hidrotermal, edades de cristalización (Tabla 2 y 3) y sus relaciones de contacto.

Con respecto a las relaciones de contacto, las Unidades Porfídicas intruyen a rocas de los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado, unidades de Tobas daciandesíticas y Conglomerados (Figura 8, 9 y 10) con los que se suelen presentar contactos más nítidos. Sin embargo, entre Unidades Porfídicas de distinta temporalidad (por ejemplo, Pórfido Diorítico I y II) los contactos por intrusión no son claros por lo que se utilizan criterios de mapeo macroscópico para determinarlos, tales como: xenolitos con vetillas truncadas, bordes de enfriamiento desarrollados hacia la fase más tardía (más caliente), brechización local, cambio en la densidad de vetillas y/o en el tipo de vetillas, cambios abruptos de las asociaciones de alteración y/o en las cantidades de oro y cobre, además de cambios en la cantidad y/o tamaño de los fenocristales y cristales de la masa fundamental.

La descripción y características detalladas de las Unidades Porfídicas, Pórfido Diorítico I, II y III, se presentan en la Tabla 2 y 3.

Pórfido Diorítico I

Las rocas pertenecientes a la unidad Pórfido Diorítico I se reconocen en el sector de Luciano y Luciano Norte, en los sondeos *DDH – LUC – 018, 017, 025, 010* y *DDH – LUN – 001 y 003* (Figura 8 y 9).

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I intruyen a las rocas del Complejo Andesítico Juanes y son intruidas por rocas de las unidades Pórfido Diorítico II y III, además de ser cortadas por brechas intrusivas e intrusivas alteradas (Figura 8 y 9). En el sector de Luciano ocurren fragmentos de roca encajante (fragmentos andesíticos de la roca de caja, del Complejo Andesítico Juanes y de la unidad de Tobas daci-andesíticas) en las zonas de contacto con vetillas truncadas de cuarzo A. La unidad posee vetillas de cuarzo A y vetillas de cuarzo B ($\geq 50\%$) y en general dominan las B por sobre las A. Estas desarrollan vetilleos polidireccionales que coinciden con contenidos de oro $\geq 0.46 \text{ ppm Au}$ (Tabla 2 y 3). Estas características evidencian su carácter intermineral temprano.

Macroscópicamente las rocas de esta unidad presentan un color gris claro a rosado y textura porfídica. Se componen de fenocristales de plagioclasas (40 – 50 %), hornblenda y biotita (2 – 5 %). La matriz corresponde a un agregado granular de plagioclasa y cuarzo (50 – 60 %), con intercrecimientos de feldespato potásico hidrotermal y otros minerales de asociación de alteración potásica (cantidad variable; $< 15 - 20\%$); (Figura 12 B; Tabla 2 y 3). Las rocas de esta unidad se encuentran afectadas por alteración potásica predominante (Figura 12 A).

Las características principales de la unidad Pórfido Diorítico I son: alteración potásica pervasiva; alta densidad y volumen de vetillas de cuarzo A y B ($\geq 50\%$ volumen y zonas con $10 - 20 \text{ v/m}$; susceptibilidad magnética $\geq 120 \text{ SI} \times 10^{-3}$; evidencias de recristalización de la masa fundamental, ocurrencia de cuarzo recristalizado (bordes poligonales observados microscópicamente), además de reemplazo parcial a total de los minerales máficos primarios por minerales de alteración, generando texturas de reemplazo y bordes de descomposición (Figura 12 C). Estas últimas texturas microscópicas evidencian una reacción continua entre el fluido y los cristales, además de la zonación de plagioclasas observadas en las rocas de esta unidad y en el resto de las Unidades Porfídicas.

La textura de bordes de descomposición se define como un reemplazo parcial de cristales máficos hidratados, como respuesta al enfriamiento y ajuste a las condiciones atmosféricas posteriores al emplazamiento intrusivo. De esta forma, anfíbolos y biotitas primarias al desestabilizarse desarrollan hacia sus bordes finos minerales anhidros como óxidos de hierro y titanio (Figura 12 C). El reemplazo puede ser total generando pseudomorfos de los fenocristales máficos.

Pórfido Diorítico II

Esta unidad serecone en Luciano y Luciano Norte en los sondajes *DDH-LUC* – 010, 018, 008, 025, 023 y *DDH – LUN* – 003, 011 y 001 (Figura 8 y 9).

Las rocas de la Unidad Pórfido Diorítico II intruyen a rocas de la unidad Pórfido Diorítico I, Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado y brechas intrusivas e intrusivas alteradas (en Luciano y Luciano Norte). La unidad es intruida por rocas de la unidad Pórfido Diorítico III, lo que evidencia su carácter intermineral. Además de que en las zonas de contacto ocurren vetillas de cuarzo truncadas y fragmentos

Tabla 2. Descripción petrográfica de las Unidades Porfídicas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano.

| Unidad Litológica | Posición temporal en la evolución magmática-hidrotermal | Fenocristales ⁴ | Masa fundamental (% y tamaño promedio) ⁴ | Clasificación petrográfica |
|-----------------------|---|--|--|--|
| Pórfido Diorítico I | Intermineral temprano | Plagioclasa: subhedral a anhedral, 40-50 %, 0.2 -2.4 mm en promedio (textura seriada, con cristales de hasta 10 mm) + biotita y hornblenda: anhedrales, 2-5 %, ≤ 1.2mm en promedio (con cristales de hasta 6 mm), fuerte reemplazado a biotita secundaria y magnetita secundaria, texturas de bordes de descomposición + cuarzo (< 5 %, <1 mm). | 50-60 %, 0.08-0.1 mm; cuarzo recristalizado (10 %) + plagioclasa (17-30 %)+ magnetita (4-5 %) ± feldespatos potásico (< 5 %) ± biotita hidrotermal (cantidad variable) ± circon, apatito (trazas). | Pórfido diorítico/cuarzo diorítico medio-grosso ⁶ de hornblenda y biotita. |
| Pórfido Diorítico II | Intermineral | Plagioclasa: subhedral, 40-45 %, 0.3-2.8 mm en promedio (textura seriada, con cristales hasta 8 mm); máficos, ≤ 5mm, subhedrales (4-10 %), biotita (1.6-2.4 mm) y hornblenda (0.6-1.2 mm), de aspecto fresco y en algunos casos con textura de reemplazo total a parcial de biotita secundaria, magnetita, clorita y actinolita ⁵ . | 55-60 %, 0.05-0.06 mm; cuarzo (5-10 %) + plagioclasa (20-26 %) + magnetita (2-4 %) ± feldespatos potásico, biotita, clorita, piroxenos (contenido variable ⁵) ± circon, apatito (trazas) | Pórfido diorítico/cuarzo diorítico medio-grosso ⁶ de hornblenda y biotita. |
| Pórfido Diorítico III | Tardío mineral | Plagioclasa: euhedral (tabulares), 40-45 %, 0.2-2.8 mm en promedio(textura seriada, hasta 4 mm); hornblenda y biotita de aspecto fresco, subhedral a euhedral, ≤1 mm en promedio (hasta 5 mm), débilmente alteradas a biotita hidrotermal y/o clorita, pseudomorfos euhedrales de hornblenda totalmente reemplazados por óxidos de Fe-Ti; escasos ojos de cuarzo (<2 %). | 55-60 %, 0.02-0.03 mm; plagioclasa (contenido variable, ≤ 20 %) + cuarzo (contenido variable, 5-20 %) + magnetita (2-5 %) ± clorita, piroxenos, feldespatos potásico y biotita producto de alteración en proporciones variables ⁵ . | Porfidos cuarzodioríticos y andesitas porfídicas medio ⁶ de biotita y hornblenda. |

¹ En el sector de Luciano

² En el sector de Luciano Norte

³ En el sector de Úrsula

⁴ Los porcentajes son promedios de estimaciones visuales macroscópicas y microscópicas (Anexo E: Petrografía y Calcografía)

⁵ Dependiendo del dominio de alteración hidrotermal , profundidad e intensidad de alteración (Ver capítulo 8.2, Alteración Hidrotermal)

⁶ Tamaño promedio de fenocristales: fino (<2mm), medio (2-5 mm) y grueso (5-10 mm)

Tabla 3. Caracterización de las Unidades Porfídicas del cluster de porfidos Au – Cu Luciano.

| Unidad Litológica | Posición temporal en la evolución magmática hidrotermal | Asociaciones de alteración hidrotermal predominante (subordinada) | Suceptibilidad Magnética promedio (unidades SI X 10 ⁻³); (% magnetita estimado ⁴) | Contenidos de Au y Cu promedio (ppm y %) | Contenidos de Mo, Pb y Zn (ppm) promedio | Edad promedio de cristalización | Estilo de mineralización ⁶ | % promedio de Au cianurable ⁷ |
|-----------------------|---|---|--|--|---|---------------------------------|---|--|
| Pórfido Diorítico I | Intermineral temprano | Potásica ^{1 2} , calcosódica ¹ , (clorítica ² , argílica ²). | > 120, cuando la alteración no se encuentra sobreimpuesta por asociación de alteración argílica; (≥ 5 % Mt). | ≥ 0.46 ppm Au y ≥ 0.15 % Cu | 14.7 ppm Mo, 37.37 ppm Pb y 306.66 ppm Zn | ≤ 15 Ma ⁵ | Diseminada y en vetillas; volumen vetillas ≥50% ; vetilleos polidireccionales A, B (B>A), M y escasas transicionales bandeadas (<5v/m de manera local). | 85,76 |
| Pórfido Diorítico II | Intermineral | Clorítica ^{1 2} , (potásica, calcosódica y argílica) ^{1 2} | 100; (3 % Mt) | 0.25 ppm Au y 0.1 % Cu | 35.12 ppm Mo, 34.03 ppm Pb y 241 ppm Zn | 14.98 ± 0.22 Ma ⁴ | Diseminada y en vetillas; volumen de vetillas ≥ 20 %; vetillas de cuarzo transicionales bandeadas y B (≥ 5-10 v/m), M (< 5 v/m) y escasas A. | 89,041 |
| Pórfido Diorítico III | Tardío mineral | (Clorítica- propilítica ^{1 2 3} , argílica ^{2 3} , silicificación ³ , potásica en profundidad) | < 100 ; (< 3 % Mt) | < 0.15 ppm Au y 0.1 % Cu | 12.35 ppm Mo, 32.3 ppm Pb y 483 ppm Zn | < 15 Ma ⁵ | Diseminada y en vetillas; volumen vetillas < 5 %; vetillas D, transicionales bandeadas y B en profundidad. | 82,12 |

¹ En el sector de Luciano

²En el sector de Luciano Norte

³ En el sector de Úrsula

Mt= susceptibilidad magnética*0.035 (Información Interna Geofísica Barrick)

⁴ Edad promedio de cristalización, utilizando el método geocronológico U-Pb (Informe interno Barrick)

⁵ Edad relativa de cristalización, de acuerdo a las relaciones de contacto observadas.

⁶ La mineralización diseminada se asocia a la alteración hidrotermal (Ver Tabla Alteración Hidrotermal y Mineralización)

⁷% Au cianurable, obtenido de Test de cianuración G907 y Bottle Role Test (Informe interno Barrick)

de roca encajante (unidad Complejo Andesítico Juanes y Tobas daci-andesíticas) con vetillas de cuarzo truncadas.

Las rocas pertenecientes a la unidad Pórfido Diorítico II se asemejan macroscópicamente y microscópicamente a las de la unidad Pórfido Diorítico I y III (Figura 12 D; Tabla 2 y 3), sin embargo, su particularidad es la escasa presencia de feldespatos potásicos hidrotermales (< 5%) en la masa fundamental (aunque en el sector de Luciano se presentan efectos de metasomatismo potásico, los cuales se acentúan en profundidad; 30 – 60 % reemplazo por minerales de asociación de alteración potásica) y el desarrollo de texturas de flujo (traquítica) en los fenocristales.

En las rocas de la unidad Pórfido Diorítico II predomina la asociación de alteración propilítica, con un porcentaje de reemplazo > 50 % por minerales de esta asociación de alteración (moderada a fuerte). En el sector de Luciano Norte la asociación propilítica rica en clorita domina en la parte más profunda, mientras que la asociación clorita-illita en la parte más somera. Efectos subordinados de alteración hidrotermal sodico-férrica y argílica de intensidad débil a moderada ($\leq 40\%$ de reemplazo por asociación de alteración) han sido identificados en rocas de esta unidad. Por otra parte, existe un predominio de vetillas de cuarzo transicionales bandeadas ($5 - 10 v/m$) por sobre las vetillas de cuarzo A y B, donde las vetillas de cuarzo A son más escasas que las B. En comparación a la unidad Pórfido Diorítico I el volumen de vetillas, los contenidos de oro y cobre, además de los valores de susceptibilidad magnética son más bajos ($\geq 20\%$ volumen de vetillas, $0.25 ppm Au$ y $100 unidades SI \times 10^{-3}$; Tabla 3).

Dentro de esta unidad se distinguen rocas provenientes de intrusiones interminerales más tardías, ubicadas en una posición intermineral tardía en la evolución magmática hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, las que se emplazarían temporalmente entre las unidades Pórfido Diorítico II y III. Esta unidad ha sido reconocida debido a las relaciones de contacto en el sector de Luciano. Estos pórfidos se asemejan macroscópicamente y microscópicamente a rocas de la unidad Pórfido Diorítico II, sin embargo, se caracterizan por presentar escasas vetillas de cuarzo y algunas D (volumen de vetillas < 10%), las cuales se distribuyen de manera local o aislada. Los contenidos de oro y cobre oscilan entre las de las unidades Pórfido Diorítico II y III ($0.25 - 0.15 ppm Au$ y $0.1\% Cu$). La alteración hidrotermal es similar a la del Pórfido Diorítico II, sin embargo, a diferencia de este, se distinguen cristales de hornblenda y biotitas primarias frescas al igual que las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III.

Pórfido Diorítico III

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III se reconocen en el sector de Luciano, Luciano Norte y Úrsula (Figura 7) en los sondajes *DDH – LUC – 001 y 009*; *DDH – LUN – 003 y 005*; y *DDH – URS – 004 y 001* (Figura 8, 9 y 10).

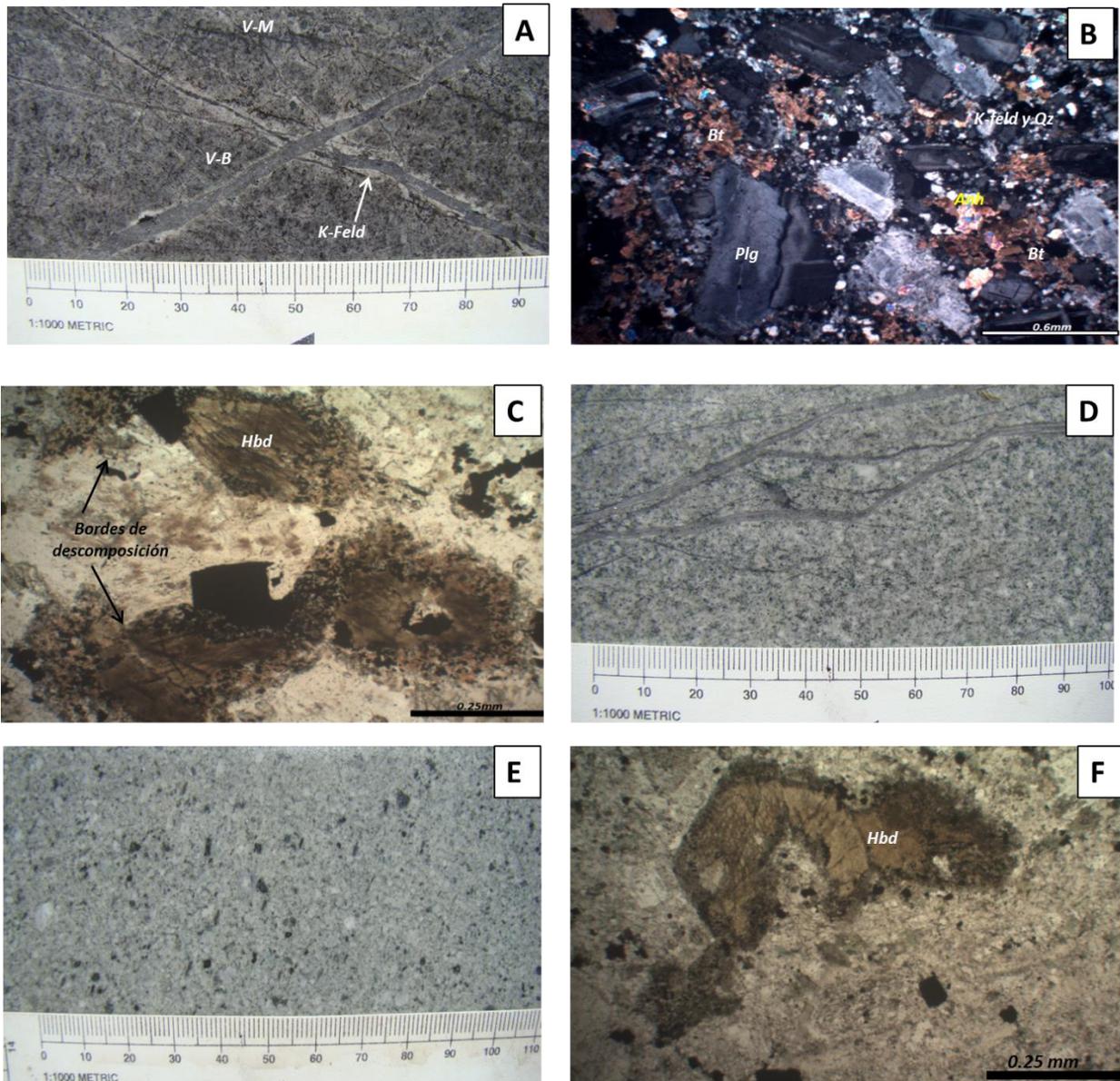


Figura 12. Unidades Porfídicas. A. Fotografía de Pórfido Diorítico I, con efectos de alteración potásica, 60 – 70 % reemplazo por feldespato potásico-biotita-magnetita, y vetillas M (V-M) y B (V-B); sondaje *DDH – LUC – 018,312.73 m.* **B. Microfotografía de Pórfido Diorítico I.** Se observa textura porfídica con una masa fundamental de fenocristales de feldespato potásico hidrotermal, cuarzo recristalizado, biotita hidrotermal y anhidrita intersticial. Los fenocristales de plagioclasas presentan albitización (≥ 50 % reemplazo); aumento: 4X, nicoles cruzados; sondaje *DDH – LUC – 018,410.6m.* **C. Microfotografía de bordes de descomposición** en cristales de hornblenda con reemplazo de óxidos de hierro hacia los bordes, en roca de la unidad Pórfido Diorítico I; sondaje *DDH – LUN – 001,277.6 m;* aumento 100X, nicoles paralelos. **D. Fotografía de Pórfido Diorítico II** con efectos de asociación de alteración potásica (feldespato potásico-biotita) y clorítica (clorita). La roca es cortada por vetillas B; sondaje *DDH – LUC – 022,492.05 m.* **E. Fotografía de Pórfido Diorítico III** con efectos de asociación de alteración clorita-illita. La unidad no presenta vetillas; sondaje *DDH – LUN – 005,737.33 m.* **F. Microfotografía de cristal de hornblenda primario euهدral y de aspecto fresco en Pórfido Diorítico III**, en roca con una intensidad de alteración < 30 %; sondaje *DDH – LUN – 005,737.5 m;* aumento: 40X, nicoles paralelos.

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III intruyeron a las del Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado, Pórfido Diorítico I, II y cuerpos de brechas intrusivas alteradas. Además, se observan fragmentos de roca encajante (unidad Complejo Andesítico Juanes y Tobas daci-andesíticas) en las zonas de contacto con rocas de las unidades Pórfido Diorítico I y II, con vetillas truncadas que evidencian su carácter tardío.

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III se caracterizan por presentar textura porfídica y un color gris claro a verdoso a escala macroscópica. Microscópicamente, los fenocristales de biotita y hornblenda son euhedrales a subhedrales y presentan una apariencia fresca (Figura 12 E y F). Esto se debe a los débiles efectos de alteración propilítica ($\leq 30\%$ reemplazo por minerales de alteración) y casi nula alteración potásica, la cual suele destruir parcial a totalmente los minerales máficos primarios por reemplazo de magnetita y biotita hidrotermal.

Su mayores características son el bajo volumen de sulfuros ($< 0.5\%$), escaso volumen de vetillas D, y de cuarzo transicionales bandeadas y B ($< 5\%$), bajos valores de susceptibilidad magnética ($< 100 \text{ unidades SI} \times 10^{-3}$) y principalmente los bajos contenidos de oro y cobre ($< 0.15 \text{ ppm Au}$ y $0.1\% \text{ Cu}$) que le atribuyen un carácter post-mineralización a esta unidad (Tabla 2 y 3).

Diques de inyección ígnea

Dentro de *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano se ha observado que cada unidad intrusiva (desde la más temprana a la más tardía) desarrolla diques de inyección ígnea en la zona de contacto con rocas huéspedes.

Los diques de inyección ígnea se observan a lo largo de todo el *cluster* brechizando (incorporándose como parte de la masa fundamental de brechas) o intruyendo a Unidades Porfídicas y cuerpos de brechas. Sin embargo, las ocurrencias son locales e intermitentes (algunos metros).

Macroscópicamente, estas estructuras presentan un color verde producto de la alteración propilítica que los afecta, textura afanítica y ‘fluidal’ y abundante ‘polvo de roca’ (Figura 13 B).

Los diques de inyección ígnea corresponderían a un remanente hidrotermal de las distintas unidades intrusivas. Estos se habría inyectado con fuerza y habrían intruído a las Unidades Porfídicas y cuerpos de brechas en una etapa tardía de la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano. Estos podrían ser agentes responsables de la formación de algunos cuerpos de brechas.

8.1.3 Brechas

Cuerpos de Brechas Intrusivas e Intrusivas alteradas, Magmáticas-hidrotermales y Freatomagmáticas (Figura 8, 9 y 10) se reconocen en el área de estudio, conformando un volumen menor al 5 – 10 % de las unidades litológicas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

Los distintos tipos de brechas se ubican en una posición intermineral a tardío mineral dentro de la evolución magmática-hidrotermal. Todas estas se habrían generado con posterioridad a las intrusiones que conformaron a la unidad Pórfido Diorítico II.

En general, las brechas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano son polimícticas y matriz soportadas (proporción variable de fragmentos/masa fundamental; 20 – 50%/ 80 – 50 %). La composición y procedencia de los fragmentos es similar para todos los cuerpos, en las que predominan dos dominios: de composición volcánica andesítica y de textura afanítica (procedente de Unidades Preminerales) e igneos dioríticos (procedentes de la unidad Complejo Andesítico Juanes y Pórfido Diorítico I y II). Las mayores diferencias radican en la composición de la matriz, estilo de vetillas y mineralización que se describen a continuación y en las Tablas 4 y 5.

Brechas Intrusivas

En el sector de Luciano y Luciano Norte se reconocen cuerpos menores de Brechas Intrusivas (< 5% volumen y una extensión < 150 m en testigos de sondajes del área de estudio; Figura 8 y 9), la cuales se encuentran asociadas espacial y temporalemnte a Unidades Porfídicas mineralizadas (Pórfido Diorítico I y II).

Las Brechas Intrusivas se generaron en la zona de contacto entre rocas pertenecientes a Unidades Preminerales (principalmente del Complejo Andesítico Juanes) y Unidades Porfídicas (Pórfido Diorítico I y II; Figura 9).

El contacto entre estas brechas y las rocas huéspedes es transicional, con ocasionales xenolitos de la unidad Pórfido Diorítico I y Unidades Preminerales con vetillas de cuarzo truncadas A, B y transicionales bandeadas. Esta última característica denota el carácter intermineral de esta brecha en la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

En el sector de Luciano Norte, en el sondaje *DDH – LUN – 011* (Figura 9), en la zona de contacto entre la Brecha Intrusiva y rocas de la unidad Pórfido Diorítico I, se observa ‘dedos’ de este último interceptando a la brecha. En el contacto entre fragmentos (Pórfido Diorítico I) y masa fundamental, se distinguen bordes de enfriamiento hacia la masa fundamental (unidad más tardía y más caliente que Pórfido Diorítico I), lo que evidencia que las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I fueron intruidas y brechizadas. Alejandose de la zona de contacto se presenta un desarrollo progresivo a Brecha Intrusiva compuesta de fragmentos subredondeados a subangulosos de la unidad Pórfido Diorítico I, con vetillas truncadas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas. La masa fundamental de composición ígnea se correlaciona a rocas de la unidad Pórfido Diorítico II. Por otra

parte, los bordes de los fragmentos no son marcados, indicando que no hubo un contraste de temperatura entre las unidades involucradas en la brechización.

Macroscópicamente, las Brechas Intrusivas presentan una textura fragmental, con fragmentos y masa fundamental de composición y textura (diorítica y porfídica) muy similares lo que hace difícil su identificación. La masa fundamental es microcristalina de color verde (producto de alteración propilítica) a gris y fragmentos de color pardo producto de alteración potásica (biotita-magnetita; Figura 13 C; Tabla 4 y 5).

La estrecha relación espacial entre las Brechas Intrusivas y los pórfidos mineralizadores, como por ejemplo en el sondaje *DDH – LUN – 011*, sugieren un vínculo genético entre ambos. Además, del mapeo macroscópico de sondajes comparado con datos de contenidos de oro y cobre (para cada metro de testigo de sondaje) responde a que la mineralización $\geq 0.5 \text{ ppm Au}$ se relacionaría directamente a zonas con vetillas de cuarzo A y B ($\geq 10 - 15 \text{ v/m}$) que cortan a la brecha y a una mayor concentración de fragmentos de la unidad Pórfido Diorítico I con vetillas truncadas. Este hecho sugiere que el evento de brechización no atribuiría a la mineralización, sino que el evento magmático-hidrotermal sería el predominante.

Brechas Intrusivas alteradas

Las Brechas Intrusivas alteradas al igual que las descritas anteriormente (Brechas Intrusivas) presentan una masa fundamental de origen magmático. Sin embargo, a diferencia de Brechas intrusivas, además del componente magmático de la matriz (de composición diorítica) presentan contenidos variables de componentes hidrotermales provenientes de fluidos hidrotermales, de las mismas intrusiones magmáticas responsables de la brechización.

Estos cuerpos de brecha cortan a rocas del Complejo Andesítico Juanes y son intruidas por rocas de la unidad Pórfido Diorítico II y III. La Brecha Intrusiva alterada del sector de Luciano Norte se encuentra en contacto por falla con una Brecha Freatomagmática (Figura 9). De manera local, en la zona de contacto, se aprecian fragmentos de roca de caja, de tobas y conglomerados.

Las Brechas Intrusivas alteradas son los cuerpos de brechas de mayor extensión y volumen identificadas en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Se reconocen en Úrsula (< 20 % del volumen del depósito; 400 m de extensión *NW – SE* y al menos 350 m en profundidad), parcialmente en Luciano (< 5 – 10 % volumen del depósito; 250 m extensión en testigos de sondajes) y en menor medida en Luciano Norte (< 3 – 5 % del volumen del depósito y < 150 m de extensión en testigos de sondajes); (Figura 8, 9 y 10).

La Brecha Intrusiva alterada del depósito Úrsula (Figura 10) correspondería al blanco principal de mineralización de oro identificado en este depósito porfídico, con contenidos promedios de oro de 0.5 ppm Au y valores que alcanzan hasta

> 2 ppm Au (Tabla 4 y 5). El techo de la brecha se ha encontrado ~90 m debajo de la superficie, lo que sugiere una brecha ciega.

Esta brecha corta a rocas del Complejo Andesítico Autobrechizado y es intruida por rocas de la unidad Pórfido Diorítico III y diques de inyección ígnea (Figura 13 B). Los diques de inyección ígnea podrían tener una relación con la génesis de estas brechas.

El contacto entre la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula con las rocas de la unidad Complejo Andesítico Autobrechizado es progresivo, con el desarrollo de una brecha matriz soportada desde el contacto (irregular y difuso) hacia el centro de la brecha. Hacia la zona del contacto existe un predominio de una componente magmática (diorítica) de la masa fundamental (que se correlaciona a rocas de la unidad Pórfido Diorítico III), diques de inyección ígnea que brechizan la roca y fragmentos intrusivos de roca de caja (Complejo Andesítico Autobrechizado). Hacia el centro de la brecha predominan los componentes hidrotermales de la masa fundamental ($\geq 50\%$) de asociación de alteración propilítica, tales como clorita-illita, calcita, pirita, anhidrita, entre otros. Además de fragmentos intrusivos dioríticos, procedentes de la unidad Pórfido Diorítico I o una unidad más temprana, con vetillas truncadas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas (volumen de vetillas truncadas en los fragmentos 30 – 50 % promedio).

Macroscópicamente, la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula se reconoce como una roca de textura fragmental con masa fundamental de color verde a pardo-amarillo producto de alteración propilítica (verde cuando predomina la clorita y pardo-amarillo cuando predomina la illita) y ocurrencias locales de anhidrita y magnetita. Los fragmentos dioríticos con vetillas truncadas de cuarzo presentan un color pardo claro a gris producto de alteración potásica, con reemplazo por biotita, magnetita y feldespatos potásicos hidrotermales.

Una característica distintiva de la brecha del sector de Úrsula es la presencia de fragmentos dioríticos con vetillas de cuarzo truncadas transicionales bandeadas, A y B (Figura 13 A). Por otra parte, no se observan vetillas de cuarzo que corten a la brecha (fragmentos y masa fundamental), lo que la diferencia del resto de cuerpos de brecha del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano. De manera local se distinguen escasas vetillas tardías de cuarzo lechoso y yeso ($< 5 - 7\%$; características de baja temperatura) dispuestas de manera aislada. Esto último sugiere que la brechización correspondería a un evento post-mineralización, pero intermineral en la evolución magmático-hidrotermal de este sistema.

De acuerdo a análisis mineralógicos TMS (QEMSCAN) (ver Capítulo Mineralización 8.3.2) la mineralización de oro se encontraría mayormente asociada a los fragmentos ($> 90\%$ Au se asociaría a los fragmentos) los que contienen mineralización sulfurada (pirita, esfalerita y calcopirita, entre otros) diseminada y en las vetillas truncadas (Tabla 5).

En el sector de Luciano y Luciano Norte, los cuerpos de Brechas Intrusivas alteradas (Tabla 4 y 5) se diferencian a las del sector de Úrsula. Estas presentan un predominio de la componente magmática de la masa fundamental ($> 80\%$) en la totalidad de su extensión. Otra diferencia es que estas brechas son cortadas por vetillas de cuarzo A, B y escasas transicionales bandeadas y no presentan

Tabla 4. Descripción Macroscópica y Petrográfica de las Brechas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano.

| Subtipo | Posición temporal en la evolución magmática-hidrotermal | Ubicación (extensión ¹) | Fragmentos | Matriz |
|----------------------------------|---|--|--|--|
| Brechas Intrusivas alteradas | Intermineral | Úrsula, DDH-URS-004 y 001 (~ 300 m). | Ligeramente polimíctica: subredondeados a angulosos, mala selección y ≤ 25cm. Los clastos son intrusivos, de textura porfídica, de composición diorítica (70-80 %) y andesíticos (20-30 %). Los clastos de composición diorítica presentan fenocristales subhedrales de plagioclasa (≥ 50%, 0.1-0.6 mm), hornblenda (<5%, <0.6mm, alterados a bioita y clorita) y cuarzo (<1%) y trazas de apatito y circones. Los clastos dioríticos presentan vetillas M, truncadas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas ² ³ . Predominio de fragmentos de roca de caja hacia el contacto (Complejo Andesítico Autobrechizado y andesíticos) e intrusivos dioríticos con vetillas truncadas hacia el centro de la brecha. | Matriz soportada, microcristalina de color gris verdoso a pardo, compuesta de plagioclasa (50-60 %), hornblenda (<5 %, <1 mm) y componentes hidrotermales tales como illita, clorita, sílice, yeso, anhidrita y magnetita (> 50 %) ² ³ . Diques de inyección ígnea cortan a la brecha, incorporándose a la masa fundamental. |
| | Intermineral | Luciano y Luciano Norte; DDH-LUC-020 (aparición local de unos pocos metros), DDH-LUC-023 (~ 250m), DDH-LUN-005 (~ 120m). | Polimíctica: fragmentos subredondeados a redondeados, ≤ 20 cm, de composición andesítica (> 50 %) y de composición diorítica (10-20 %). Fragmentos locales del Complejo Andesítico Juanes y volcánicos afaníticos (20-30 %). Los clastos presentan variaciones texturales (cambio en el tamaño y cantidad de los fenocristales) ² . | Matriz soportada; magmática, de composición diorítica (≥ 80 %) y componentes hidrotermales como magnetita, clorita y anhidrita (10 %). Diques de inyección ígnea cortan a la brecha (20-30 %) ² . |
| Brechas Intrusivas | Intermineral- tardío mineral | Luciano Norte, DDH-LUN-011 (apariciones que oscilan entre los 50 y 120 m). | Polimíctica, con fragmentos de Pórfido Diorítico I (50 %) y andesíticos (± granate, clorita, calcita ⁴) (50 %), subredondeados a subangulosos, mala selección, ≤ 25 cm ² con vetillas truncadas A, B y transicionales bandeadas. | Matriz soportada; matriz microcristalina de composición diorítica; plagioclasa (50-60 %), biotita y hornblenda (5-10 %) ² . |
| Brechas Magmáticas-hidrotermales | Intermineral- tardío mineral | Luciano , DDH-LUC-013 (200 m) | Fragmentos intrusivos polimícticos subredondeados a subangulosos, con predominio de clastos de composición diorítica y andesíticos, con fenocristales de plagioclasa con abundante alteración a sercita y calcita. Fragmentos entre los 3 mm-25 cm que contienen vetillas truncadas ^{2,3} . | Matriz soportada; masa fundamental hidrotermal compuesta de clorita-illita, sílice, magnetita, turmalina, calcita y sulfuros diseminada. Magnetita martitzada y parches de clorita ² . Ausencia de componentes magmáticos. |
| Brechas Freatomagmáticas | Tardío mineral | Luciano Norte, DDH-LUN-005 y 004 (150 m en DDH-LUN-005). | Polimíctica , de mala selección ,con fragmentos intrusivos y volcánicos de textura afanítica, subredondeados a redondeados de tamaño de escala centimétrica; cristales fracturados de plagioclasa y cuarzo; pseudomorfos de cristales reemplazados parcial a totalmente a calcita. Los fragmentos de cristales de plagioclasas (1.5 mm) se encuentran alterados a carbonatos, sercita y arcillas. Los fragmentos de cuarzo alcanzan tamaños de hasta 0.5 mm ^{2,3} . | Matriz soportada ; matriz de polvo de roca fina (<0.5 mm) de cuarzo y plagioclasa con alteración homogénea, fuertemente sercitzada, con presencia de carbonatos y algunos opacos. La matriz presenta material tufisítico, presencia de juveniles y ojos de cuarzo ^{2,3} . |

¹ Extensión (m) en los testigos de sondajes.

² En base a descripciones macroscópicas.

³ En base a descripciones microscópicas (Ver Anexo E Petrografía y Calcografía)

Tabla 5. Características de las Brechas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano.

| Subtipo | Posición temporal en la evolución magmática hidrotermal | Asociación de alteración (subordinada) | Mineralización | Contenidos de Au y Cu promedio (ppm y %) | Contenidos de Mo, Pb y Zn (ppm) promedio | % promedio Au cianurable ⁴ |
|--|---|--|---|---|---|---------------------------------------|
| Brecha Intrusiva alterada (Sector Úrsula) | Intermineral | Propilítica I y silicificación (argílica y potásica). Alteración propilítica en la masa fundamental y potásica en los fragmentos de la brecha. | Pirita >calcopirita >tenantita, galena, esfalerita y bornita; diseminada en la matriz (3-5 %), diseminada en los fragmentos (2-3 %) y en vetillas truncadas de cuarzo en los fragmentos de la brecha (<3 %) ^{1 2} . | 0.5 ppm en promedio (hasta 2.28gpt) y 0.1 % Cu. | 3.2 ppm Mo, 68.07 ppm Pb y 243.47ppm Zn | 83,88% |
| Brecha Intrusiva alterada (Sector Luciano y Luciano Norte) | Intermineral | Potásica y propilítica I (Silicificación). Se aprecian zonas de magnetita ≥ 10 %. | Pirita y calcopirita diseminada y en vetillas (2.3 %); Vetillas A, B, M y escasas transicionales bandeadas las que cortan a la brecha. La densidad de vetillas alcanza hasta unos 15-25 v/m ² . | 0.33-0.55 ppm Au y 0.171 % Cu | 20.9 ppm Mo, 68.16 ppm Pb y 908.56 ppm Zn | 88.67% (Luciano Norte) |
| Brecha Intrusiva | Intermineral- tardío mineral | Propilítica I, sódico-férrica (argílica y silicificación). Zonas con intensa alteración de magnetita, silice y pirita. | Cortada por vetillas A (10-12 v/m), B (1-2 v/m) y escasas vetillas transicionales bandeadas; trazas de óxidos de cobre en fracturas; pirita > calcopirita diseminada en la matriz ¹ | 0.35 ppm y 0.1 % Cu | 4.11 ppm Mo, 20.38 ppm Pb y 263.5 ppm Zn | 76,21% |
| Brecha Magmática-Hidrotermal | Intermineral- tardío mineral | Potásica, propilítica y argílica- | Pirita y calcopirita en la masa fundamental y vetillas (3 %); vetillas transicionales bandeadas y A, con ocurrencias intermitentes, alcanzando una densidad de vetillas de hasta 10-20 v/m que cortan a la brecha ^{1 2} ; trazas de bornita. | 0.49 ppm Au y 0.05 % Cu | 11.26 ppm Mo, 32.75 ppm Pb y 103.4 ppm Zn | No existen datos |
| Brecha Freatomagmática | Tardío mineral | Propilítica con asociación de clorita-illita-sericita-carbonatos. | Pirita (4 %) diseminada en la masa fundamental. Escasas vetillas transicionales bandeadas y bandeadas dispuestas de manera aislada e interminetes ^{1 2} . | 0.2 ppm Au y 0.038 % Cu. | 13.79 ppm Mo, 91.065 Pb y 549.45 ppm Zn | 93,37% |

¹ En base a descripciones macroscópicas.

² En base a descripciones microscópicas (Anexo E)

³ Producto de alteración hidrotermal.

⁴ % Au cianurable, obtenido de Test de cianuración G907 y Bottle Role Test (Informe Interno Barrick)

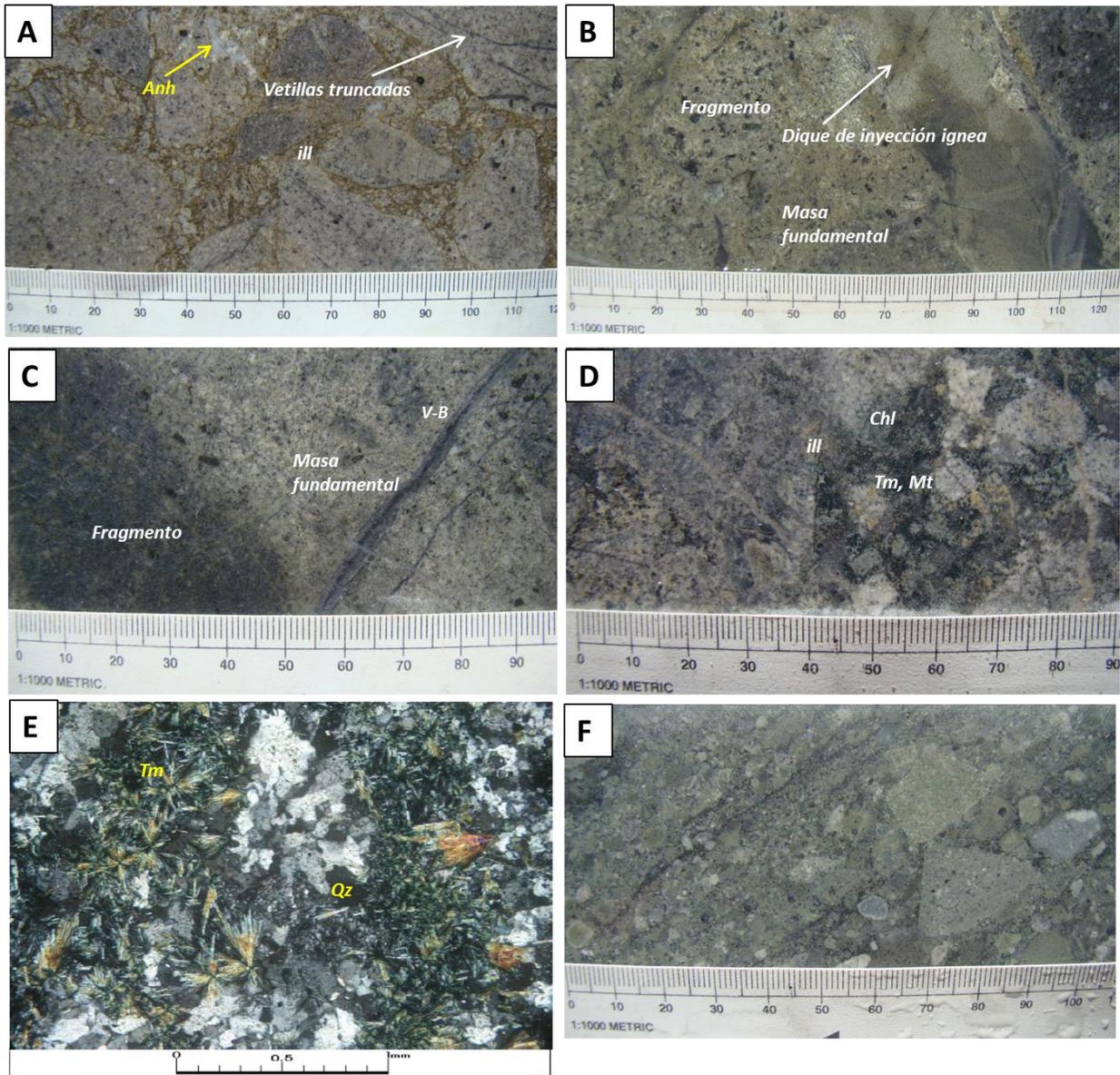


Figura 13. Brechas del cluster de pórfidos Au-Cu Luciano. A y B. Brecha Intrusiva alterada; A. Fotografía del sector de Úrsula, con dominio del componente hidrotermal de la masa fundamental (illita= ill, Anh= anhidrita), además de fragmentos de composición diorítica con vetillas truncadas de cuarzo; sondaje DDH-URS-001,93.3 m. B. Fotografía del sector de Luciano Norte, con predominio de la componente magmática de la matriz. En la figura se observan fragmentos y masa fundamental de composición diorítica y dique de inyección ígnea que corta a la unidad incorporándose como parte de la brecha; sondaje DDH-LUN-005,491.25 m. C. Brecha Intrusiva en el sector de Luciano Norte con efectos de alteración clorita-illita y potásica. En la figura el fragmentos oscuro corresponde a la unidad Pórfido Diorítico I. La brecha es cortada por una vetilla B (V-B); sondaje DDH-LUN-011,225.4 m. D y E. Brecha Magmática-hidrotermal del sector de Luciano. D. Fotografía en la que se distingue masa fundamental hidrotermal de la brecha compuesta de clorita (Chl), illita (ill), magnetita (Mt), turmalina (Tm) y calcopirita, además de fragmentos alterados a illita; sondaje DDH-LUC-013,212.2 m. E. Microfotografía de la masa fundamental de Brecha Magmática- hidrotermal en el sector de Luciano, con masa fundamental compuesta de cristales de cuarzo (Qz) y turmalina (Tm); sondaje DDH-LUC-013; aumento 50X, nicoles cruzados. F. Brecha Freatomagmática en sondaje DDH-LUN-005,343 m; fuertemente afectada por alteración de clorita-illita-sericita. En la figura se aprecia los fragmentos polimícticos subredondeados a redondeados con mala selección.

fragmentos con vetillas truncadas. Del mapeo macroscópico de sondajes versus los contenidos de oro (metro a metro de los testigos de sondajes) se determina que la mineralización de oro ($0.33 - 0.55 \text{ ppm Au}$ en promedio) estaría controlada por la vetillas de cuarzo con una densidad de $15 - 25 \text{ v/m}$ que cortan a la brechas (Tabla 5).

Brechas Magmáticas-hidrotermales

En el sector de Luciano y Luciano Norte se distinguen cuerpos de distribución local de Brechas Magmáticas-hidrotermales ubicadas en las zonas de contactos entre Unidades Porfídicas mineralizadas y distribuidas alrededor de estas (Figura 8, 9, 13 D y E). En el *NW* de la sección AA' (Figura 8) se observa una Brecha Magmática-hidrotermal que representa un volumen $< 5\%$ del depósito porfídico *Au - Cu* Luciano, con una extensión de $\sim 200 \text{ m}$ en los testigos de sondajes (*DDH - LUC - 013*).

El contacto de la Brecha Magmática-hidrotermal del sector de Luciano no es claro, ya que la calidad de los sondajes no es buena, presentándose muy fracturados lo que dificulta la observación del contacto. No obstante, la zona de contacto entre la brecha y las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I se evidencia por la existencia de xenolitos redondeados de esta última unidad, con vetillas truncadas de cuarzo A y B principalmente. De esta forma la Brecha Magmática-hidrotermal se ubicaría en una posición intermineral a tardío mineral dentro de la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au - Cu* Luciano.

Esta unidad se ubica en una posición intermineral-tardío mineral en la evolución magmática hidrotermal de los sistemas porfídicos *Au - Cu*, ya que se ha observado cortando a rocas del Complejo Andesítico Juanes y de la unidad Pórfido Diorítico I. Además se encuentra asociado a las intrusiones de las Unidades Porfídicas (Pórfido Diorítico I, II y III) y presenta vetillas truncadas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas (Tabla 4 y 5).

La Brecha Magmática hidrotermal del sector de Luciano se caracteriza por ser polimíctica, matriz soportada, presentar clastos intrusivos dioríticos y andesíticos, con una masa fundamental netamente hidrotermal compuesta por contenidos variables de clorita, illita, sílice, magnetita, turmalina y mineralización de pirita y calcopirita (3 %) y trazas de bornita diseminada.

La brecha es cortada por vetillas de cuarzo A y transicionales bandeadas, con ocurrencias intermitentes que alcanzan una densidad de vetillas de hasta $10 - 20 \text{ v/m}$

Brechas Freatomagmáticas

Cuerpos de Brecha Freatomagmática se reconocen en el sector de Luciano Norte (*Informe Interno Barrick*; Figura 9; Tabla 4 y 5).

La Brecha Freatomagmática del sector de Luciano Norte corta a rocas del Complejo Andesítico Juanes y se encuentra en contacto abrupto y por falla con un cuerpo de Brecha Intrusiva alterada evidenciado. En la zona de contacto se presenta abundante roca molida y asociación de alteración argílica. Estas brechas se posicionan en una ubicación tardía mineral dentro de la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

Esta unidad ha sido definida como Brechas Freatomagmática (*Informe Interno Barrick*) debido a sus similitudes a las descritas por Sillitoe (2010) y Corbet & Leach (1998), tales como matriz de polvo de roca, clastos redondeados y polimícticos de composición intrusiva (diorítica y dacítica) y volcánica, presencia de juveniles, cristales fracturados, ojos de cuarzo asociadas a alteración propilítica con abundante sericita, carbonatos y pirita (~4%) ; (Figura 13 F), además de mineralización de oro ~0.2 ppm Au.

En esta unidad es común observar clastos redondeados con vetillas truncadas de cuarzo en sus bordes y escasas vetillas transicionales bandeadas y bandeadas de manera aislada (volumen vetillas < 3%).

8.2 ALTERACIÓN HIDROTERMAL

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano la alteración hidrotermal incluye las alteraciones potásica, propilítica, sódico-férrica, argílica y silicificación (Figura 14).

En los sistemas porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula se observa que la alteración potásica grada verticalmente hacia arriba a una asociación propilítica I, y hacia una propilítica II en las zonas más distales y laterales.

En este estudio la alteración propilítica se subdivide en propilítica I y propilítica II de acuerdo a la relación temporal y espacial con la mineralización de oro y vetillas de cuarzo. La alteración propilítica I representa una variación vertical superior a la alteración potásica, la cual marca el cambio en el estilo de vetillas de cuarzo (A a transicionales bandeadas) asociada, de igual forma que la alteración potásica, a zonas de mineralización > 0.5 ppm Au. Mientras que la alteración propilítica II se define como un halo gradacional distal y lateral de la alteración potásica-propilítica I, a la cual no se le asocia mineralización de oro, además de marcar el límite de vetillas de cuarzo y de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula (Figura 14).

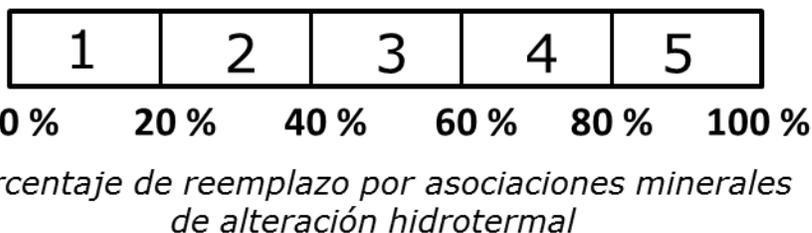
La alteración potásica y propilítica I son las más importantes, tanto por su extensión como por su relación con la mineralogía sulfurada y de oro. Estas son

sobreimpuestas por alteración sódico-férrica. En las partes más altas de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano Norte y Úrsula se superponen progresivamente asociaciones de alteración argílica supérgena y silicificación. La alteración sódico-férrica, argílica y silicificación se consideran alteraciones secundarias ya sea por una menor distribución espacial y porque no presentan una relación temporal ni espacial con la mineralización de oro (Tabla 6; Figura 15, 16, 17).

Superposiciones de alteración argílica avanzada ocurren de manera local a través de estructuras subverticales que en superficie configuran prominencias topográficas o *ledges*. De manera local en el sondaje *DDH – LUC – 001* se intercepta una estructura, la cual se relacionaría a un *ledge* con mineralización de oro y arsénico. Este no se considera un evento de alteración y mineralización representativo dentro del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano y podría corresponder a las raíces de un *lithocap* erodado.

Por medio de la descripción macroscópica de testigos de sondajes se define una escala numérica de intensidad de alteración del 1–5. Esta escala representa el porcentaje de reemplazo de la roca por asociaciones minerales de alteración hidrotermal (por ejemplo, 0% representa la roca fresca y *IA* = 5, corresponde a una alteración pervasiva con un 80 – 100 % de reemplazo por asociaciones de alteración hidrotermal).

IA= Intensidad de alteración: 1-5

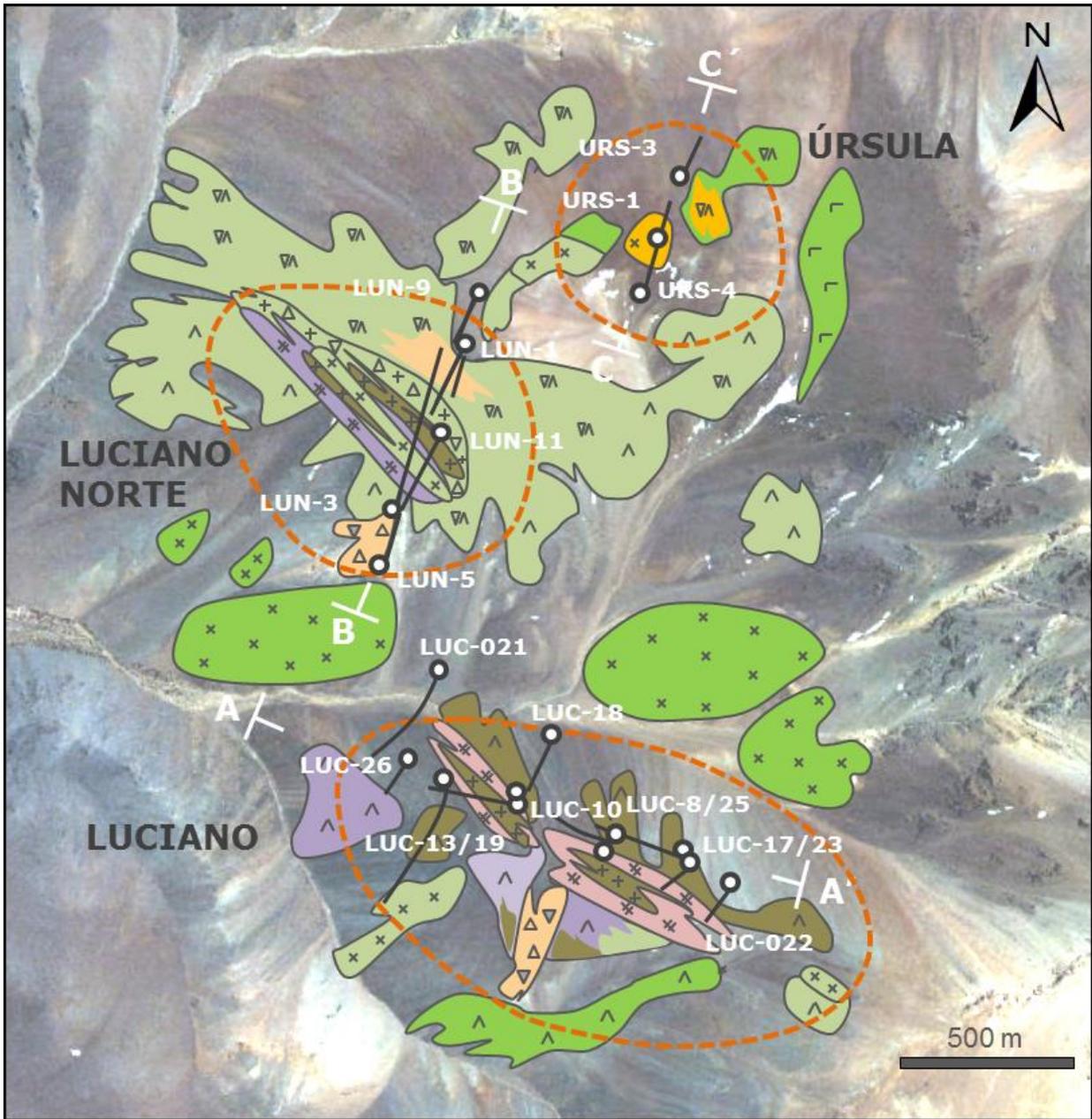


Las descripciones de las alteraciones hidrotermales y estilos de vetillas asociadas para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se presentan a continuación:

8.2.1 Alteración potásica

La asociación de alteración principal, se conforma por feldespatos potásico, biotita, albita y magnetita (Tabla 6). La alteración potásica se encuentra espacial y temporalmente relacionada a zonas con contenidos de oro > 0.5 ppm Au.

La zona potásica comprende dos sub-asociaciones de alteración: feldespatos potásico-magnetita y biotita-magnetita, las que contienen contenidos de magnetita hidrotermal (≥ 4 %) y albita (contenido variable). Temporalmente, la asociación de feldespatos potásico es posterior o más tardía a la de biotita hidrotermal, lo cual ha



Alteración, Litología y simbología



Figura 14. Mapa litológico y de alteración hidrotermal simplificado del área del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano.

sido evidenciado por observaciones macroscópicas de testigos de sondajes. El feldespató potásico hidrotermal se sobreimpone a la biotita hidrotermal temprana en forma de guías irregulares, difusas y parches. También se observan halos de feldespató potásico y albita en vetillas de cuarzo tempranas, lo que denota una cristalización simultánea a la formación de vetillas, donde el halo se sobreimpone a biotita hidrotermal.

Los minerales máficos primarios, tales como biotita y hornblenda, son reemplazados penetrativamente por biotita y magnetita hidrotermal (Figura 18 A), los cuales prácticamente son destruidos. La biotita hidrotermal ocurre en cúmulos, como finos cristales diseminados intersticiales en la masa fundamental de unidades intrusivas y reemplazando *books* de biotita primaria.

Parte importante de la proporción de magnetita observada en las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano corresponde a magnetita hidrotermal, la cual ocurre de manera diseminada, en cúmulos y en vetillas M de magnetita, de cuarzo A y de cuarzo transicionales. Habitualmente, la magnetita se presenta intercrecida entre cristales de biotita hidrotermal, feldespató potásico hidrotermal, calcopirita y bornita. Los cristales de magnetita hidrotermal se diferencian de los de magnetita hipógena, ya que estos últimos, suelen presentarse como titanomagnetita, es decir, como exsolución de magnetita-ilmenita generalmente formando textura de laminillas. También se presentan cristales aislados de ilmenita.

Agregados de feldespató potásico hidrotermal microgranular ($< 1mm$), producto de la alteración selectiva de cristales de plagioclasas, ocurren intercrecidos entre la masa fundamental recristalizada de unidades intrusivas o en halos de alteración. Microscópicamente, hacia los bordes de cristales de feldespató potásico se observa reemplazo por albita, lo que sugiere albitización durante el evento potásico y posterior a la formación de feldespató potásico hidrotermal.

La anhidrita es un mineral común dentro de la asociación de alteración potásica (2 – 5%) la cual se encuentra como cristales subhedrales inmersos en la masa fundamental de Unidades Porfídicas o bien como finos cristales impregnados en fenocristales de plagioclasa y vetillas de cuarzo. También se observan rellenos de espacios abiertos con anhidrita en la masa fundamental de algunas brechas con efectos de alteración potásica y/o propilítica. Sin embargo, la ocurrencia de anhidrita en la mineralogía de alteración es común a todos los eventos de alteración en la evolución hidrotermal de los sistemas.

Las Unidades Preminerales y Unidades Porfídicas interminerales muestran efectos de alteración potásica pervasiva ($IA = 3 - 5$), las cuales generalmente coinciden con altos valores de susceptibilidad magnética ($\geq 100 SI \times 10^{-3}$) y zonas con $\geq 5\%$ volumen de magnetita hidrotermal. Las rocas que mejor preservan esta asociación de alteración son las ubicadas en el sector NW del pórfido *Au – Cu* Luciano (Sección AA'; Figura 15) correspondientes a unidades de Tobas dacíandesíticas, Conglomerados y Pórfido Diorítico I. De la observación macroscópica de rocas de la unidad Pórfido Diorítico I en testigos de sondajes se reconoce que la intensidad de la alteración potásica aumenta en profundidad ($IA = 3 a 5$). En el sector de Luciano Norte y Úrsula la asociación de alteración potásica es de menor intensidad ($IA = 2 - 4$ para Luciano y $IA = 1 - 2$ para Úrsula), donde en Luciano Norte coincide con rocas de la unidad Pórfido Diorítico I y en Úrsula con el

Complejo Andesítico Autobrechizado y los fragmentos de la Brecha Intrusiva alterada (Figura 16 y 17).

La datación de biotita hidrotermal utilizando el método geocronológico argón-argón ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) arroja una edad de $14.4 \pm 0.3 \text{ Ma}$ (*Informe interno Barrick*) para el evento de alteración potásica.

En el lapso de tiempo en que se formaron los minerales de alteración potásica se desarrollaron una serie de vetillas, las cuales se ordenan temporalmente de más tempranas a más tardías en: vetillas M, vetillas de cuarzo A y vetillas de cuarzo B.

Vetillas M

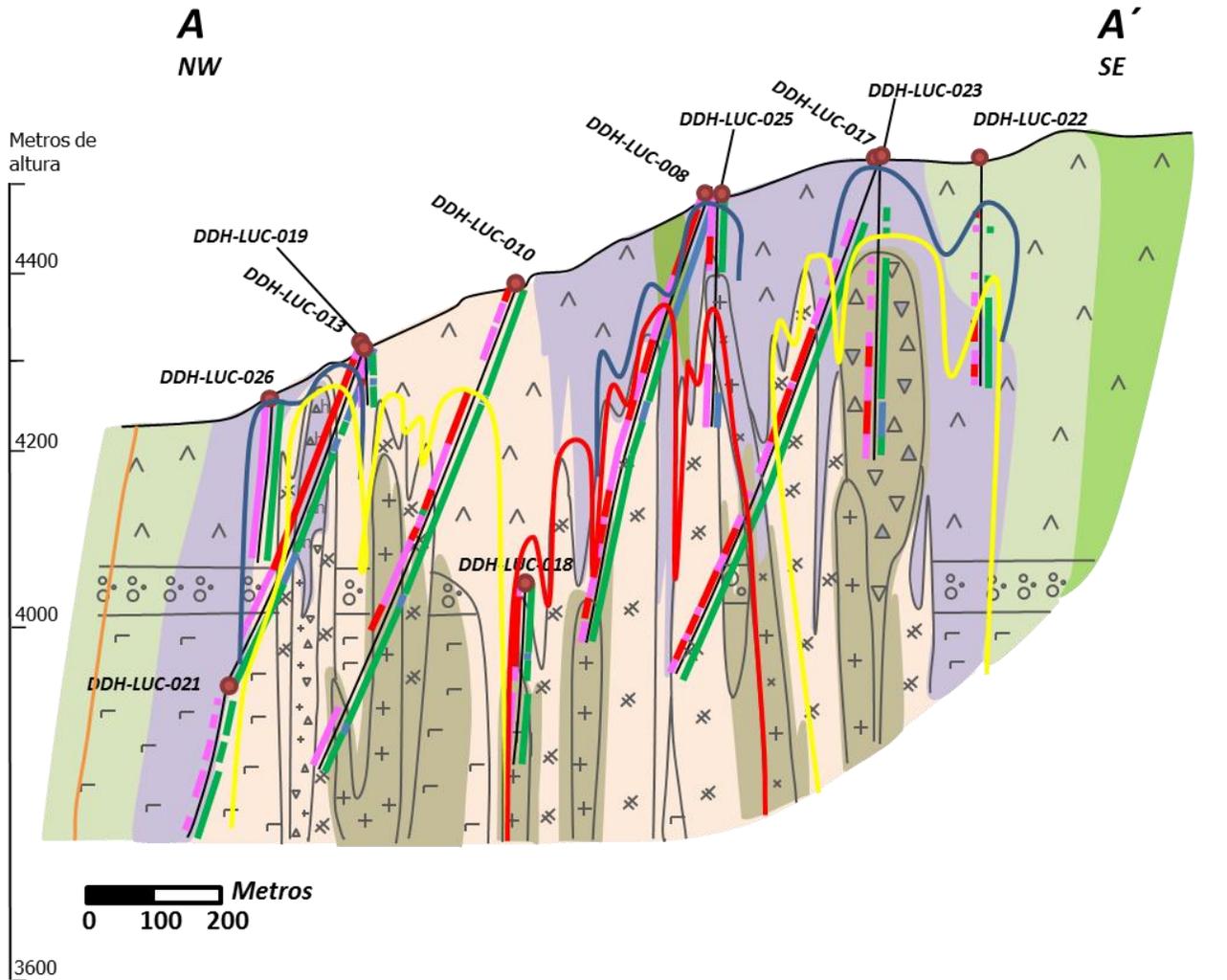
Las vetillas M son las más tempranas en la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano y son cortadas por todas las vetillas de cuarzo (A, B y transicionales bandeadas) y vetillas D. Se definen como vetillas de magnetita, al igual que las definidas por Arancibia & Clark (1996) y Sillitoe (2010) para pórfidos *Cu – Au*. En el *cluster* las vetillas M se distribuyen en los tres depósitos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula.

Las vetillas M se caracterizan por ser muy finas, con espesores de solo algunos milímetros ($1 - 2 \text{ mm}$) y relativamente sinuosas (Figura 19 A y B). Las vetillas con magnetita y menor cuarzo son definidas como tipo A (Gustafson & Hunt, 1975; Sillitoe, 2000 y 2010). Es común observar arreglos de vetillas M subparalelos (*sheeted veins*).

Vetillas de cuarzo A

Las vetillas de cuarzo A son las más tempranas en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano (Figura 19 A, B y C). Estas guardan similitud con las descritas por Muntean & Einaudi (2001) de cuarzo-magnetita-biotita-calcopirita (\pm halo de feldespatos potásico) y a las descritas por Sillitoe (2000 y 2010). Sillitoe (2000 y 2010) describe dos tipos de vetillas de cuarzo A: más tempranas de cuarzo-magnetita y otras más tardías solo de cuarzo. Ambos tipos de vetillas A se distinguen bien en el Distrito Minero Casale, en donde las de cuarzo-magnetita son cortadas por vetillas solo de cuarzo.

Las vetillas A se presentan en todos los depósitos del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, sin embargo, existe un predominio en el sector de Luciano y una menor proporción en Luciano Norte y Úrsula. Se observan cortando a Unidades Pórfidicas tales como el Pórfido Diorítico I y II, y Unidades Preminerales con fuertes efectos de alteración potásica ($IA = 3 \text{ a } 5$; Figura 15, 16 y 17).



Alteración, Litología y simbología

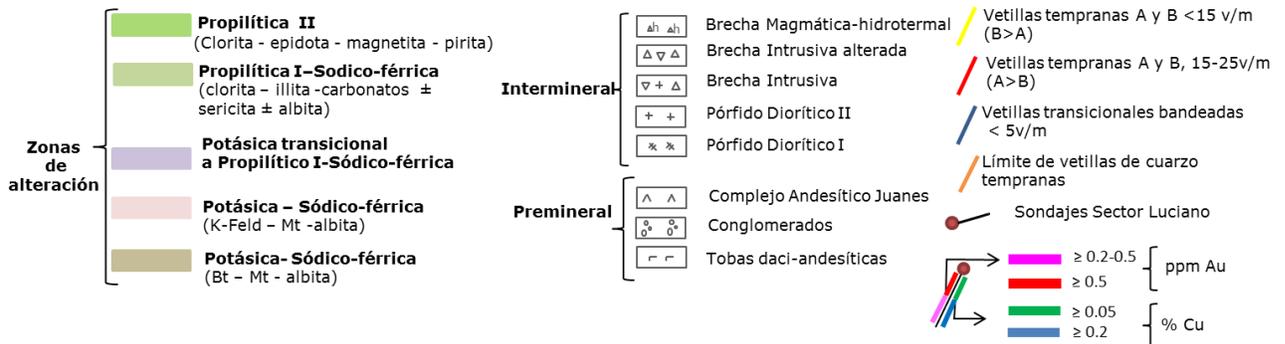
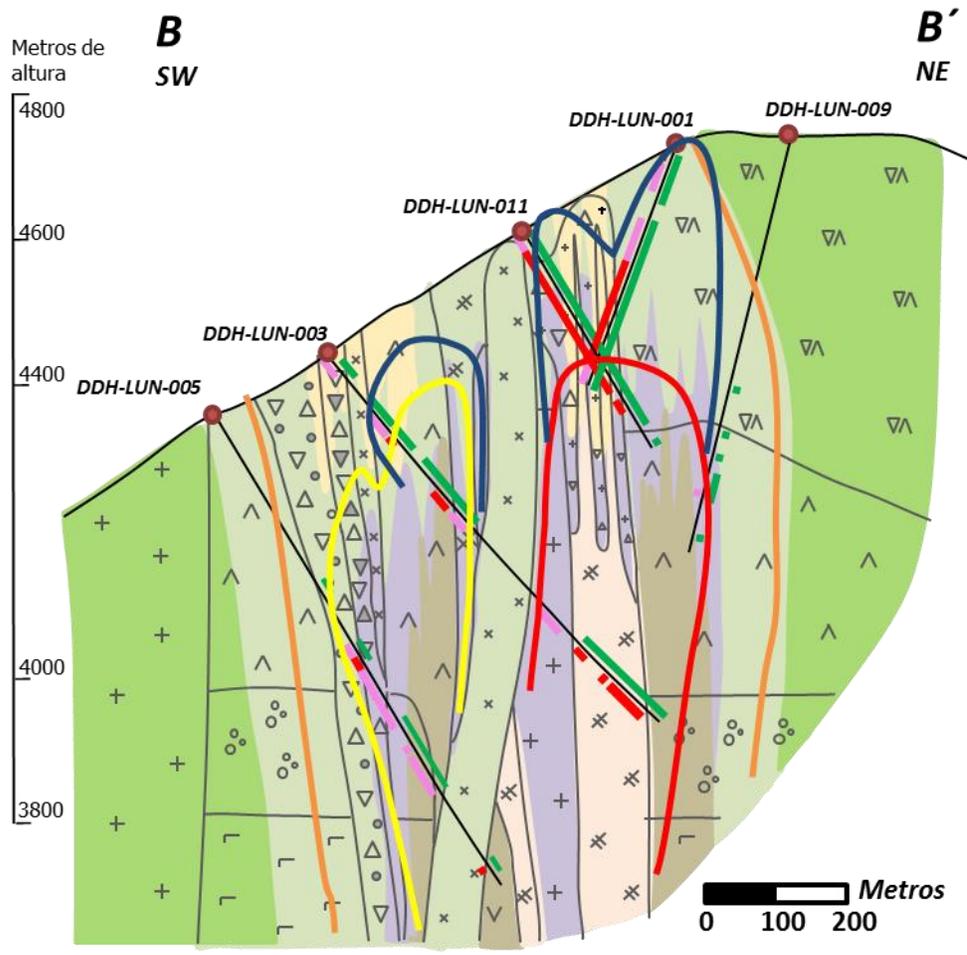


Figura 15. Sección litológica y de alteración hidrotermal AA' simplificada del pórfido Au - Cu Lucano. En la figura la alteración sódico-férrica se sobrepone a las asociaciones de alteración potásica y propilítica. Para ubicación ver Figura 14. Abreviación: K-Feld= feldespato potásico, Mt= magnetita, Bt= biotita.



Alteración, Litología y simbología

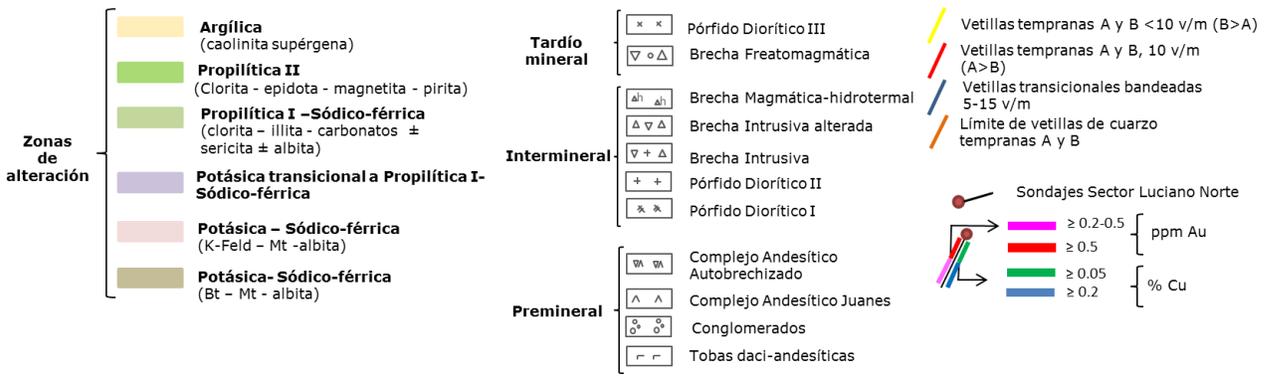
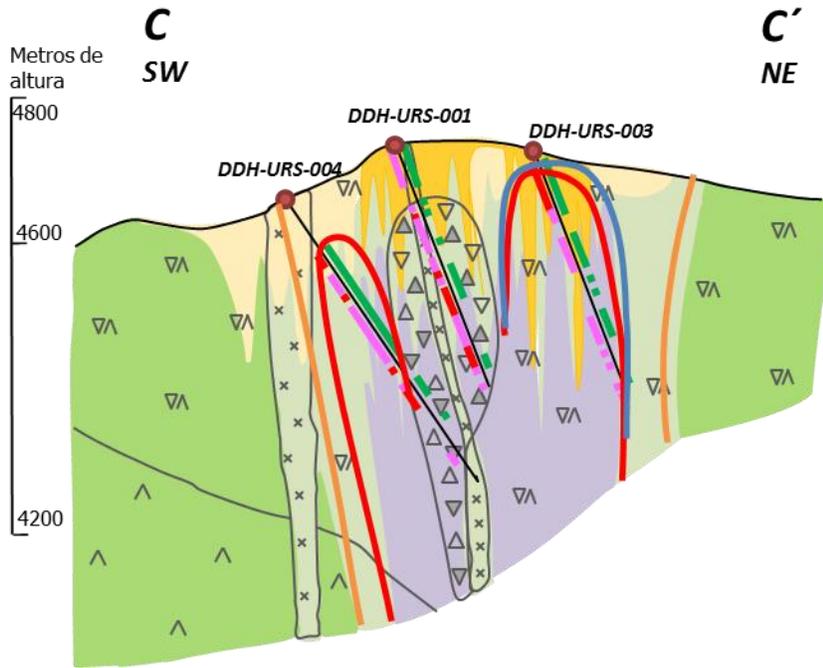


Figura 16. Sección litológica y de alteración hidrotermal BB' simplificada del pórfido Au - Cu Luciano Norte. En la figura la asociación de alteración sódico-férrica se sobrepone a la asociación de alteración potásica y propilítica I. Para ubicación ver Figura 14. Abreviación: K-Feld= feldespato potásico, Mt= magnetita, Bt= biotita.



Alteración, Litología y simbología

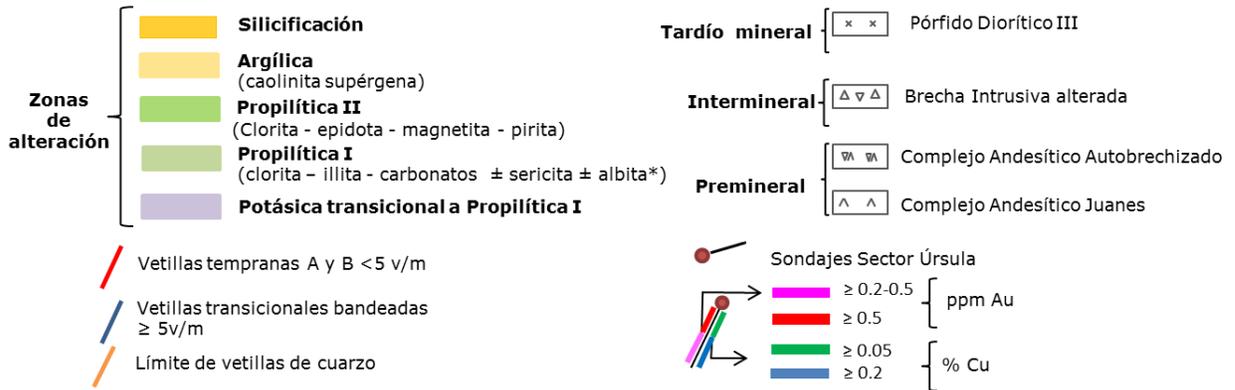


Figura 17. Sección litológica y de alteración hidrotermal CC' simplificada del pórfido Au – Cu Úrsula. Para ubicación ver Figura 14.

Las vetillas de cuarzo A del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se caracterizan por ser discontinuas e irregulares, sin simetría interna y en ciertos casos presentar halos de feldespatos potásico y albita. El cuarzo suele ser de color gris pálido y presentar 'textura sacaroidal' a muestra de mano, el cual se encuentra junto con bornita, calcopirita, galena y anhidrita. Es común encontrarlas formando arreglos de vetillas polidireccionales o *stockworks* (Figura 19 D).

La mayor parte de la mineralización de oro asociada a alteración potásica se relacionaría a *stockworks* y arreglos de vetillas A, lo cual ha sido determinado del mapeo macroscópico de sondajes. Zonas con mineralización de oro > 0.5 – 1.0 ppm *Au* coinciden con una densidad de vetillas A entre 15 – 25 v/m y un volumen de hasta un 50 % de vetillas. Un predominio de vetillas A existe en el depósito porfídico *Au – Cu* Luciano (Ver sección AA'; Figura 15)

Tabla 6. Alteración hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

| Asociación de alteración hidrotermal | Posición en el sistema; (Sector donde predomina) | Asociación mineral principal ¹ | Minerales accesorios | Vetillas asociadas con zona de alteración ^{2 4} |
|--------------------------------------|--|--|--|--|
| Potásica | Profunda; (Luciano). | Feldespatos potásico (<1mm) + biotita + magnetita hidrotermal (≥ 4 %) + albita. | Anhidrita, hematita (martita), apatito, titanita | M y de cuarzo A, B y transicionales bandeadas ¹ |
| Propilítica I | Gradación vertical y superior al núcleo potásico; (Luciano Norte y Úrsula). | Clorita + illita + carbonatos ± sericita. | Hematita (martita), esmectita, albita. | Cuarzo transicionales bandeadas ¹ y bandeadas |
| Sódico-férrica | Se sobreimpone a la alteración potásica y propilítica; (Luciano > Luciano Norte). | Albita + magnetita (1-4 %) ± clorita (<15%) ± granate (<5-10 %) ± diópsido (<7 %, <0.5mm). | Epidota (<5%), actinolita (<5 %), hematita (martita, <2 %), calcita. | Granate, clorita-magnetita-epidota |
| Propilítica II | Halo de alteración distal y lateral de la alteración potásica-propilítica I; (límite de sistemas Luciano, Luciano Norte y Úrsula). | Clorita + epidota + carbonatos ± magnetita. | Actinolita, magnetita, hematita, albita. | Pirita |
| Argílica | Se sobreimpone a la alteración potásica, clorítica y propilítica en la parte alta del sistema; (Luciano Norte y Úrsula). | Caolinita (supérgena). | Hematita, jarosita, goethita. | No presentan |
| Silicificación | Se sobreimpone a la alteración potásica, propilítica I y argílica en la parte alta del sistema; (Úrsula). | Cuarzo (de baja temperatura). | No presenta. | No presentan |

¹ Las vetillas transicionales bandeadas se forman en la transición entre asociación potásica y propilítica I

² Muchas vetillas contienen anhidrita y yeso, que generalmente ocurre de manera tardía.

³ En base a descripciones macroscópicas y microscópicas (Ver Anexo E Petrografía)

⁴ Las vetillas D no se asocian a ninguna de las alteraciones descritas en la tabla, sino que son las débiles representantes de la alteración félica que no se desarrolló en el *cluster* de pórfidos *Au-Cu* Luciano.

Vetillas de cuarzo B

Las vetillas de cuarzo B se definen como vetillas de cuarzo con bordes rectos, con espesores de 0.5 a 10 mm, las cuales se han observado sin o con una sutura central

de sulfuros tales como pirita y/o calcopirita, y menos frecuente molibdenita y bornita (Figura 19 F).

Las vetillas de cuarzo B observadas en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano presentan similitudes a las tipo-B descritas por Gustafson & Hunt (1975), sin embargo, en el área de estudio la molibdenita solo ocurre a nivel de traza, por lo que solo se distinguen algunas vetillas B con sutura central de molibdenita y de manera más frecuente en los márgenes de estas vetillas. De manera más habitual las suturas son de calcopirita y/o pirita (rara vez con trazas de bornita).

Es común observar feldespatos potásico y/o sericita-illita-clorita desarrollado a partir de los bordes de las vetillas o halos irregulares. Por otra parte, es común encontrar vetillas de cuarzo B que han sido reutilizadas por precipitados hidrotermales más tardíos ricos en yeso o anhidrita y sulfuros (pirita).

Estas vetillas presentan su mayor dominio en el sector de Luciano (30 – 50 % volumen y $< 15 v/m$; Figura 15) y son menos frecuentes en Luciano Norte y Úrsula (Figura 15, 16 y 17). Las unidades Pórfido Diorítico II y en menor medida la unidad Pórfido Diorítico I presentan un predominio de las vetillas de cuarzo B, sobre las A y transicionales bandeadas (Figura 18, 19 y 20).

Las vetillas de cuarzo B son más tardías que las de cuarzo A, lo cual queda evidenciado a partir de las relaciones de corte. Las vetillas de cuarzo B cortan a las A y transicionales bandeadas (Figura 19 E).

Vetillas de cuarzo transicionales bandeadas

En la zona de transición entre alteración potásica a propilítica I es común el desarrollo y predominio de vetillas de cuarzo definidas como transicionales bandeadas. Estas vetillas se observan muy bien en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, al igual que en otros depósitos del Distrito Minero Casale como Cerro Casale, Eva, Román, Jotabeche, entre otros.

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano estas vetillas se observan principalmente en el sector de Luciano Norte, Úrsula y con menor frecuencia en Luciano (Figura 15, 16 y 17). Se les observa cortando Unidades Porfídicas (Pórfido Diorítico I y II) y rocas de Unidades Preminerales del Complejo Andesítico Juanes y Complejo Andesítico Autobrechizado.

Del mapeo de macroscópico de testigos de sondajes se ha determinado que parte importante de la mineralización de oro ($> 0.5 ppm Au$) asociada a alteración propilítica I del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se relaciona a este tipo de vetillas que alcanzan una densidad de vetillas de hasta $15 v/m$ (Ver Capítulo de Mineralización 8.3).

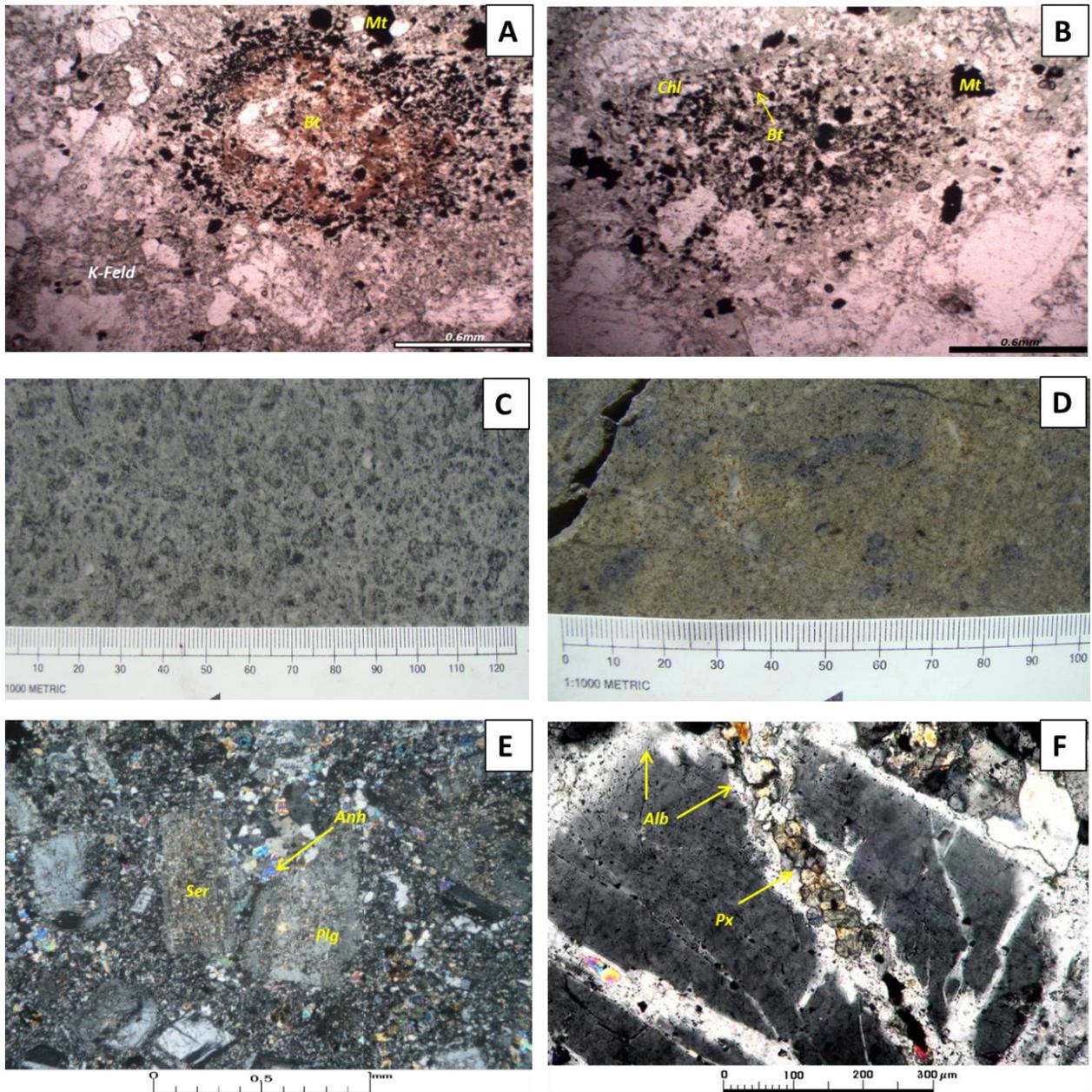


Figura 18. Alteración Hidrotermal en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-F). **A. Alteración potásica.** En la microfotografía se observa a un mineral máfico parcialmente reemplazado por biotita (Bt) y magnetita (Mt), en masa fundamental con cuarzo, plagioclasa y finos cristales de feldespato potásico secundario (K-Feld), en Pórfido Diorítico I; sondaje *DDH – LUC – 025,268.9 m*; aumento 40X, NP (nícoles paralelos). **B, C y D. Alteración propilítica I.** **B. Microfotografía de cristales de clorita (Chl) y magnetita (Mt) en reemplazo de mineral máfico.** En la figura se observan relictos de biotita hidrotermal (Bt); sondaje *DDH – LUC – 025,426.2 m*; aumento 40X, NP. **C. Fotografía de Roca del Complejo Andesítico Juanes (CAA) con efectos de alteración propilítica I de intensidad fuerte (IA = 4),** con parches de clorita y calcita diseminada; sondaje *DDH – LUC – 022,277,35 m*. **D. Fotografía de roca del Complejo Andesítico Autobrechizado (CAA) con efectos de alteración clorita-illita y argílica;** en sondaje *DDH – URS – 001,34.85 m*. **E. Sericitización.** Fotografía de Roca CAJ la cual muestra fenocristales de plagioclasa (Plg) parcialmente (IA = 3) sericitizados (Ser) e impregnación de cristales de anhidrita (Anh); en sondaje *DDH – LUC – 013,309.2 m*; aumento 50X, nícoles cruzados (NC). **F. Alteración sódico-férrica.** Microfotografía de cristal de plagioclasa reemplazado por albita (Alb) a partir de los bordes y microfractura. Se observa un crecimiento de cristales de diópsido (Px) entre la microfractura, lo que indica que la albita y el diópsido están en equilibrio, en roca de unidad de Pórfido II, NP.

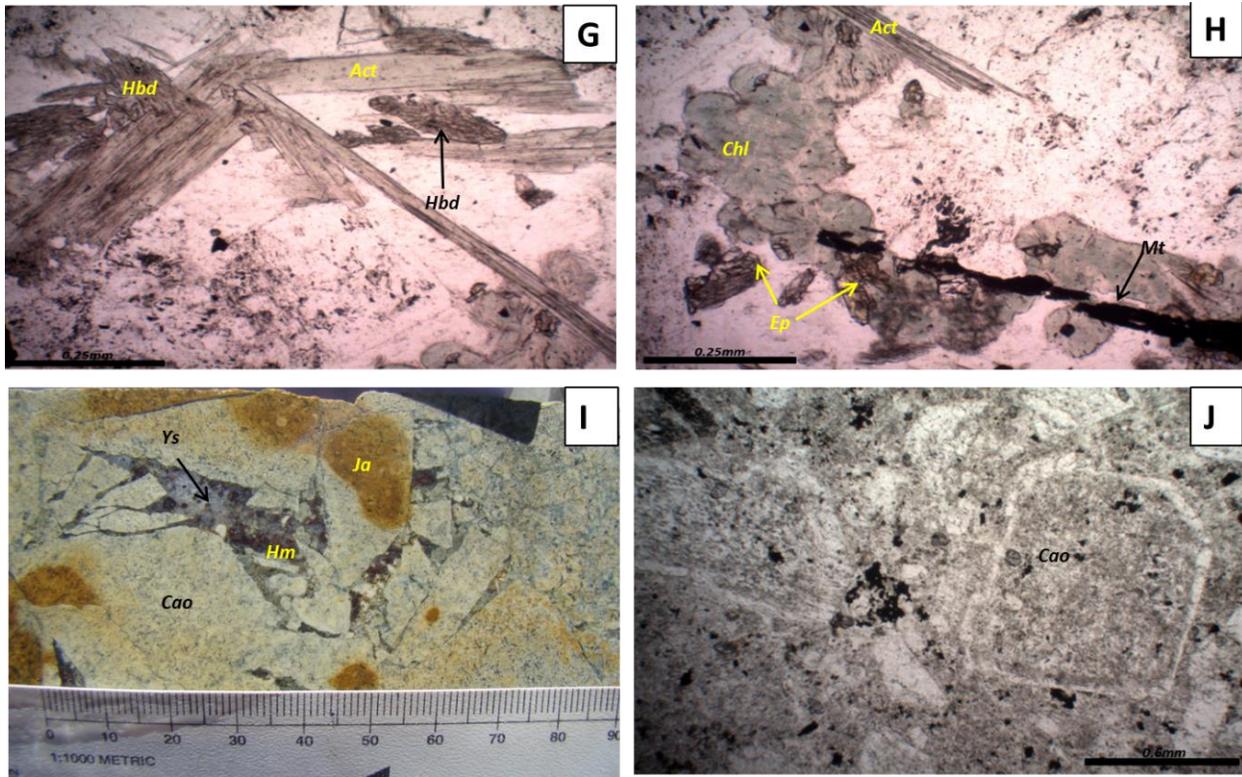


Figura 18. Alteración Hidrotermal en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (G-J). G y H Alteración sódica-férrica. G. Microfotografía de cristales de actinolita en reemplazo de cristales de hornblenda primaria en roca de la unidad Pórfido Diorítico II con efectos de albitización ($IA = 3 - 4$) en sondaje *DDH – LUC – 025,426.2 m*; aumento $100x$, nícoles paralelos (NP). **H. Microfotografía de cristales de clorita** (Chl) recrystalizada con hábito acicular radial, actinolita (Act), epidota (Ep) y vetilla de magnetita (Mt), en roca con intensidad de albitización moderada a fuerte ($IA = 3 - 4$); en sondaje *DDH – LUC – 025,426.2 m*; aumento $100x$, NP. **I y J Alteración argílica. I. Fotografía de roca del Complejo Andesítico Juanes alterada por minerales de asociación de alteración argílica**, con caolinita (Cao), jarosita (Ja) y relleno de espacios abiertos con yeso (Ys), hematita (Ht) y posible calcosina; sondaje *DDH – LUN – 005,25.7 m*. **J. Microfotografía de roca de la unidad Pórfido Diorítico III con efectos de asociación de alteración argílica**. En la figura se observa las plagioclasas tanto de la masa fundamental como fenocristales fuertemente alteradas ($IA = 4 - 5$) por caolinita (Cao); sondaje *DDH – LUN – 003,44 – 95 m*; aumento $40X$, NP.

Las vetillas transicionales bandeadas del cluster de pórfidos Au-Cu Luciano se componen de cuarzo de textura sacaroidal de color gris-negro con bandas irregulares de magnetita y mineralización de finos cristales de calcopirita, bornita, pirita, galena, esfalerita y tenantita que constituyen $< 5\%$ del volumen de las vetillas. Estas vetillas presentan espesores de hasta 3 cm y no forman arreglos de vetillas polidireccionales (*stockworks*). En general se encuentran de manera aislada o formando arreglos de vetillas subparalelas (Figura 19 G). Las paredes suelen ser ligeramente onduladas y no presentan halos de alteración.

En el cluster de pórfidos Au – Cu se han definido vetillas de cuarzo transicionales bandeadas y bandeadas. La descripción de las vetillas de cuarzo transicionales bandeadas difiere a la de las bandeadas descritas por Muntean & Eiuadi (2000), ya que a diferencia de estas, las vetillas transicionales bandeadas no presentan

bandas bien definidas, más bien, estas son difusas (Figura 19 G). El cuarzo si bien presenta una textura sacaroidal, al igual que las vetillas de cuarzo A, suele ser más oscuro como el que conforma a las vetillas de cuarzo bandeadas. Esto evidenciaría la formación de estas vetillas en una etapa transicional, intermedia entre las vetillas de cuarzo A (en profundidad) y las de cuarzo bandeadas (someras).

Las vetillas de cuarzo A, transicionales bandeadas y bandeadas serían una variación progresiva en la vertical a partir de un mismo evento mineralizador. Las vetillas bandeadas son la expresión más superficial de las transicionales bandeadas, y estas, a su vez, la expresión más superficial de las vetillas de cuarzo A (Muntean & Einaudi, 2000 y 2001). Es posible observar vetillas de cuarzo transicionales bandeadas cortando a vetillas A, cuando las primeras derivan de intrusiones interminerales más tardías (Figura 19 H).

Las vetillas de cuarzo transicionales bandeadas son cortadas por vetillas de cuarzo B y vetillas D.

8.2.2 Alteración propilítica I

En el *cluster* de pórfidos *Au-Cu* Luciano la alteración potásica grada a una alteración propilítica I (de una asociación de clorítica a una de clorita-illita-carbonatos) de manera vertical y distal al núcleo del sistema, indicando un descenso del gradiente termal desde el núcleo potásico.

La asociación mineral característica de la alteración propilítica I está dada por clorita, illita, carbonatos, bajas proporciones de sericita, y mineralización de pirita y calcopirita (Tabla 6). Los minerales máficos primarios son alterados a clorita (Figura 18 B) y los cristales de plagioclasa a illita y/o sericita.

La composición magnésica de la clorita, ha sido confirmada utilizando un espectrómetro portable-PIMA y a partir de observaciones petrográficas (la clorita magnésica presenta colores de interferencia pardos, a diferencia de la clorita más férrica que presenta un color de interferencia azul berlín). La presencia de carbonatos ha sido detectada por la fuerte efervescencia con *HCl* en las rocas afectadas por esta alteración hidrotermal.

La asociación clorita-illita-carbonatos predomina en la parte más somera de los depósitos porfídicos *Au-Cu* Luciano Norte y Úrsula (Figura 18 D), gradando hacia un dominio clorítico a medida que se profundiza en el sistema (Figura 18 C). La clorita ocurre de forma selectiva, reemplazando cristales de biotita y hornblenda primaria y a escasa biotita hidrotermal, diseminada, en cúmulos y en parches (Figura 18 C). El reemplazo de biotita hidrotermal por clorita sugeriría un episodio de alteración propilítica retrógrado, que se sobrepondría a la alteración propilítica I y potásica (de intensidad débil). Sin, embargo no existen evidencias suficientes para corroborar esta hipótesis.

En menor proporción y de forma localizada se desarrolla sericita, que afecta principalmente a rocas con fuertes efectos de alteración potásica ($IA = 3 a 5$) como reemplazo de plagioclasas y feldespato potásico (Figura 18 E). Zonas de alteración

con sericita se observan en profundidad al *NW* del depósito porfídico *Au – Cu* Luciano (*NW* de la sección AA´; Figura 15). La alteración a sericita indicaría una temperatura de formación mayor que la de la asociación clorita-illita y un *pH* menor del fluido.

Esta asociación de alteración presenta su mayor predominio en el sector de Luciano Norte en rocas de las unidades Pórfido Diorítico II, III y cuerpos de brechas; y en Úrsula en las Unidades Preminerales y en la masa fundamental de la Brecha Intrusiva alterada (Figura 16 y 17). En el sector de Luciano la alteración propilítica I se observa hacia los bordes marcando el límite del sistema y vetillas de cuarzo, (*SE* en la sección AA´; Figura 15).

Junto a la asociación de alteración propilítica I se desarrollarían las vetillas bandeadas de cuarzo.

Vetillas de cuarzo bandeadas

Las vetillas bandeadas de cuarzo del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* corresponden a las definidas por Muntean & Einaudi (2000 y 2001) para los depósitos Cerro Casale, Refugio y La Pepa. Se componen de cuarzo fino con textura granular (Figura 19 I) que forma bandas de color gris oscuro, que se producen como pares simétricos cerca de las paredes de las vetillas, con escasa mineralización de calcopirita, bornita, esfalerita de tamaño de micrones encapsulado en cuarzo. De acuerdo a Muntean & Einaudi (2000) la coloración oscura de las bandas se debe a un alto contenido de inclusiones fluidas ricas en vapor y granos de magnetita de tamaño de micrómetros. Estas vetillas presentan espesores de unos pocos milímetros a unos pocos centímetros. Las paredes suelen ser ligeramente onduladas y no presentan halos de alteración

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano las vetillas bandeadas de cuarzo no se observan formando arreglos polidireccionales, más bien, se les encuentra en arreglos subparalelos aislados en la parte más alta de los depósitos Luciano Norte y Úrsula, representando un volumen de vetillas < 5% con una ocurrencia intermitente y local en testigos de sondajes. Por lo que su aporte a la mineralización de oro en predomios de alteración propilítica no sería significativo.

Las vetillas de cuarzo bandeadas corresponderían a la expresión más superficial de las vetillas de cuarzo A (Muntean & Einaudi, 2000 y 2001) y transicionales bandeadas, las cuales se desarrollarían en un ambiente somero, de alta presión hidráulica y baja presión confinante en condiciones plásticas.

En otros depósitos auríferos de la Franja de Maricunga, tales como Cerro Casale, La Coipa, Lobo, Marte, Santa Cecilia y depósitos del Distrito Refugio, parte importante de la mineralización de oro se atribuye a este tipo de vetillas (Muntean, 1998; Vila & Sillitoe, 1991; Muntean & Einaudi, 2000 y 2001).

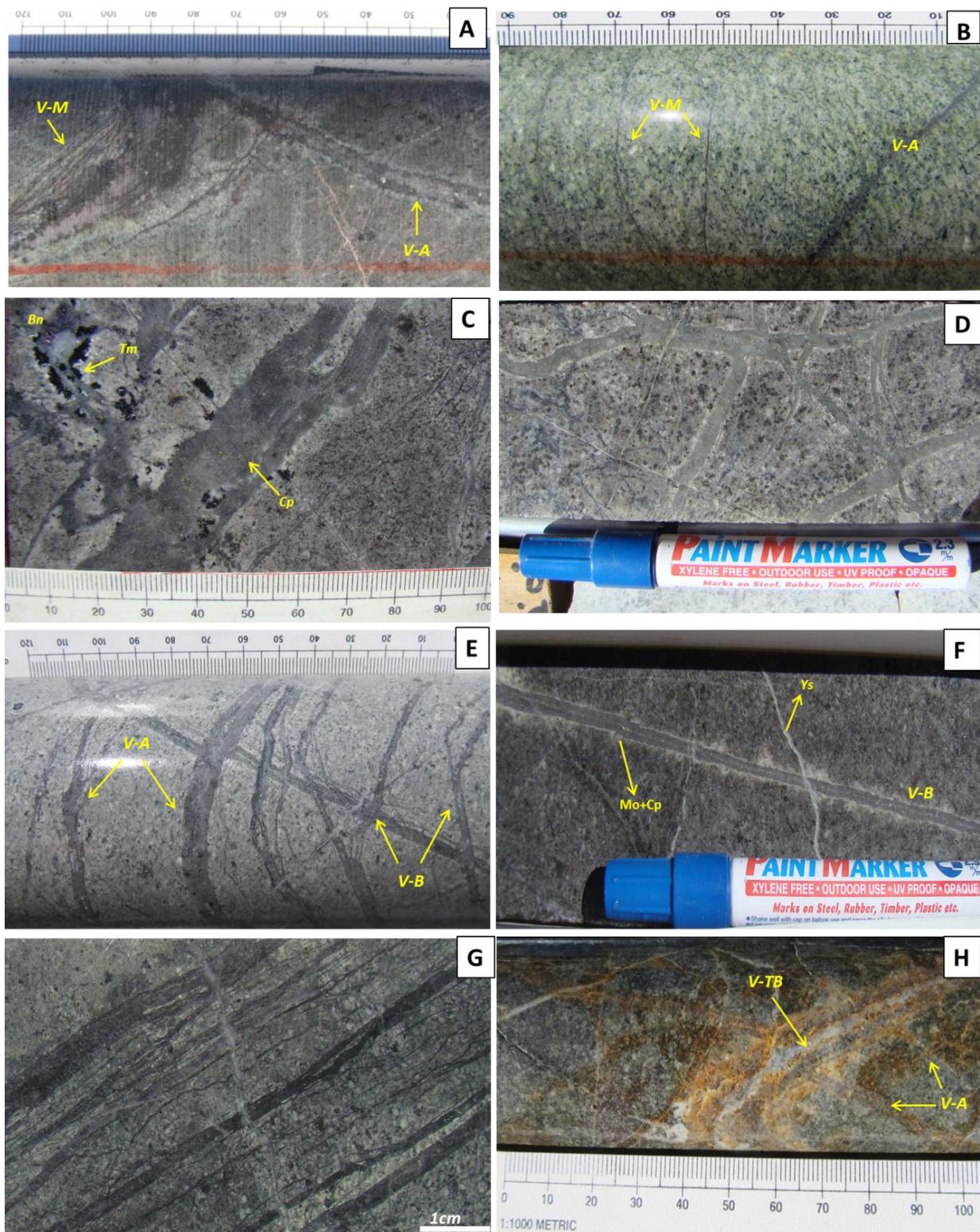


Figura 19. Estilos de vetillas en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-H). A. Vetillas M y A (V-M y V-A) en Pórfido Diorítico I con efectos de alteración potásica biotítica; sondaje DDH – LUC – 018,419.94 m. B. Vetillas M y A (V-M y V-A) en roca del Complejo Andesítico Juanes (CAJ) afectado por alteración clorita- illita-calcita; sondaje DDH – LUN – 005,270.25 m. C. Vetilla A de cuarzo con calcopirita y bornita (Cp y Bn) diseminada en Pórfido Diorítico I. Hacia los bordes se observa turmalina (Tm) asociada a un evento más tardío; sondaje DDH – LUC – 018,361.98 m. Resto de las referencias en página siguiente.

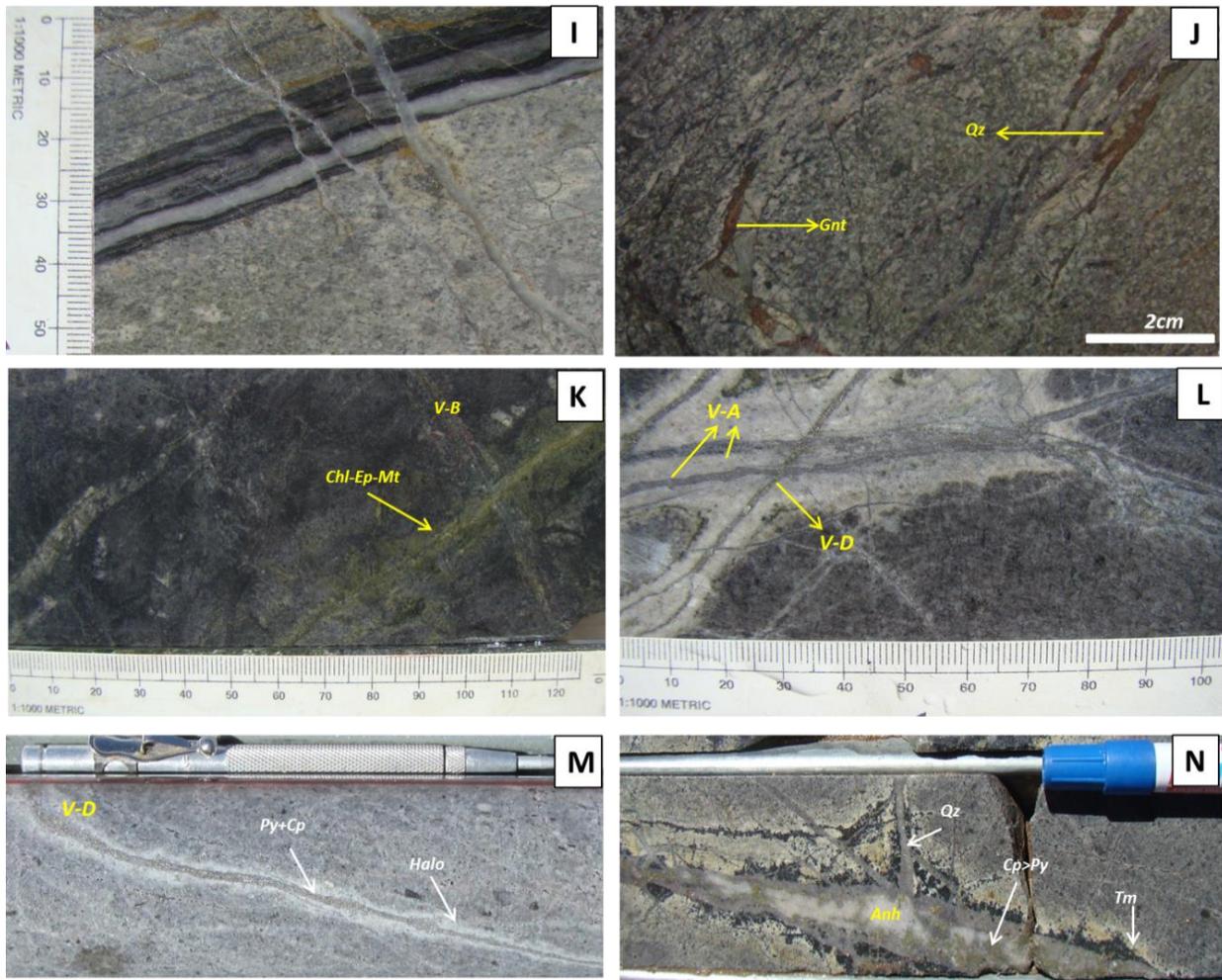


Figura19. Estilos de vetillas en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-N). D. Enrejado (stockwork) de vetillas A en Pórfido Diorítico I con alteración potásica feldespática; DDH – LUC – 004, 445.9 m. E. Arreglo de vetillas A y B (V-A y V-B). En la fotografía se observa que las vetillas B cortan a las A en Pórfido Diorítico III con alteración potásica y propilítica I; sondaje DDH – LUN – 003,392.88 m, F. Vetilla B con trazas de molibdenita (Mb) y calcopirita (Cp) en sutura central en roca de CAJ. Hacia los bordes de las vetillas se observa feldespato potásico posterior a la formación de la vetilla; sondaje DDH – LUC – 026,293 m. G. Arreglo subparalelo (sheeted veins) de vetillas transicionales bandeadas en roca del Complejo Andesítico Autobrechizado (CAA) con alteración propilítica y potásica; sondaje DDH – LUN – 003,260 m. H. Vetilla transicional bandeada (V-TB) cortando a vetillas A (V-A) en roca del CAJ con alteración potásica y fuerte oxidación; sondaje DDH – LUC – 008,142.20 m. I. Vetilla bandeada cortando a Brecha Freatomagmática en dominio de alteración propilítica I. En la fotografía se observan las bandas de cuarzo-magnetita bien desarrolladas; sondaje DDH – LUN – 005. J. Vetillas de granate con halo de alteración de albita en roca del CAJ afectada por asociación de alteración sódico-férrica. La vetilla de granate es cortada por vetillas de cuarzo tempranas; sondaje DDH – LUN – 004,158.6 m. K. Vetilla de clorita-epidota-magnetita en toba andesítica con abundante magnetita secundaria. Se observa esta vetilla siendo cortada por otra vetilla tipo B; sondaje DDH – LUC – 005.L. Vetilla D (V-D), compuesta de calcopirita y menor cuarzo, cortando arreglo paralelo de vetillas A (V-A); DDH – LUC – 026, 277.1 m. M. Vetilla D (V-D) de piritita (Py) y calcopirita (Cp) con halo de alteración de clorita-illita en Pórfido Diorítico I, afectado por alteración potásica; sondaje DDH – LUC – 023,537.7 m. N. Vetilla B de cuarzo (Qz) reutilizada, en la cual ha precipitado turmalina (tm), calcopirita (Cp), piritita(Py) y anhidrita(Anh) producto de un evento de alteración tardío en Pórfido Diorítico II; sondaje DDH – LUC – 10,614.13 m.

8.2.3 Alteración sódico-férrica

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano la asociación de alteración sódico-férrica se conforma de albita, magnetita (hematita), actinolita, clorita, granate, piroxenos, entre otros (Tabla 6). Esta alteración recibe el nombre ‘sódico-férrica’ debido a su similitud con la asociación de alteración de magnetita, actinolita y plagioclasa sódica descrita por Arancibia & Clark (1996) para el pórfido *Au – Cu – Mo* Island Copper en la Isla de Vancouver. Sin embargo, a diferencia de la alteración sódico-férrica del pórfido *Au – Cu – Mo* Island Copper, con la que se da inicio a los eventos hidrotermales del sistema (alteración *pre*-potásica), la del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se superpone a la alteración potásica y propilítica I. Este hecho se evidencia a partir de observaciones de vetillas de granate con halos de alteración de albita que se superponen a biotita hidrotermal, además de albita en equilibrio con cristales de diópsido y actinolita que reemplaza a cristales de feldespato potásico.

La albita ha sido observada como reemplazando cristales de plagioclasa y feldespato potásico a través de bordes y microfracturas (Figura 18 F). La albita hidrotermal generalmente se presenta como pequeños (microscópicos) cristales tabulares, sin maclas, que tienen ángulo de extinción casi recto. En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano las intensidades de albitización oscilan de débil a fuerte ($IA = 2 - 4$). Las rocas del sector de Luciano, y en particular las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I presentan fuertes efectos de albitización, lo cual parece incrementar hacia la profundidad del pórfido *Au – Cu* Luciano.

Cristales de magnetita se encuentran asociados a cristales de plagioclasa albitizados, cristales de hematita y magnetita reemplazada por hematita (martitización). Se distingue una menor proporción de cristales de hematita e ilmenita, en textura de laminillas, por lo que podría tratarse de hematita titanífera (el titanio se introduce como solución sólida en la hematita). Sin embargo, la martitización no es exclusiva de esta alteración, sino que también se desarrolla junto a la alteración propilítica.

Cristales de diópsido producto de metasomatismo hidrotermal se han observado asociados a agregados de feldespato potásico, magnetita, clorita plagioclasa albitizada y entre microfracturas de plagioclasa albitizada, lo que denota un equilibrio (Figura 18 F).

Granate y epidota ocurren mayormente en vetillas de granate y magnetita-epidota-clorita (ver descripción de vetillas de granate y clorita-epidota-magnetita; Figura 19 J y K). Cristales anhedrales a subhedrales de epidota se encuentran de manera intersticial en la masa fundamental de las unidades intrusivas asociados a clorita y magnetita hidrotermal (Figura 18 H). Cristales de hornblenda y piroxenos han sido reemplazados parcialmente por actinolita asociados con minerales de alteración sódico-férrica (Figura 18 G; Tabla 6). Clorita magnésica se encuentra asociada con actinolita, magnetita, epidota, granate (Figura 18 H), la cual reemplaza de manera selectiva a cristales finos y agregados de biotita hidrotermal, la cual se presenta en cantidades variables (Tabla 6).

Esta asociación de alteración se observa en el sector de Luciano y en Luciano Norte (Figura 15 y 16) sobreimpuesta a dominios de alteración potásica y propilítica I en rocas intrusivas del Complejo Andesítico Juanes, y de la unidad Pórfido Diorítico I y II. En el sector de Úrsula solo se han identificado fragmentos de la Brecha Intrusiva alterada con efectos de albitización y cristales de diópsido hidrotermal.

La asociación con granate y diópsido sugiere temperaturas de ~600 – 700°. Esta asociación no es común en pórfidos, sin embargo, asociaciones con granate han sido identificadas en otros depósitos de la Franja de Maricunga, como en el Distrito Refugio (Muntean & Einaudo, 2000) y otros depósitos del Distrito Minero Casale.

Vetillas de granate

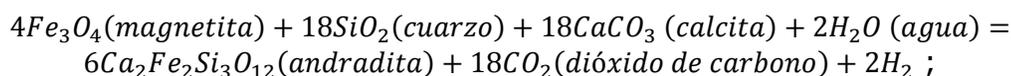
Dentro del Distrito Minero Casale se observa la presencia de granate como mineral de alteración en los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte, Eva, Román, Jotabeche, Anfiteatro y Estrella.

En el área de estudio la presencia de granate se observa en rocas intrusivas del sector de Luciano y Luciano Norte correspondientes a las unidades Complejo Andesítico Juanes, Complejo Andesítico Autobrechizado y Pórfido Diorítico I.

El granate ocurre de manera local en vetillas irregulares y discontinuas (espesores 2 – 5 mm; Figura 19 J) y brechizaciones. En las vetillas de granate la asociación mineral observada (microscópico y macroscópico) se conforma de granate andradítico, epidota, calcita, diópsido, óxidos de *Fe – Ti*, actinolita y halos de albita que se sobreimponen a biotita hidrotermal.

Estas vetillas son cortadas por vetillas de cuarzo tempranas (A, transicionales bandeadas y bandeadas) y se sobreimponen a la alteración de biotita hidrotermal, lo que evidencia la temporalidad de la alteración sodico-férrica. Esta se produciría posterior a la formación de alteración potásica y propilítica I y previo a la formación de las vetillas de cuarzo tempranas.

En la Franja de Maricunga asociaciones con granate han sido descritas anteriormente por Rodríguez et al. (1997) y Muntean & Einaudi (2000) para el Distrito Refugio. Estos últimos autores proponen que la formación de granate andradítico, en zonas de alteración de asociación clorita-albita-magnetita se formaría durante el enfriamiento de fluidos hidrotermales, en donde estos, a temperaturas relativamente bajas y en equilibrio con cuarzo + magnetita + calcita pueden ser calentados por intrusiones conduciendo a la reacción (Einaudi, 1982):



Vetillas de clorita-epidota-magnetita

De manera muy local y aislada se desarrollan vetillas de clorita-epidota-magnetita, las cuales no corresponden a un estilo de vetillas representativo dentro del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Estas vetillas se observan en testigos de sondajes con un volumen de magnetita secundaria $\geq 10\%$, que afecta principalmente a Unidades Preminerales como Conglomerados y el Complejo Andesítico Juanes, además de la unidad Pórfido Diorítico I (Figura 19 K).

Un volumen de vetillas $< 5\%$ y una desidad de $3 - 5 v/m$, de manera intermitente, se presenta en el sector *SE* del depósito Luciano (*SE* de la sección AA´; Figura 15) en los sondajes *DDH – LUC – 022,023* y de manera local en el 017.

8.2.4 Otras alteraciones y estilos de vetillas

Vetillas D

Asociado a zonas con predominio de sericita se desarrollan escasas vetillas D (volumen de vetillas $< 10\%$), las cuales presentan algunas similitudes a las definidas por Gustafson & Hunt (1975) y Muntean & Einaudi (2001). Las vetillas D son continuas, más o menos rectas y de unos pocos milímetros ($\leq 5 mm$) compuestas de pirita y/o calcopirita, generalmente con halos de sericita-clorita \pm illita o sericita (Figura 19 L y M).

Las vetillas D son las más tardías en la evolución magmático-hidrotermal del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano y cortan al resto de las vetillas descritas anteriormente. Estas vetillas no guardan relación con ninguna de las alteraciones descritas anteriormente. El desarrollo de vetillas D claramente corresponden a un evento más tardío, ya que el halo sericítico de estas vetillas se superpone tanto a asociaciones de alteración potásica y propilítica. Estas vetillas son las débiles representantes de la alteración filica que no se desarrolló en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III presenta la mayor proporción de estas vetillas y en menor medida las rocas de la unidad Pórfido Diorítico II y algunos cuerpos de brechas.

Alteración Propilítica II

La asociación de alteración principal se encuentra conformada por clorita, epidota, carbonatos, magnetita y pirita en cantidades variables, similar a las descrita por Corbett & Leach (1998) y Sillitoe (2010); (Tabla 6).

La alteración se caracteriza por el reemplazo de minerales máficos por clorita, epidota y magnetita hidrotermal. A esta alteración solo se asocian escasas vetillas de pirita y de epidota que no representan ni un volumen ni densidad importante de vetillas dentro del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

La alteración propilítica representa el halo periférico de menor temperatura de cada uno de los sistemas porfídicos del *cluster* y define el límite de vetillas de cuarzo y los límites externos de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula (Figura 15, 16 y 17).

Alteración Argílica

Esta asociación está conformada por caolinita supérgena producto de la alteración de plagioclasas (Figura 18 J), la cual se desarrolla en la parte alta de los sistemas porfídicos en estudio. Se observa de manera local en el sector de Luciano Norte y Úrsula, en los primeros metros de los sondajes *DDH – LUN – 003*, *DDH – LUN – 001*, *DDH – URS – 004*, *DDH – URS – 001* y *DDH – URS – 003* (Figura 16 y 17).

Asociado a caolinita ocurren trazas de hidróxidos y óxidos de hierro (producto de la destrucción de magnetita) (Figura 18 I). En forma escasa ocurren trazas de óxidos de cobre asociadas a zonas de fracturas locales.

La intensidad de la alteración argílica es muy débil en rocas de la unidad Pórfido Diorítico I ($IA = 1$), mientras que en rocas de la unidad Pórfido Diorítico II y III, Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado la alteración es más fuerte ($IA = 3 a 4$) y presenta una mayor extensión (Figura 16 y 17). La intensidad de alteración es moderada ($IA = 2 a 3$) en el sector de Luciano Norte y moderada a fuerte ($IA = 3 a 5$) en el sector de Úrsula.

Silicificación

Silicificación de intensidad moderada ($IA = 2$) solo se presenta en el sector de Úrsula y algunos cuerpos de Brechas Intrusivas alteradas y Magmáticas-hidrotermales.

La precipitación de cuarzo hidrotermal de baja temperatura (10 – 20 %) correspondería a un evento tardío en la evolución hidrotermal de los sistemas porfídicos en estudio. En el sector de Úrsula se presentan cristales de cuarzo precipitados en la masa fundamental de las rocas de la unidad Pórfido Diorítico III y Complejo Andesítico Autobrechizado, además de la masa fundamental de la Brecha Intrusiva alterada donde ocurre como vetillas y parches.

Este evento hidrotermal se reconoce macroscópicamente como microscópicamente en los sondajes *DDH – URS – 003* y *004* del sector de Úrsula, superponiéndose al resto de las asociaciones minerales de alteración (Figura 17).

Turmalinización y anhidrita

Efectos de turmalinización y precipitación de anhidrita ($\leq 10\%$) ocurren de forma prominente en vetillas, como relleno en la matriz de Brechas Magmáticas-hidrotermales e Intrusivas alteradas.

En los depósitos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula la turmalina se considera un mineral de alteración asociado a etapas tardías de la alteración y mineralización. Esta se encuentra habitualmente asociado a eventos fílicos (Sillitoe, 2010), por lo que podría existir una relación espacial y temporal entre la formación de vetillas D (típicamente con pirita y calcopirita) y la precipitación de turmalina.

De manera local y no representativo, en el depósito porfídico *Au – Cu* Luciano se observan vetillas más o menos rectas de cuarzo, calcopirita, anhidrita (o yeso) y pirita, con bordes de turmalina con o sin clorita, feldespato potásico o arcillas. Este evento se ha definido como una reutilización de vetillas de cuarzo tipo B y/o posiblemente tipo D por un fluido hidrotermal más tardío, del cual precipita turmalina, anhidrita y posiblemente pirita hacia los bordes de estas (Figura 19 N).

8.3 MINERALIZACIÓN

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano la mineralización metálica hipógena se compone de oro, sulfuros de cobre, zinc, plomo y hierro principalmente. La mineralización metálica se encuentra genéticamente relacionada a un estilo de vetillas y alteración hidrotermal en específico. No se identifica mineralización metálica supérgena.

La mineralización de oro se asocia a alteración potásica y propilítica I, sulfuros de cobre, zinc y plomo, además de zonas de vetillas de cuarzo A, B y transicionales bandeada y cuerpos de brechas (Tabla 7).

8.3.1 Mineralogía Sulfurada

La mineralogía sulfurada en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano corresponde a calcopirita, bornita, calcosina-digenita, pirita, galena, esfalerita, molibdenita y tenantita, los que se distribuyen de manera diseminada y en distintos estilos de vetillas con un volumen máximo promedio $\leq 5\%$.

Mineralogía sulfurada en asociación de alteración potásica

En los dominios de alteración de asociación potásica la mineralización principal está conformada por calcopirita, bornita, digenita (calcosina), galena y menor proporción de pirita y esfalerita (Tabla 7).

La mineralización de cobre consiste en finos cristales de calcopirita y bornita que ocurren diseminados y en vetillas asociados principalmente a magnetita y titanomagnetita/ilmenita las que se encuentran diseminadas (Figura 20 A; Tabla 7). Además, se observan texturas de exsolución de bornita–calcosina/digenita (textura de retículo); (Figura 20 B), exsolución de bornita-calcopirita y reemplazo de calcopirita por bornita. Los cristales de bornita son más abundantes a medida que se profundiza en el sistema y aumenta la intensidad de la alteración potásica. Un alcance con respecto a la mineralización de calcopirita, es que no solo se formaría junto a minerales de asociación de alteración potásica, sino que también habría formación de este sulfuro de manera distal al núcleo potásico junto a minerales de alteración propilítica I en una proporción menor.

Cristales de pirita anhedral (Tabla 7) se observan asociados a sulfuros de cobre y magnetita hidrotermal (Figura 20 D) los que ocurren diseminados y en vetillas de cuarzo A y B, vetillas M y de cuarzo transicionales bandeadas. En algunos casos se observa pirita reemplazada por calcopirita en fracturas.

Otro sulfuro asociado a minerales de alteración potásica y en menor medida propilítica es la galena. Esta ocurre diseminada en la masa fundamental de Unidades Porfídicas y vetillas de cuarzo y se ha observado en equilibrio con calcopirita y bornita principalmente (Figura 20 C).

En vetillas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas, se observan finos cristales de calcopirita y bornita. Las vetillas de cuarzo A son las que presentan un mayor contenido de bornita, mientras que en las vetillas de cuarzo B y las transicionales bandeadas es más abundante la calcopirita y solo presentan trazas de bornita. También es posible distinguir escasa pirita en estas vetillas, la cual incrementa en zonas donde la alteración potásica varía gradualmente hacia asociaciones de alteración propilítica.

El análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) de una vetilla de cuarzo A y una vetilla transicional bandeada corrobora la presencia de calcopirita, bornita y galena diseminadas en predominio de alteración potásica (Anexo B).

La molibdenita solo ocurre a nivel de traza, asociado a vetillas de cuarzo B en las cuales la molibdenita ocurre en la sutura o en los márgenes de estas.

En la zona de transición entre asociación de alteración potásica a propilítica I, se conserva en parte la mineralización de asociación de alteración potásica.

Tabla 7. Mineralización sulfurada y de oro en el *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano según la alteración hidrotermal. Descripción de la alteración hidrotermal en Tabla 6.

| Asociación de alteración hidrotermal | Asociación sulfurada principal (% promedio, tamaño promedio, hábito) ¹ | Mineralización de oro | Tamaño promedio de las partículas de Au (% Promedio de abundancia) ² | Mineralogía asociada al oro (tamaño promedio) ² |
|--------------------------------------|---|--|--|---|
| Potásica | Calcopirita ($\leq 2\%$, $\leq 200\ \mu\text{m}$, anhedral a subhedral) + bornita ($\leq 0.5\%$, $\leq 50\ \mu\text{m}$, anhedral a subhedral) + calcosina (trazas, $\leq 50\ \mu\text{m}$) + galena ($< 3\%$, $\leq 15\ \mu\text{m}$, anhedral) \pm pirita ($< 1\%$, $\leq 20\ \mu\text{m}$, anhedral) \pm esfalerita (traza, $>100\ \mu\text{m}$) | Si se asocia | 5-10 μm (35%) 10-20 μm (55%) 20-10 μm (10%) | Au ocluido en calcopirita y bornita ($<5\text{-}10\ \mu\text{m}$); Au libre, asociado con galena ($<20\text{-}30$); asociado con óxidos de Fe y calcopirita ($<10\ \mu\text{m}$). |
| Propilítica I | Pirita ($\leq 4\%$, $\leq 100\ \mu\text{m}$, euhedral a subhedral) + esfalerita ($\leq 2\%$, $\leq 100\ \mu\text{m}$) + galena ($<2\%$, $\leq 15\ \mu\text{m}$, anhedral) \pm tenantita ($\leq 1\%$, $\leq 15\ \mu\text{m}$, hasta $150\ \mu\text{m}$) \pm rutilo (trazas, $<20\ \mu\text{m}$) | Si se asocia | $<5\text{-}10\ \mu\text{m}$ (70%) 10-20 μm (30%) | Au ocluido y libre asociado con esfalerita ($\leq 5\text{-}10\ \mu\text{m}$); Au libre asociado con calcopirita, pirita y óxidos de Fe ($<10\ \mu\text{m}$); Au libre, asociado con galena ($<20\ \mu\text{m}$) |
| Sódico-férrica | Calcopirita \pm bornita \pm galena \pm pirita \pm esfalerita (poco clara ³ , similares a los de la alteración potásica). | No se asociaría. Sin embargo es poco claro. ³ | | |
| Propilítica II | Pirita (4-5%, euhedral a subhedral) \pm esfalerita \pm galena (galena + esfalerita $<5\%$) | No se asocia | | |
| Argílica | No se asocia mineralización sulfurada | No se asocia | | |
| Silicificación | No se asocia mineralización sulfurada | No se asocia | | |

¹ En base a descripciones macroscópicas y microscópicas (Anexo E).

² Determinado a partir de análisis TMS (QEMSCAN) y calcografía (Anexo B y E)

³ Ya que se sobreimpone a la alteración potásica y propilítica

Mineralogía sulfurada en asociación de alteración propilítica I

En rocas con predominio de asociación de alteración propilítica I, la mineralización principal corresponde a pirita y esfalerita; menor calcopirita, galena, tenantita; y trazas rutilo (Tabla 7).

La pirita ocurre diseminada y en vetillas milimétricas de este mineral, vetillas de cuarzo transicionales bandeadas y escasas vetillas de cuarzo bandeadas. En rocas de las unidades Pórfido Diorítico II y III, además de la masa fundamental de la Brecha Freatomagmática del sondaje DDH – LUN – 005 y la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula (Figura 16 y 17) se observa un volumen de cristales de pirita subhedrales a euhedrales (cúbicos) $\geq 4\%$ de mayor tamaño que a los escasos observados como parte de la asociación potásica (Tabla 7).

A partir de observaciones petrográficas y del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) se determinó que la esfalerita corresponde a la especie mineral rica en zinc y pobre en hierro, lo cual es congruente con la composición magnésica de la clorita (rica en magnesio y pobre en hierro). En dominios de alteración propilítica I la esfalerita se asocia a calcopirita, bornita, magnetita, galena y pirita, formando texturas de exsolución con calcopirita y galena (Figura 29 E), como reemplazo de cristales de calcopirita y pirita, además de cristales individuales de esfalerita. Este mineral se ocurre diseminado en la masa fundamental de unidades intrusivas y brechas, además de vetillas de cuarzo.

La tenantita solo ha sido observada en el sector de Luciano Norte y Úrsula, en cantidades traza, asociada con calcopirita y bornita (Figura 29 G y H). Sin embargo, la precipitación de tenantita ocurriría posterior a la de bornita junto a minerales de asociación propilítica I. La mineralización de sulfuros de *Cu – As* se presenta en una proporción despreciable en estos sistemas, lo cual es soportado por los bajos contenidos de arsénico en los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula ($< 15 \text{ ppm As}$ en promedio).

Mineralogía sulfurada en otras asociaciones de alteración

Dentro de la asociación de alteración sodico-férrica la mineralogía sulfurada correspondería a bajos contenidos de bornita, calcopirita, esfalerita, pirita y galena asociadas a vetillas de granate. Sin embargo, esta asociación sulfurada no es clara, ya que esta alteración se sobreimpone a la potásica y propilítica I en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, impidiendo determinar si la mineralización sulfurada es parte de la asociación sodico-férrica o potásica o propilítica. De igual forma, en el Distrito Minero Refugio, Muntean & Einaudi (2000) han asociado mineralización de bornita, calcopirita, galena y molibdenita en bajas proporciones a la asociación de alteración compuesta por magnetita-clorita-albita, equivalente a la alteración sodico-férrica definida para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. No se asociaría mineralización de oro a la alteración sodico-férrica, evidenciado del mapeo macroscópico de testigos de sondajes en donde zonas con vetillas de granates coincide con mineralización de oro $< 0.2 - 0.3 \text{ ppm Au}$.

La asociación de alteración propilítica II incluye pirita diseminada, además de cantidades menores de galena y esfalerita (Tabla 7).

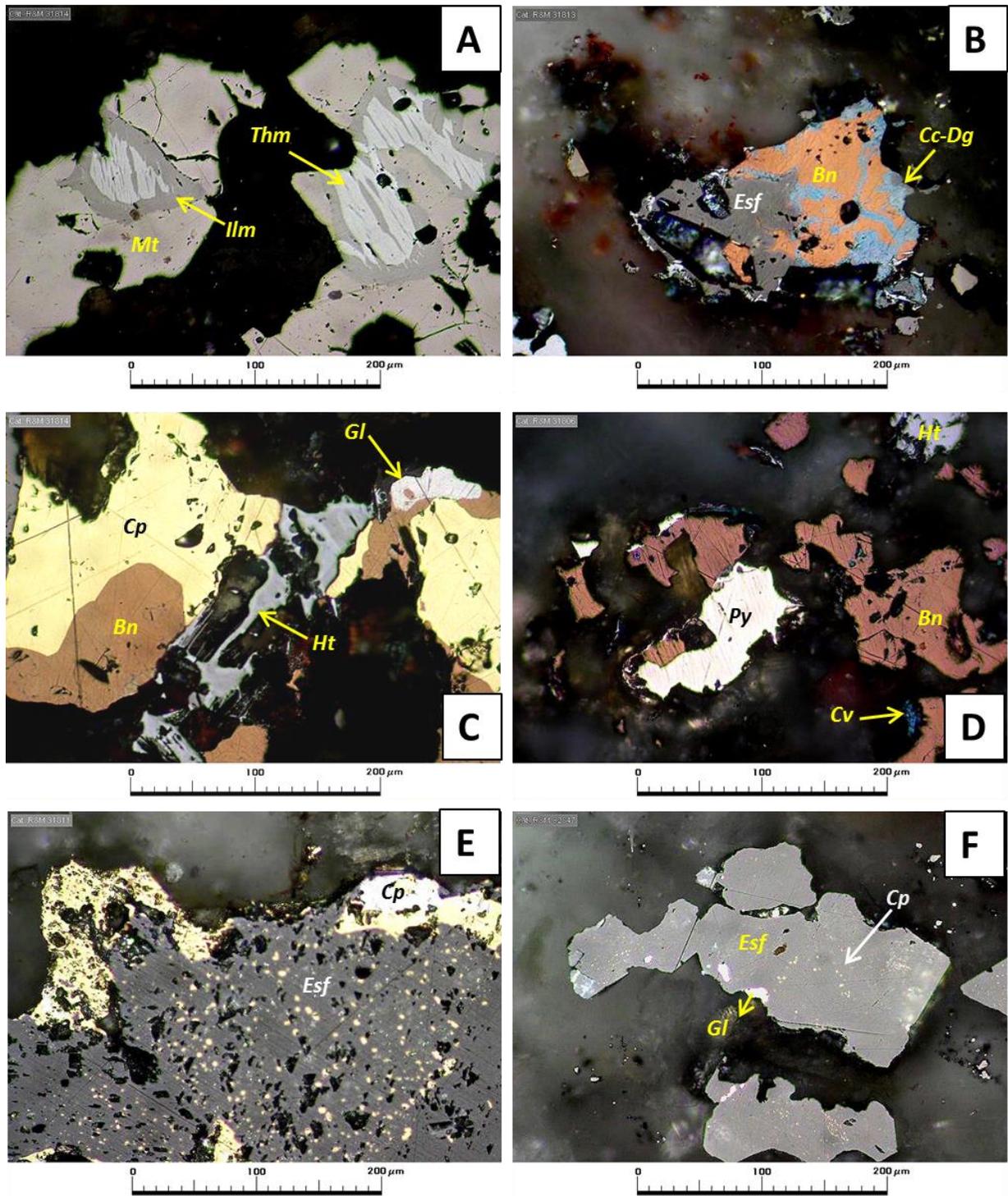


Figura 20. Microfotografías de Mineralogía sulfurada en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-F). Referencias en la siguiente página.

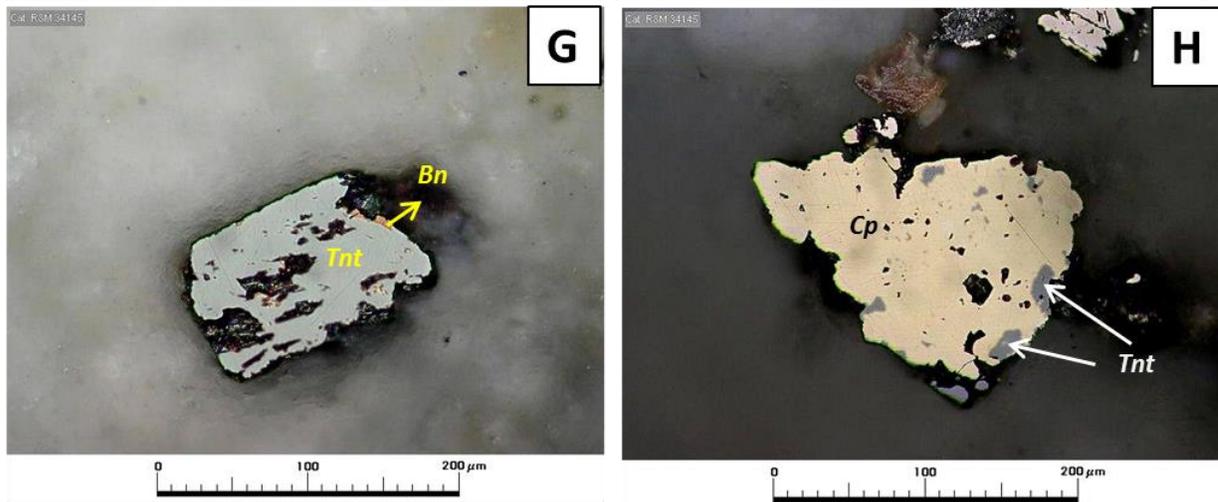


Figura 20. Microfotografías de Mineralogía sulfurada en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-H). A. Óxidos de Fe – Ti hipógenos asociados a Mineralogía Sulfurada, correspondientes a cristales de magnetita (Mt) asociado con hematita titanífera (Thm) con desmezclamientos de ilmenita (Ilm) diseminados en la roca; aumento 320X, nícoles paralelos (NP); sondaje DDH – LUC – 004, 560.4 m. B. Cristal anhedral de bornita (Bn) asociado con calcosina-digenita (Cc-Dg) y esfalerita (Esf) en roca con alteración potásica; aumento 320X; NP; sondaje DDH – LUC – 004, 400.45 m. C. Cristales anhedrales de calcopirita (Cp) y bornita (Bn) en vetillas de cuarzo A asociados con hematita-especularita (Hm) y a un pequeño cristal de galena (Gl) en roca con alteración potásica; aumento 320X, NP; sondaje DDH – LUC – 004, 500.4 m. D. Cristales de bornita (Bn) en contacto compatible (en equilibrio) con pirita (Py). Localmente se observa bornita con trazas de covelina (Cv) y hematita (Ht) en roca afectada por alteración potásica; aumento 320X, NP; sondaje DDH – LUC – 003A, 182.85 m. E. Cristal de esfalerita (Esf) con escasas exsoluciones finas de calcopirita (Cp) y granos de calcopirita en vetilla de cuarzo granular en roca con alteración propilítica I y sódico-férrica; aumento 320X, NP; sondaje DDH – LUC – 004, 193.4 m. F. Exsolución de esfalerita (Esf), pequeños cristales de calcopirita (Cp) y galena (Gl), en vetilla de cuarzo transicional bandeada en roca con efectos de alteración potásica; aumento 320X, NP. En la microfotografía se observa esfalerita pobre en Fe, que bajo nícoles cruzados muestra reflejos internos grisáceos/ azulados. G y H. Cristales de tenantita (Tnt) asociada a bornita (Bn) (posiblemente posterior) y calcopirita (Cp) (posiblemente exolución o calcopirita reemplazando a tenantita) en borde de vetilla transicional bandeada en roca con efectos de alteración propilítica I; sondaje DDH – URS – 001, 320 m. Las microfotografías A-J corresponden a descripciones de otros pozos (fuera de la sección de estudio) (Barrick Reporte Interno).

Mineralización Zn y Pb

Para la determinación de la distribución de esfalerita y galena se construyeron secciones utilizando la razón galena/esfalerita. Los contenidos relativos de galena y esfalerita fueron calculados a partir de los contenidos de Zn y Pb determinados por digestión para los testigos de sondajes (cada 2 m) del área de estudio (Base de datos Interna Barrick).

Para el cálculo del porcentaje de galena y esfalerita se utilizó la hipótesis de que el total de los contenidos de Zn y Pb se asociarían solo a estas fases minerales, y que

no habría incorporación importante de *Zn* y *Pb* como elementos traza en otras fases minerales. Considerando que la galena contiene un 86.6 % de *Pb* y la esfalerita un 64 % de *Zn* se realizaron los siguientes cálculos:

$$\% \text{ galena} = \frac{[Pb \text{ (ppm)}]}{8660}$$

$$\% \text{ esfalerita} = \frac{[Zn \text{ (ppm)}]}{6400}$$

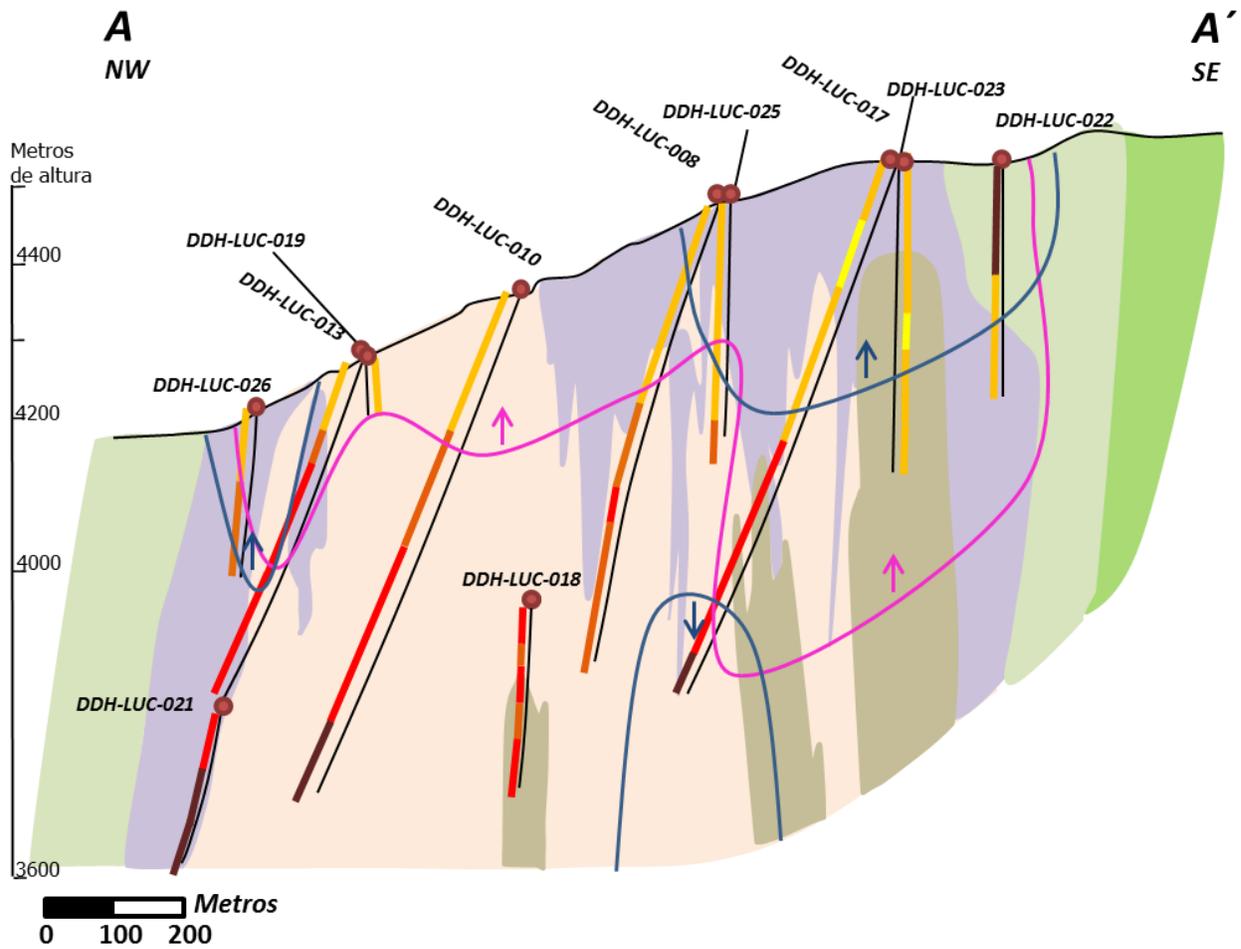
La razón galena/esfalerita se graficó en las secciones AA' del sector de Luciano, BB' del sector de Luciano Norte y CC' del sector de Úrsula (Figura 21, 22 y 23) para determinar la variación de estos sulfuros en la vertical. Por otra parte, los contenidos de *Zn* son mucho más altos a los de *Pb* (100 – 900 ppm para *Zn* y 30 – 90 ppm para *Pb* en promedio) por lo que esta razón reflejaría de mejor forma la variación vertical de estos minerales con respecto a la alteración hidrotermal.

Las secciones de mineralización *Zn – Pb* AA', BB' y CC' (Figura 21, 22 y 23) muestran que los contenidos de *Pb* y *Zn* aumentan en la porción más somera y hacia los bordes o límites de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula. Sin embargo, la razón galena/esfalerita aumenta en profundidad y en dominios de asociación de alteración potásica

El depósito porfídico *Au – Cu* Luciano presenta las mayores razones galena/esfalerita del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, la cual aumenta hacia el NW de la sección AA' y en profundidad coincidente con zonas con fuertes efectos de alteración potásica (*IA* = 3 – 5); (Figura 21).

En el sector de Luciano Norte, la razón galena/esfalerita aumenta hacia el SW de la sección BB' (Figura 22) y en profundidad. Al igual que en el sector de Luciano, en el depósito porfídico *Au – Cu* Luciano Norte la razón galena/esfalerita incrementa junto con la transición de asociación de alteración propilítica I a potásica en profundidad. Al NE de la sección BB' aumentan los efectos de alteración propilítica I, propilítica II y argílica, lo que coincide con menores valores de la razón galena/esfalerita, mientras que un dominio de esfalerita se identifica al SW de la sección BB' asociado a alteración propilítica I y II.

En el sector de Úrsula, las mayores razones de galena/esfalerita coinciden con el cuerpo de Brecha Intrusiva alterada. Este resultado se corrobora con el análisis mineralógico TMS (QEMSCAN), el cual muestra mineralización de galena asociada a los fragmentos de la brecha con efectos de alteración potásica. La razón galena/esfalerita aumenta en profundidad en la transición de una alteración propilítica a una potásica de intensidad débil (*IA* = 1 – 2); (Figura 23).



Mineralización de esfalerita y galena, alteración hidrotermal y simbología

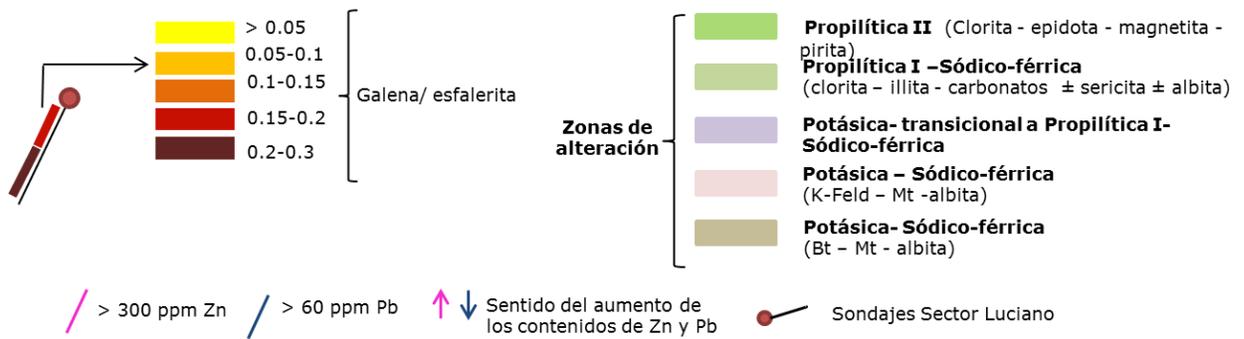
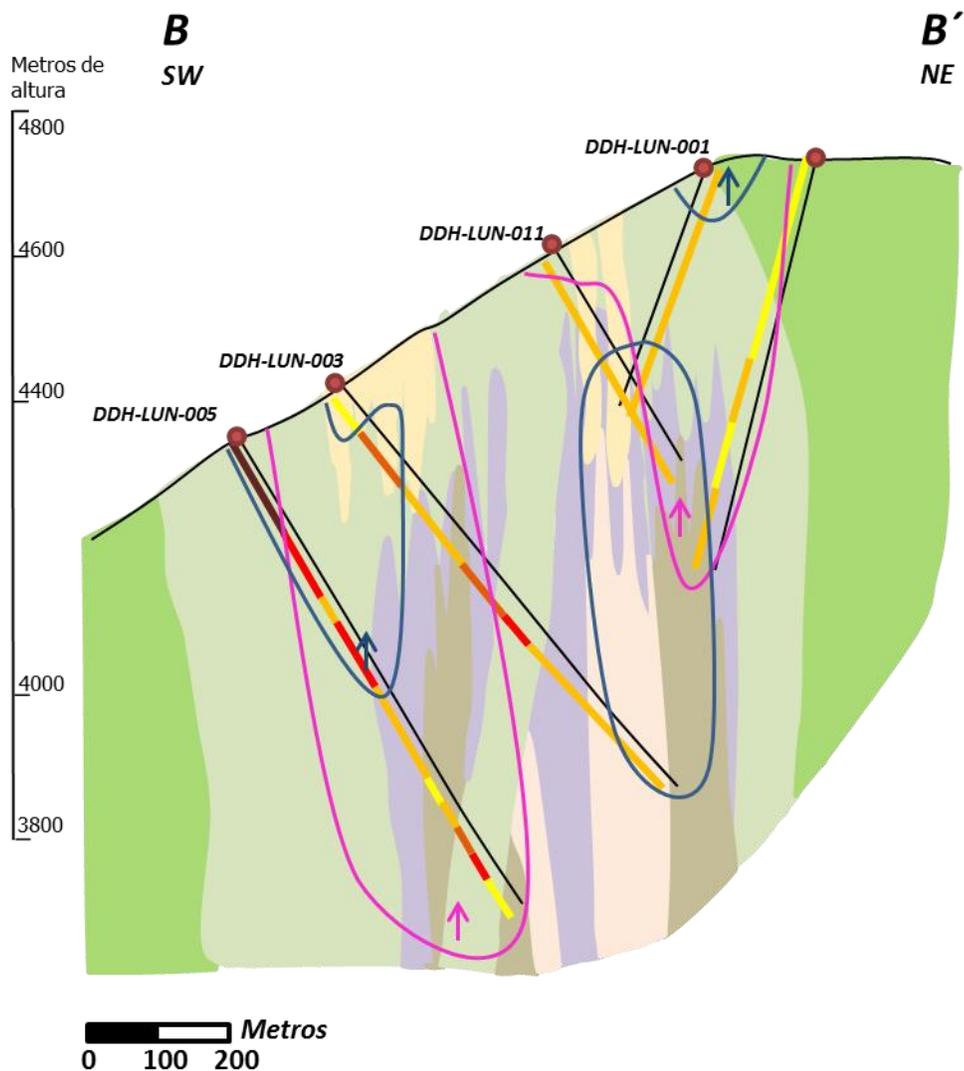


Figura 21. Sección AA' de Mineralización Zn - Pb del sector de Luciano. En la figura la alteración sódico-férrica se superpone a la alteración potásica y propilitica I.



Mineralización de esfalerita y galena, alteración hidrotermal y simbología

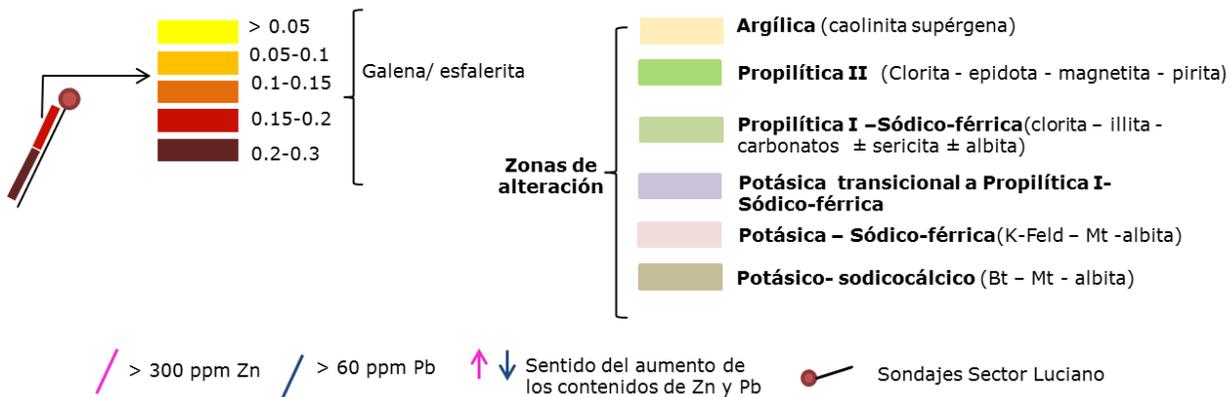
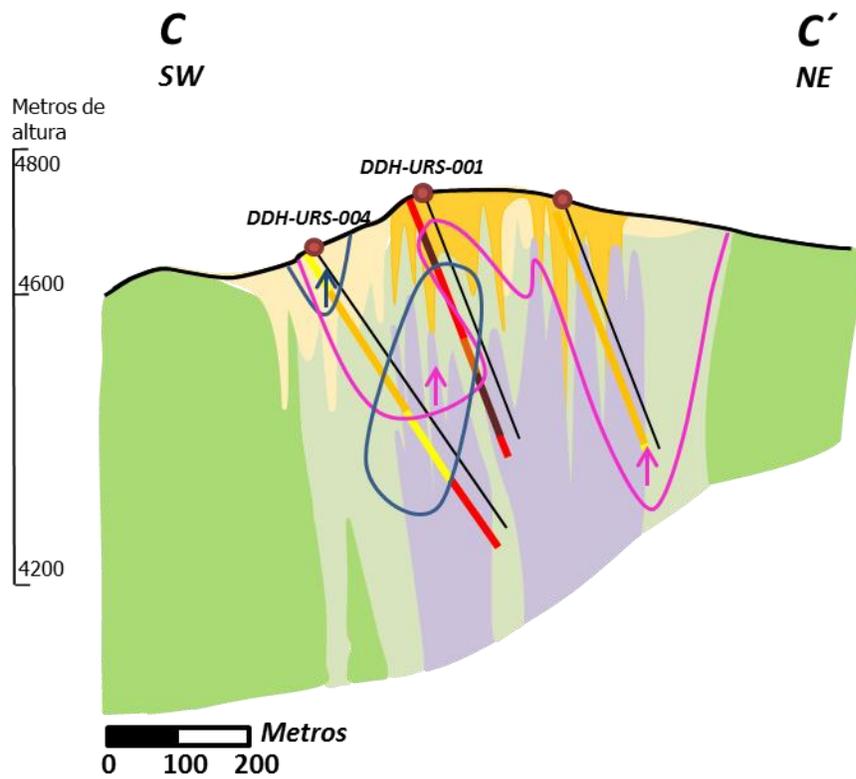


Figura 22. Sección de mineralización BB' Zn – Pb del sector de Luciano Norte. En la figura la alteración sódico-férrica se sobrepone a la alteración potásica y propilítica I.



Mineralización de esfalerita y galena, alteración hidrotermal y simbología

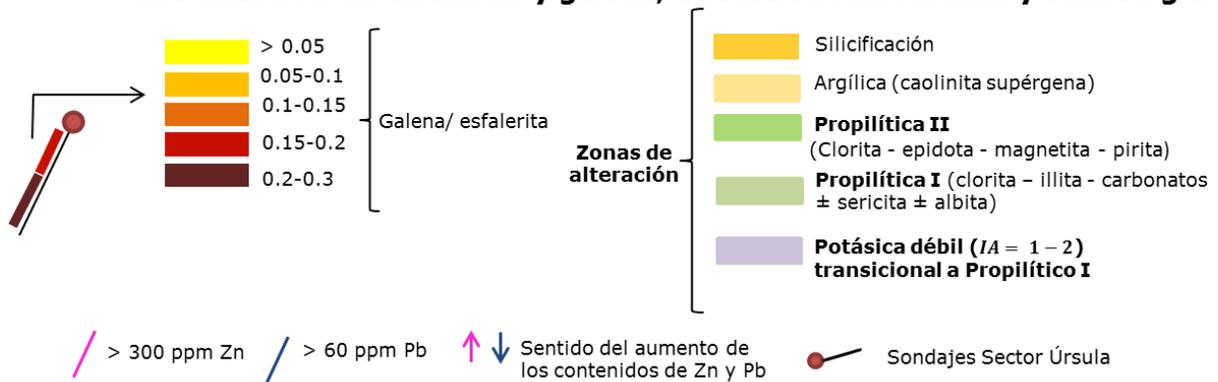


Figura 23. Sección CC' de mineralización Zn - Pb del sector de Úrsula.

8.3.2 Mineralogía del Oro

La mineralogía del oro ha sido observada de manera microscópica en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano y su asociación mineralógica ha sido deducida a partir de los contenidos de oro (metro a metro contrapuesto al mapeo macroscópico de testigos de sondajes y análisis mineralógico TMS (técnica QEMSCAN; Anexo B).

Distribución de la mineralización Au – Cu

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se ha determinado una correlación entre los contenidos de oro y cobre, y la densidad y volumen de vetillas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas. En áreas donde los contenidos de oro son altos ($> 0.5 \text{ ppm}$), las leyes de cobre alcanzan valores que oscilan entre los $0.15 - 0.8 \% \text{ Cu}$, en comparación a zonas no mineralizadas de oro donde los valores de cobre son menores a 0.001% (Figura 15, 16 y 17). Por otra parte, la razón Cu/Au incrementa en zonas con fuertes efectos de alteración potásica ($IA = 3 \text{ a } 5$), susceptibilidad magnética $\geq 100 \text{ unidades SI } \times 10^{-3}$ y mineralización sulfurada.

En el sector de Luciano, los sondajes perforados pertenecientes a las secciones AA', interceptan diversos intervalos mineralizados, con valores promedios que oscilan entre $\leq 2 \text{ ppm Au}$ y $\leq 0.41 \% \text{ Cu}$ en intervalos de $100 - 400 \text{ m}$ en el sector de Luciano (Figura 24, 25 y 26).

En el depósito porfídico *Au – Cu* Luciano, las zonas con mineralización de oro ($> 0.5 \text{ ppm Au}$) se presentan tanto en superficie como en profundidad (Figura 24). Las zonas de alta ley coinciden con zonas de fuerte intensidad de alteración potásica ($IA = 3 \text{ a } 5$; feldespato potásico + biotita + magnetita), además de finas vetillas A y B (centimétricas) que forman arreglos de vetillas polidireccionales y escasas vetillas transicionales bandeadas que se distinguen de manera local en la parte alta de este depósito. La densidad de vetillas alcanza valores promedios de hasta 10 v/m para las de cuarzo A, hasta 20 v/m para las vetillas de cuarzo A y B y $5 - 10 \text{ v/m}$ para las vetillas transicional bandeadas. Hacia el centro del depósito Luciano, en los sondajes *DDH – LUC – 018,008* y *025* se presenta un predominio de vetillas de cuarzo A sobre las B (Figura 24).

El depósito porfídico *Au – Cu* Luciano presenta los mayores contenidos y distribución espacial de bornita del *cluster*, la cual coincide con rocas de la unidad Pórfido Diorítico I y alteración potásica de intensidad fuerte ($IA = 4 \text{ a } 5$); (Figura 15 y 24).

La litología que mayormente hospeda la mineralización de oro corresponde a las unidades Pórfido Diorítico I y II, la Brecha Brecha Intrusiva alterada del sondaje *DDH – LUC – 023* y zonas del Complejo Andesítico Juanes en contacto o cercanas a las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I (Figura 15; Capítulo Alteración Hidrotermal 8.2).

En el sector de Luciano Norte los sondajes perforados pertenecientes al área de estudio (Figura 25) interceptan diversos intervalos mineralizados, con valores promedios que oscilan entre los $\leq 1.5 \text{ ppm Au}$ y $\leq 0.41\% \text{ Cu}$ en intervalos de 150 – 350 m en Luciano Norte

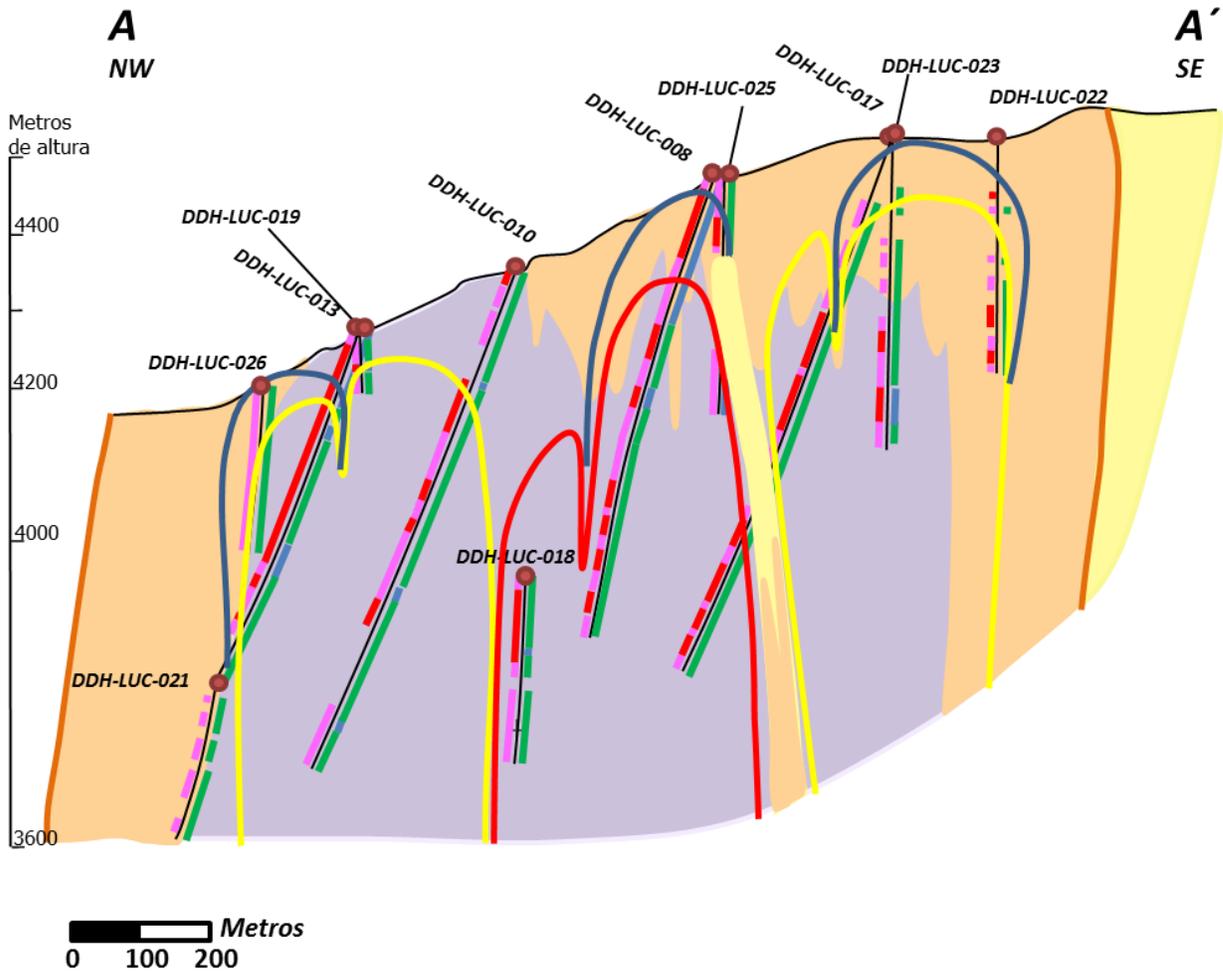
En el pórfido *Au – Cu* Luciano Norte las zonas de mineralización con contenidos de oro mayores a 0.5 ppm coinciden con zonas con efectos de alteración potásica y en menor medida clorítica con el desarrollo de vetillas e cuarzo A, B y un predominio de vetillas de cuarzo transicionales bandeadas en rocas de la unidad Pórfido Diorítico I, la Brecha Intrusiva del sondaje *DDH – LUN – 001* y *011*, en menor medida una Brecha Intrusiva alterada de carácter local y zonas del Complejo Andesítico Juanes en contacto con unidades mineralizadas (Figura 16; Capítulo de Alteración Hidrotermal 8.2). Las zonas con vetillas de cuarzo transicionales bandeadas alcanzan frecuencias de hasta 15 v/m y las zonas con vetillas de cuarzo A y B hasta 10 v/m . Vetillas de cuarzo A y B se observan en todos los testigos de sondajes menos en el pozo *DDH – LUN – 009*, sin embargo en el sondaje *DDH – LUN – 001* y *011* hay un dominio de vetillas transicionales bandeadas (Figura 25).

En el sector de Luciano Norte, existe un predominio de mineralización de calcopirita y pirita. Mineralización de bornita se desarrolla localmente asociada a zonas con efectos de alteración potásica y sectores donde predominan las vetillas de cuarzo tempranas A sobre las B (Figura 25).

En el sector de Úrsula los sondajes perforados pertenecientes a las secciones CC´ (Figura 26) interceptaron diversos intervalos mineralizados, con valores promedios que oscilan entre los $\leq 2 \text{ ppm Au}$ y $\leq 0.22\% \text{ Cu}$ en intervalos de 50 – 250 m en el sector de Úrsula. En el pórfido *Au – Cu* Úrsula las zonas de mineralización mayores a 0.5 ppm Au coinciden con la Brecha Intrusiva alterada y zonas menores, de intervalos de solo unos metros, de rocas del Complejo Andesítico Autobrechizado con arreglos de vetillas de cuarzo A, B y transicionales bandeadas (Figura 17; Capítulo de Alteración Hidrotermal 8.2).

En el sondaje *DDH – URS – 004* se desarrolla una zona de alta ley con valores mayores a 0.7 ppm Au a partir de los 80 m hasta los ~350 m. A partir de los 350 m los contenidos de oro disminuyen abruptamente. Este hecho se relacionaría, a partir de observaciones macroscópicas de los testigos de sondajes, a una disminución de la cantidad de sulfuros de la masa fundamental, así como una disminución de la frecuencia de vetillas de cuarzo en los fragmentos de la brecha, posiblemente relacionado a la intrusión de rocas de la unidad Pórfido Diorítico III que corta la brecha a partir de los ~450 m. Además se observa la incorporación de la unidad Pórfido Diorítico III como parte de la brecha en la zona cercana a los contactos de esta con la Unidad Complejos Andesítico Autobrechizado.

La pirita es el sulfuro dominante en el sector de Úrsula (Figura 26) y ocurre diseminada tanto en la Brecha Intrusiva alterada y en rocas del Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado con efectos de alteración propilítica.



Mineralización sulfuros Au-Cu, vetillas de cuarzo y simbología

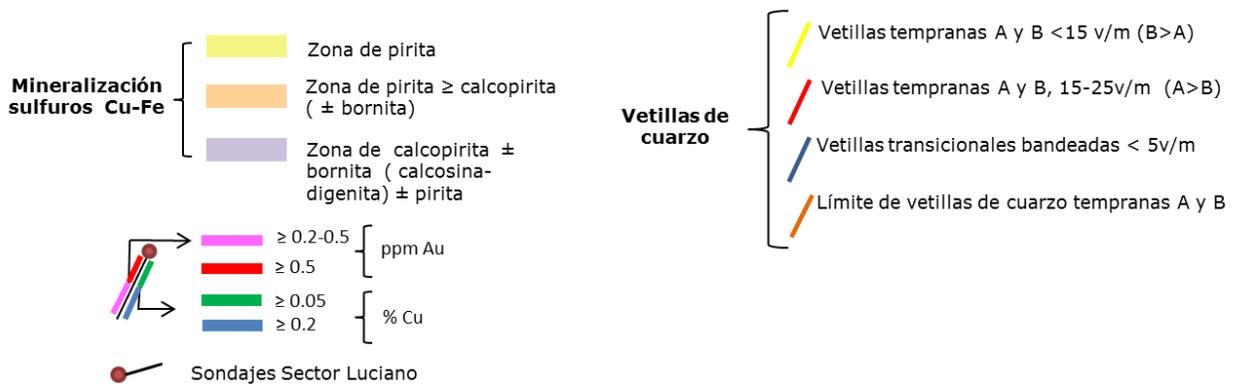
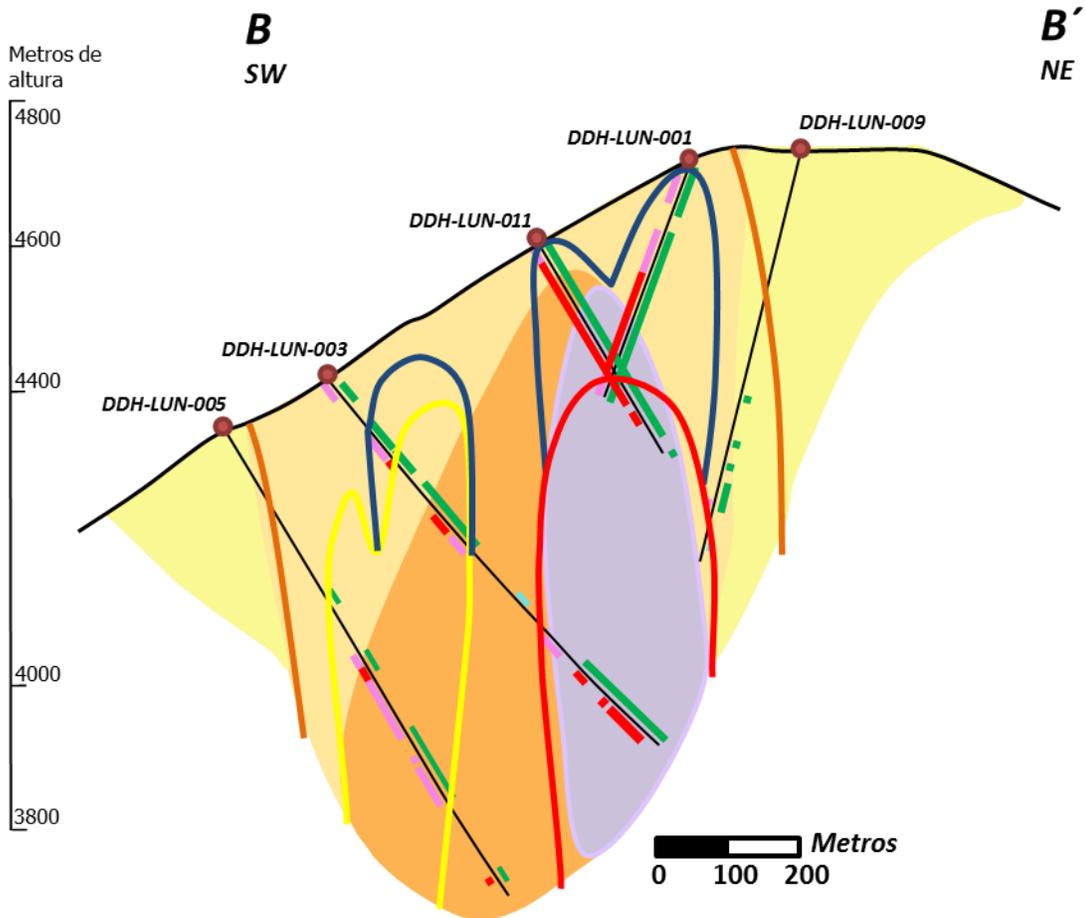


Figura 24. Sección AA' de Mineralización Au – Cu Luciano.



Mineralización Au-Cu, vetillas de cuarzo y simbología

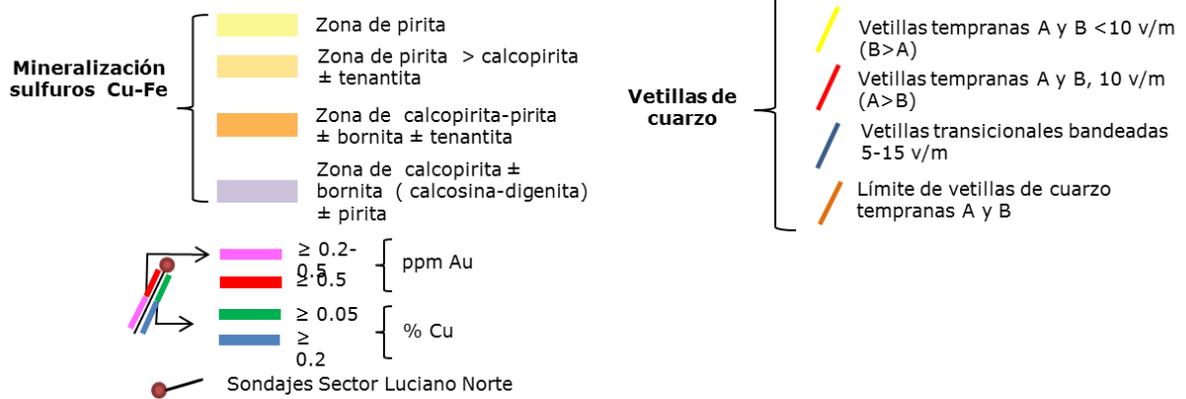
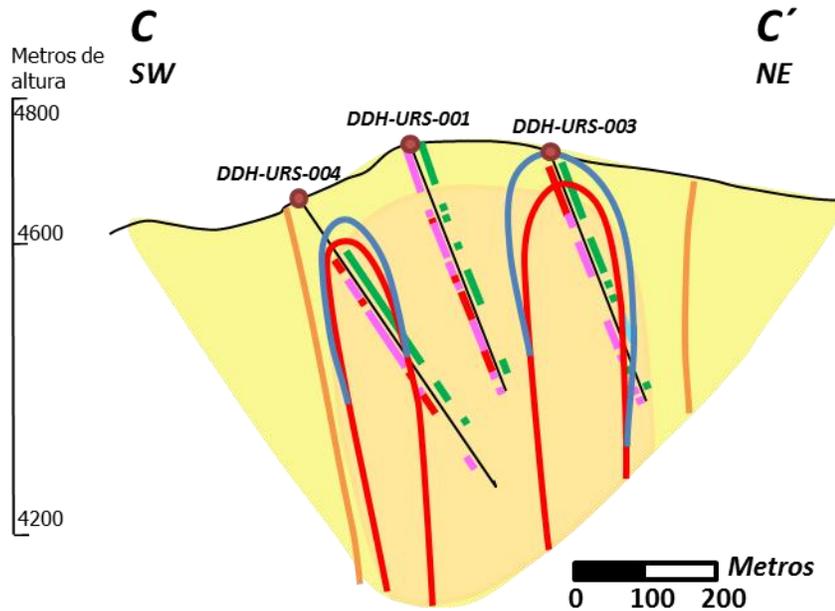


Figura 25. Sección BB' de Mineralización Au – Cu Luciano Norte.



Mineralización Au-Cu, vetillas de cuarzo y simbología

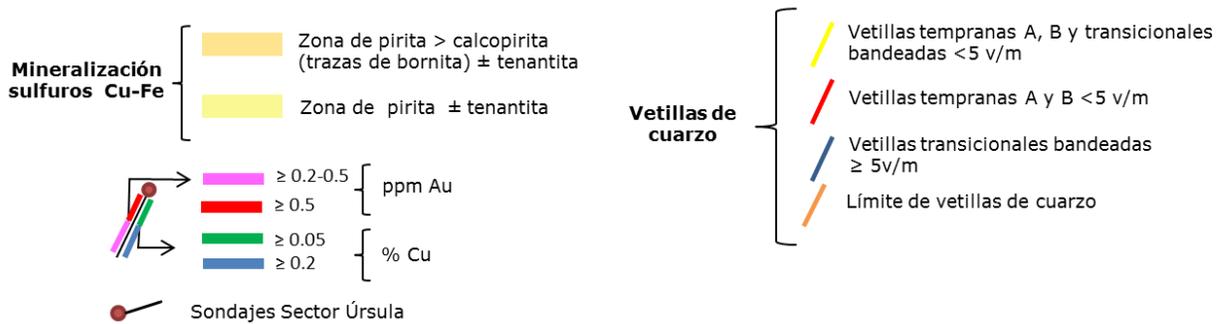


Figura 26. Sección CC' de Mineralización Au – Cu Úrsula.

Caracterización de las partículas de oro

Las partículas de oro corresponden principalmente a la especie de oro nativo. Estas se encuentran como inclusiones en minerales sulfurados, o bien de manera libre asociadas a minerales sulfurados, óxidos de hierro y en contacto con algunos minerales de alteración.

Del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) se ha detectado la asociación mineralógica principal del oro con sulfuros de cobre, zinc y plomo. En el caso de la asociación Au – Cu y Au – Zn el oro se encuentra ocluido en calcopirita, bornita y esfalerita y en menor proporción de forma libre. En el caso de la asociación Au – Pb, el oro se encuentra libre asociado a galena. Sin embargo, en este último

caso no ha sido posible definir si las texturas entre oro y galena corresponden a una exsolución (dos fases), ya que de ser texturas muy finas, no es posible separar las distintas fases en un análisis mineralógico TMS (QEMSCAN). De manera subordinada, parte del oro se encuentra libre asociada a óxidos de hierro, pirita, sulfuros de *Cu-As*. Las partículas de oro libre asociadas a los minerales anteriormente descritos, también se encuentran en contacto con minerales de alteración como feldespato potásico, sericita, arcillas (illita), clorita, yeso/anhidrita, carbonatos, alunita, entre otros (Figura 27).

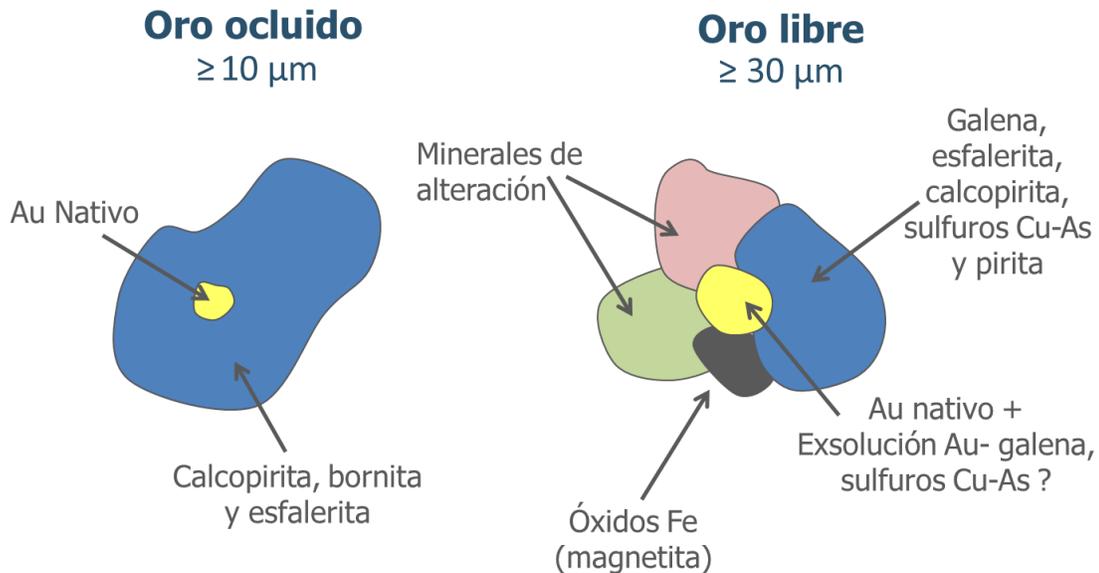


Figura 27. Ocurrencia principal de las partículas de oro en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano.

Una mínima cantidad de oro (despreciable) se ha encontrado asociado a bismuto. Sin embargo, al igual que en caso de la galena, no ha sido posible definir la fase mineralógica en que se encuentra el oro, ya que texturas muy finas ($< 1\mu m$) no son posibles de determinar con un análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) si se tratan de una exsolución o bien de una sustitución mineral en la estructura cristalina entre *Au, Bi* y *As*.

Los resultados de los análisis mineralógicos TMS (QEMSCAN) no detectaron oro asociado a partículas de plata, ni mineralogía de plata.

Con respecto a los tamaños promedio de las partículas de oro (μm), no se han detectado partículas con tamaños mayores a $30\mu m$. La mayor cantidad de partículas ($> 50\%$) se encuentra en un rango de tamaño entre los 5 y $10\mu m$, solo una menor cantidad ($30 - 40\%$) de las partículas oscilan entre los 10 y $20\mu m$ y menor aún (10%) corresponden a partículas de oro de tamaño menor a $5\mu m$.

Un alcance con respecto a la granulometría de las partículas de oro es que las de menor tamaño ocurren ocluidas en esfalerita, bornita y calcopirita, mientras que las de mayor tamaño ocurren libres asociadas a galena (Tabla 7; Figura 27).

Asociación mineralógica del oro

Los resultados principales de los análisis mineralógicos TMS (QEMSCAN) indican que la asociación mineralógica $Au - Cu$ y $Au - Pb$ domina en rocas con un predominio de alteración potásica, mientras que en rocas con un predominio de alteración propilítica I, la asociación mineralógica $Au - Zn$ es la dominante y en menor medida la asociación $Au - Pb$ (Figura 28 y 29)

Alteración potásica

En dominios de alteración potásica las partículas de oro se encuentran libres asociadas principalmente a galena y como oro nativo ocluido en calcopirita y bornita. De manera subordinada ocurre oro libre asociado a óxidos de hierro (Figura 28 A, B C, D y E). Las partículas de oro libres también se encuentran en contacto con feldespato potásico, sericita, anhidrita/yeso, etc (Figura 29). Tal asociación también ha sido observada en vetillas de cuarzo tipo A y transicionales bandeadas, donde el oro ocurre dentro de las vetillas o en la roca de caja a lo largo de los márgenes de estas vetillas.

En vetillas de cuarzo A las partículas de oro ocurren ocluidas en bornita y calcopirita, y de manera libre asociadas a galena. En la transición de asociaciones de alteración potásica a propilítica I, en vetillas de cuarzo transicionales bandeadas, el oro se encuentra libre asociado principalmente a galena y de manera muy subordinada a sulfosales de $Cu - As$, óxidos de hierro, alunita, y ocluido en bornita (Figura 29).

Alteración propilítica I

En dominios de alteración propilítica I el oro se encuentra principalmente ocluido en esfalerita y en menor proporción de manera libre asociado a calcopirita, esfalerita (Figura 28 F), óxidos de hierro, pirita, galena y sulfuros $Cu - As$. Las partículas de oro libre también ocurren en contacto con minerales de alteración como clorita, illita y carbonatos (Tabla 7; Figura 29).

La asociación oro-pirita y oro-óxidos de Fe sería una asociación mineral subordinada para el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano. La asociación de oro-óxidos de hierro-oro está presente tanto en rocas con efectos de alteración potásica y propilítica I, sin embargo, incrementa en la asociación propilítica I. La asociación oro-pirita solo se encuentra en rocas con un predominio de asociación de alteración propilítica I (Figura 29).

Brecha Intrusiva alterada Sector Úrsula

Del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) en una muestra de un fragmento y masa fundamental de la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula, la mayor parte de la mineralización de oro se encuentra asociados a los clastos de la brecha (> 90%) y no a la masa fundamental.

La asociación mineralógica del oro en esta brecha se correlaciona con los resultados obtenidos para rocas con efectos de alteración potásica y propilítica I: en los fragmentos que presentan efectos de alteración potásica ($IA = 2 - 3$), el oro se encuentra principalmente libre asociado con galena y una menor proporción

asociado con calcopirita. Mientras que en la masa fundamental de clorita-illita-pirita, el oro ocurre ocluido y libre asociado a esfalerita, y en menor medida pirita, sulfuros *Cu – As* y óxidos de hierro (Figura 29).

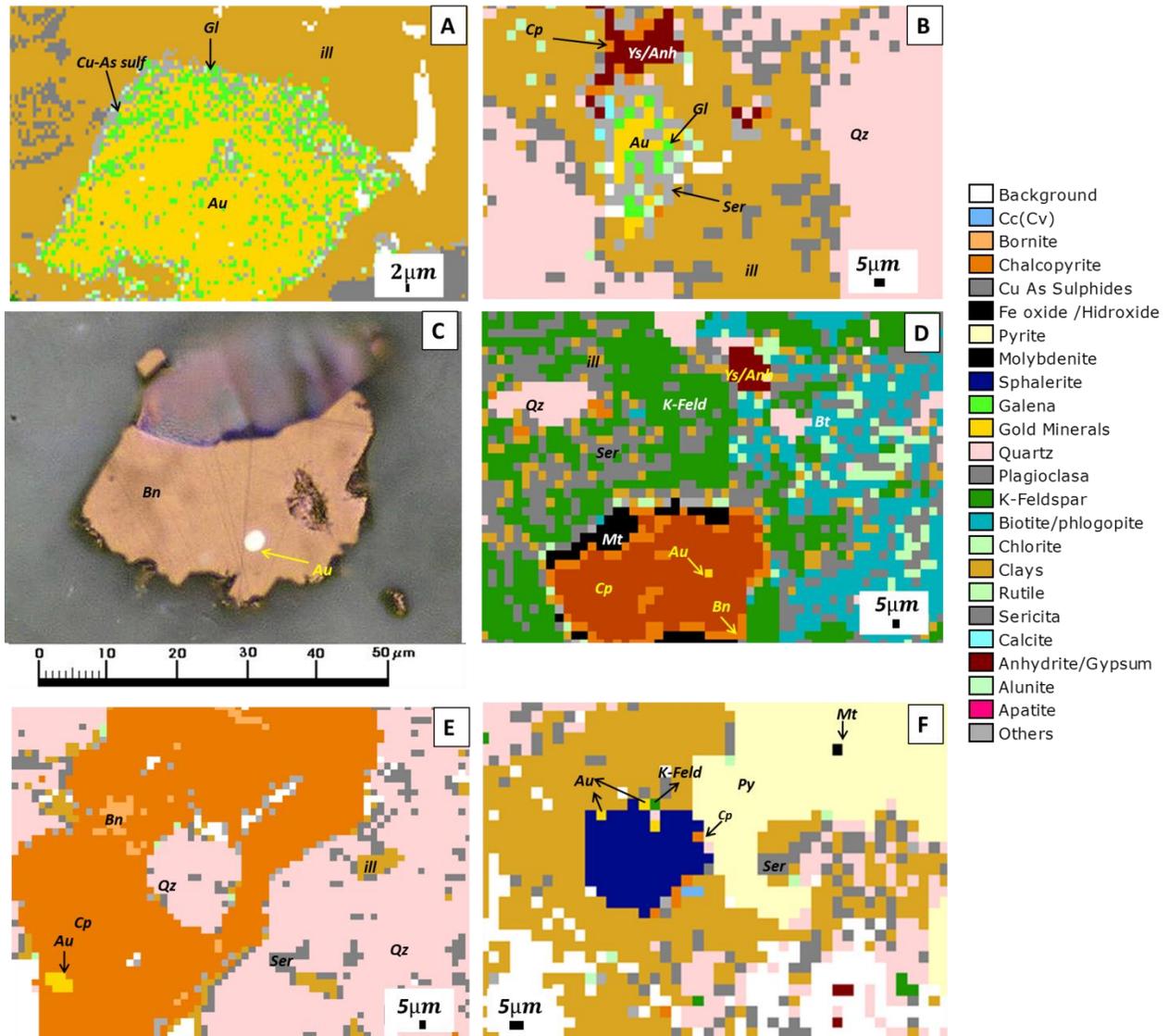


Figura 28. Asociación Mineralogía del Oro en el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano (A-F). A, B, D, E, F Imágenes TMS (QEMSCAN). A. Partícula de oro (Au) asociada con galena (Gl) y sulfosales de Cu-As (Cu-As sulf) en fragmento de Brecha Intrusiva alterada con alteración potásica- propilítica I. B. Partícula de oro asociada con galena (Gl) en vetilla de cuarzo A. C. Microfotografía de oro ocluido en bornita (Bn) en borde de vetilla transicional bandeada; sondaje DDH – LUN – 003,260.6m; aumento 1250X, nícoles paralelos. D. Partícula de oro ocluido en bornita en muestra de vetilla de cuarzo A. E. Oro ocluido en calcopirita (Cp) en vetilla de cuarzo A. F. Partícula de oro ocluido en esfalerita (esf) en masa fundamental de Intrusiva alterada de Úrsula con alteración clorítica (clorita-illita); en la figura se observa esfalerita en paragénesis con pirita (Py) y asociada a calcopirita.

Abreviaciones imágenes: Ill= illita; Cu-As sulf= sulfosales de Cu-As; Au= oro; Gl= galena; Qz= cuarzo; Cp= calcopirita; Ys/Anh= yeso/anhidrita; Ser= sericita; Bn= bornita; K-Feld= feldespatos potásico; Bt= biotita; Mt= magnetita; Py= pirita; Esf= esfalerita; Cc= calcosina. Para ver resultados análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) ver Anexo B.

Consideraciones metalúrgicas preliminares

Del análisis preliminar de cianuración *Test G907* (Ver Capítulo 5.7, Metodología y Anexo C), la cantidad de oro lixiviado corresponde a un ~ 85 % promedio para todas las muestras estudiadas, por lo que habría alrededor de un 15 % en promedio de oro no lixiviable o refractario (Anexo C). Sin embargo, de las distintas litologías estudiadas (unidades Porfídicas y Brecha Intrusiva alterada) la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula presenta el promedio más bajo de oro cianurable (20 %) (Figura 29).

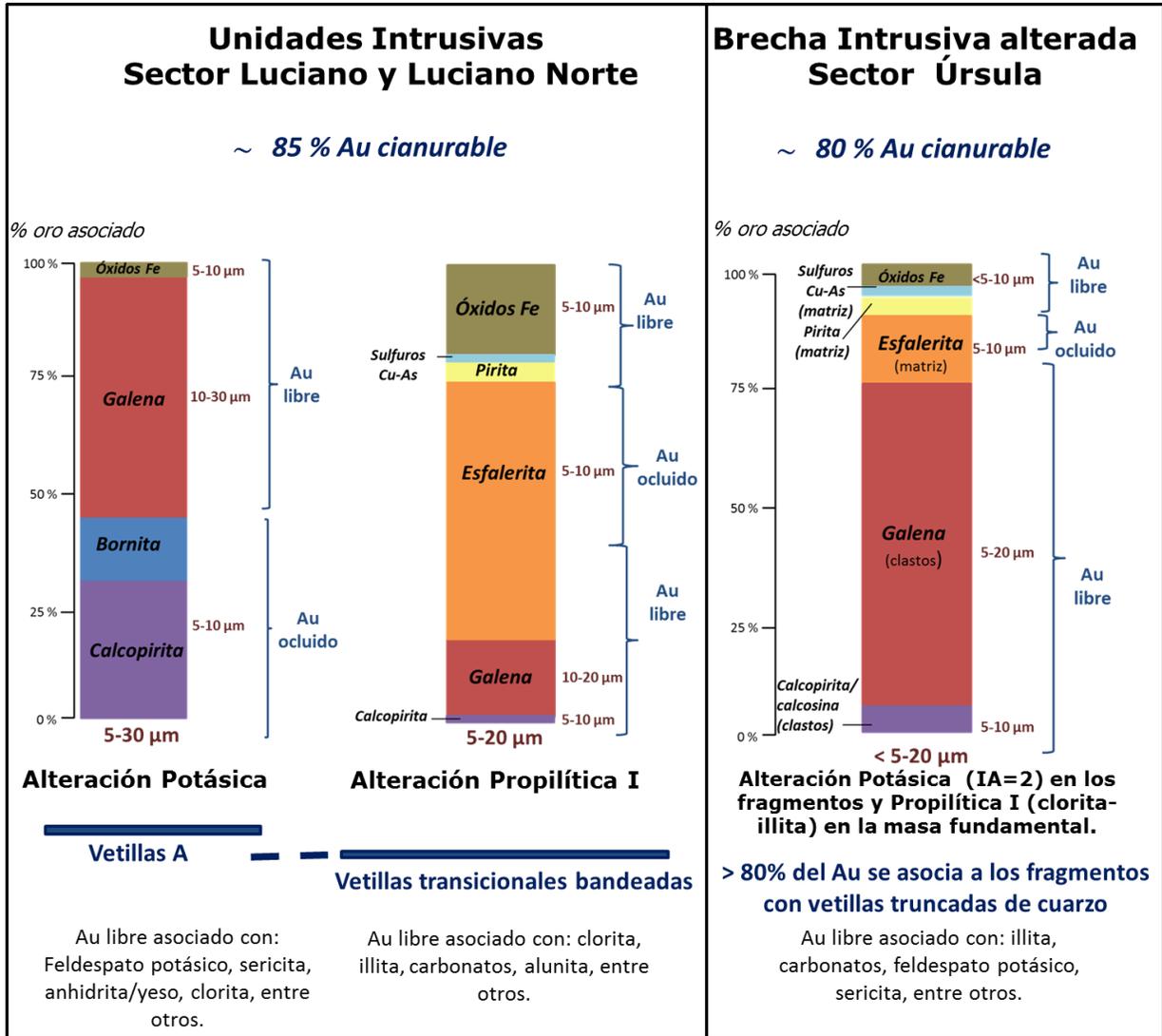


Figura 29. Esquema resumido de la asociación mineralógica del oro en alteración potásica y propilítica I (vetillas de cuarzo A y transicionales bandeadas) para rocas intrusivas del sector de Luciano y Luciano Norte, y Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula con fragmentos con alteración potásica-propilítica I ($IA = 2$) y asociación clorita-illita en la masa fundamental. Ver Figura 27 para ocurrencia de oro ocluido o libre. Resultados del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) en Anexo B.

9. GEOQUÍMICA

En este capítulo se presentan los resultados y análisis de estudios geoquímicos de roca total (Ver Capítulo 5.5 Metodología) realizados sobre muestras seleccionadas de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula. Un total de 44 muestras fueron estudiadas y 3 muestras para efectos del control de calidad.

Los datos geoquímicos obtenidos para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano fueron comparados en algunos casos con datos para la Franja de Maricunga de Loucks (2000) con el fin de realizar comparaciones geoquímicas con rocas pertenecientes al mismo contexto geológico. La base de datos de Loucks (2000) incluye datos de rocas andesíticas a riolíticas de distintos complejos volcánicos y algunos de depósitos como Refugio, Lobo, Marte, Pantanillo, de edades que abarcan entre los 0.2 y 24 *Ma*.

9.1 Control de Calidad

De las 44 muestras analizadas con el método *Trace4lito* para los elementos en el rango *SiO₂ – U* se contabilizaron tres mediciones de estándares para el proceso de control de calidad, en particular certeza. Los estándares utilizados para determinar la exactitud de los datos corresponden al estándar *OREAS151a*. Para medir la precisión se utilizaron tres duplicados de laboratorio para el cálculo del error analítico.

Los resultados analíticos se pueden observar en el Anexo D. En este mismo anexo se puede revisar los valores referenciales o certificados para el estándar *OREAS 151a*.

Precisión

Para medir la precisión se calculó el error analítico para cada par de resultados de laboratorio, original y duplicado, para los elementos mayores, traza, tierras raras, además de los elementos *Cu, Zn* y *Pb*. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Error\ analítico_i(\%) = \frac{|O_i - D_i|}{\left(\frac{O_i + D_i}{2}\right)}$$

Donde para cada elemento *i*, *O_i* es la concentración original (% o *ppm*) reportado por el laboratorio y *D_i* es el valor del duplicado del laboratorio correspondiente a la muestra *O_i*.

De la figura se observa que para los elementos mayores la precisión está dentro de los límites aceptables para este estudio (< 10%; < 20% es aceptable).

Para los elementos traza y tierra raras, los elementos *As, Ag, W, Bi, Tl, Ta*, al menos uno de los duplicados de laboratorio presentan errores analíticos mayores al 15 % (Tabla 8), sin embargo, ninguno de estos elementos han sido considerados en este estudio. Para el resto de los elementos la precisión está dentro de los límites aceptables para este estudio (< 10 %).

En general, los duplicados de laboratorio debiesen presentar errores menores al 10 %, sin embargo, esto depende de la concentración de los elementos. Para todos los elementos con errores altos (> 10%), las concentraciones son muy bajas (< 60 ppm) o se encuentran cerca del límite de detección, por lo que no constituyen ningún problema analítico, siendo esto normal para elementos que se encuentra en bajas concentraciones.

Tabla 8. Error analítico para duplicados de laboratorio para tres pares de muestras originales y duplicados de laboratorio (O-D).

| Error analítico para elementos mayores (%) | | | | | | | | | | |
|--|------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| Muestra | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ (T) | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ |
| O-D 1 | 0.9 | 2.2 | 0.8 | 1.1 | 0.9 | 0.2 | 2 | 1.8 | 2.4 | 7.4 |
| O-D 2 | 2 | 1 | 2.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 3.3 | 0 |
| O-D 3 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.4 | 0 |

| Error analítico para elementos traza y tierras raras (%) | | | | | | | | | | |
|--|----|----|-----|----|----|----|-----|----|------|-----|
| Muestra | Sc | Be | V | Cr | Co | Ni | Ga | Ge | As | Rb |
| O-D 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66.7 | 0.9 |
| O-D 2 | 0 | 0 | 2.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2 |
| O-D 3 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 4.7 | 0 | 0 | 0 |

| Muestra | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Ag | In | Sn | Sb | Cs |
|---------|-----|-----|------|------|-----|------|----|----|----|----|
| O-D 1 | 3.3 | 1.7 | 3.3 | 0 | 5.7 | 11.8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| O-D 2 | 2.9 | 1.9 | 0.71 | 8.00 | 0 | 11.8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| O-D 3 | 1.5 | 0.8 | 0.62 | 2.78 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Muestra | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| O-D 1 | 1.8 | 1.7 | 0.4 | 1.6 | 1.4 | 0.3 | 0.9 | 7.6 | 2.6 | 5.2 |
| O-D 2 | 1.7 | 2.7 | 1.6 | 1.1 | 2 | 2 | 1.3 | 2.2 | 0 | 1.8 |
| O-D 3 | 0.1 | 2 | 2 | 4.8 | 3.3 | 3.7 | 7.3 | 0.8 | 5.1 | 0 |

| Muestra | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | W | Tl | Bi |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|------|
| O-D 1 | 4.9 | 2.7 | 1.8 | 1.9 | 0 | 6.5 | 18.8 | 184 | 7.41 | 0 |
| O-D 2 | 3.2 | 0 | 2.9 | 1 | 1.4 | 3.4 | 4.44 | 139.1 | 4.9 | 22.2 |
| O-D 3 | 2.4 | 0.8 | 0 | 1.6 | 0.6 | 6 | 1.8 | 0 | 66.7 | 0 |

| Muestra | Th | U |
|---------|-----|-----|
| O-D 1 | 0.3 | 5.7 |
| O-D 2 | 1.8 | 4.4 |
| O-D 3 | 7.1 | 0.9 |

 Error analítico 10 – 20%
 Error analítico > 20%

| Muestra | Error analítico Cu, Zn y Pb (%) | | |
|---------|------------------------------------|------|------|
| | Cu | Zn | Pb |
| O-D 1 | 2.2 | 1.6 | 9.2 |
| O-D 2 | 1.2 | 4.3 | 6.3 |
| O-D 3 | 20 | 0.00 | 12.5 |

Exactitud

La determinación de la exactitud solo fue calculada para elementos mayores, ya que los valores referenciales o certificados para elementos traza y tierras del estándar *OREAS 151a* son en base a análisis de digestión ácida, mientras que los realizados en este estudio con el método *Trace4litoreserch* en base a técnicas de fusión. Por lo tanto, se consideran distintos métodos de geoquímica de digestión, por lo que los estándares no aplicarían para este estudio.

Para el cálculo del sesgo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$Sesgo_i (\%) = \left(\frac{E1_i + E2_i + E3_i}{3} - E^*_i \right) * 100$$

Donde para cada elemento i , $E1_i$, $E2_i$, $E3_i$ corresponde a la concentración (%) detectada por el laboratorio de los estándares ingresados para realizar el control de calidad, mientras que E^* corresponde al valor referencial o certificado del estándar *OREAS151a* para cada elemento.

En la Tabla 9 se muestra que todos los elementos mayores presentan valores de sesgo menores al 5 %, por lo que a exactitud está en los límites aceptables para este estudio.

Tabla 9. Sesgo (%) para elementos mayores para cálculo de la exactitud de las muestras geoquímicas de este estudio

| Sesgo (%) para elementos mayores | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ (T) | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ |
| 1.42 | 1.51 | 1.12 | 2.34 | 2.62 | 1.20 | 2.41 | 0.25 | 1.22 | 4.04 |

9.2 Caracterización y clasificación geoquímica de las unidades intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano

9.2.1 Contexto Geotectónico

Los elementos mayores y traza son utilizados para establecer el contexto geotectónico del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

El diagrama AFM (Irvine y Barager, 1971; Figura 30 A) y el diagrama SiO_2 versus K_2O (Peccerillo and Taylor, 1976, Gill 1980; Figura 30 B) indican la tendencia calcoalcalina (media a alto potasio) de las unidades intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano dentro de la serie subalcalina. De acuerdo a Rabbia (2004), las rocas clasificadas en el campo de alto contenido de potasio, corresponderían a rocas que han sufrido efectos de alteración potásica.

Cabe destacar que parte de las muestras que han sido clasificadas en el rango de alto contenido de potasio ($> 2.5 \% K_2O$) corresponden a rocas pertenecientes al sector de Luciano y en menor medida Luciano Norte (Figura 30 B).

El diagrama de saturación de alúmina en rocas ígneas (Figura 30 C), indica que las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano pertenecen a la serie metaluminosa (subsaturada), la cual es compatible con minerales diagnósticos primarios como biotita y hornblenda.

El diagrama de elementos incompatibles (Pearce et al., 1984; Figura 30 D) es consistente con el contexto geológico en que está inserto el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Este indica que los sistemas porfídicos fueron formados en un contexto de arco volcánico en un margen continental activo. Esta información es consistente con los diagrama *spider* (Figura 31 A), donde las anomalías negativas de *Nb*, *Ta*, y *Ti* son típicas de rocas que se forman en un margen continental activo relacionadas a procesos de subducción.

9.2.1 Diagrama de Elementos Incompatibles y *spider*

El diagrama *spider* (Figura 31 A) normalizado a los valores de condrito de Thompson (1982) muestra que todas las muestras estudiadas presentan un patrón similar de los elementos incompatibles, relativamente rico en elementos móviles (LILE) y empobrecido en elementos inmóviles (HFSE).

El diagrama de tierras raras normalizado a valores de condrito (McDonough and Sun, 1989; Figura 31 B), muestra que las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano presentan un mismo patrón de tierras raras, relativamente rico en tierras raras livianas (TRL), empobrecimiento de tierras raras pesadas (TRP) en forma de cuchara (*Dy, Ho, Er, Tm*), además de ausencia de la anomalía de europio ($Eu/Eu^* \sim 1$).

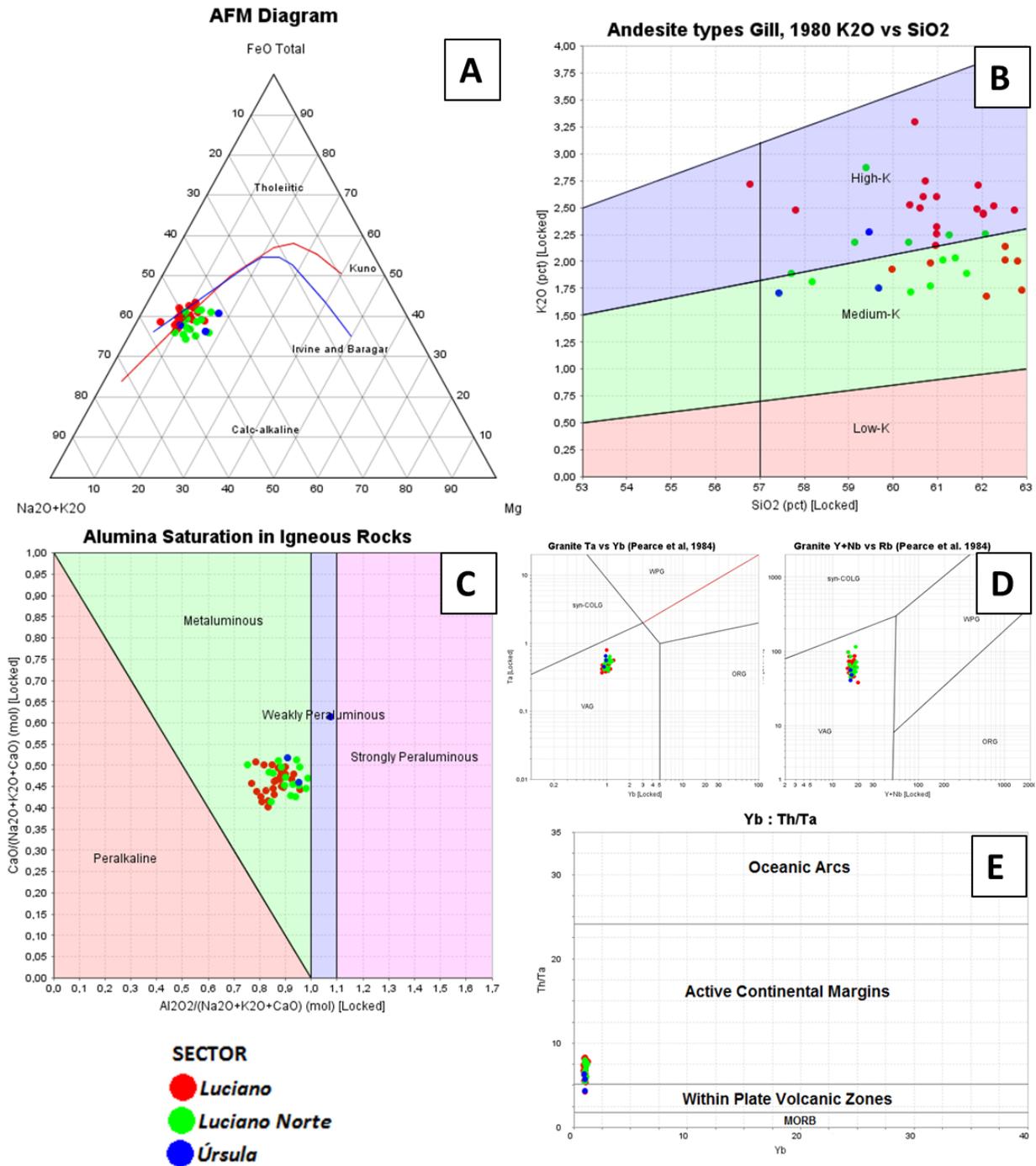


Figura 30. Diagramas geotectónicos para el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano. A. Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971), indicando la tendencia calcoalcalina de las rocas intrusivas. B. SiO₂ versus K₂O (Peccerillo & Taylor, 1976) mostrando la tendencia medio-alto-K de las rocas intrusivas dentro de la serie calcoalcalina, asumiendo metasomatismo potásico. C. Diagrama de saturación alúmina, mostrando la tendencia metaluminosa de las rocas intrusivas. D. Diagrama de elementos incompatibles de Pearce et al. (1974), ubicando a las rocas intrusivas en el campo VAG (VAG= Volcanic Arc Granites, ORG= Ocean Ridge Granites, WPG=Within Plate Granites, y syn-COLG= syn-Collisional Granites). E. Diagrama de elementos incompatibles de Gordon & Schandl (2000) con las rocas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano en el campo de Margen Continental Activo (Active Continental Margins).

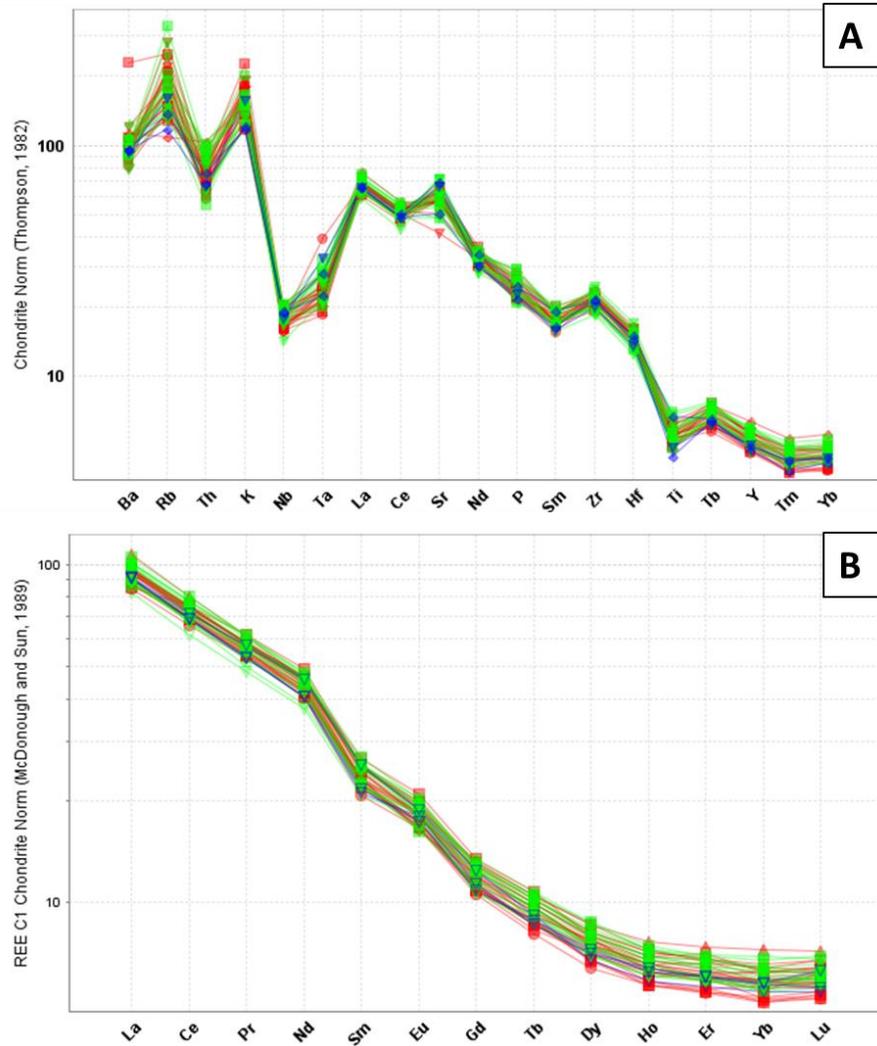


Figura 31. A .Diagrama de Elementos Incompatibles para rocas intrusivas normalizadas a los valores de condrito (Thompson, 1982). Notar las anomalías negativas de *Nb, Ta* y *Ti*, **B. Diagrama *spider* de tierras raras** normalizado a los valores de condrito (McDonough & Sun, 1989). Notar el mismo patrón de tierras raras para las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano; rico en TRL (tierras raras livianas) y pobre en TRP (tierras raras pesadas), con un relativo empobrecimiento en forma de cuchara (*Dy, Ho, Er, Yb* y *Lu*).

9.2.2 Fertilidad de los magmas

De acuerdo a Loucks (2000) habría ciertos discriminadores petroquímicos que pueden ser utilizados para determinar la fertilidad metalogénica de magmas calcoalcalinos ricos en oro y cobre de centros plutónicos-volcánicos del Neógeno-Cuaternario.

Fertilidad Au

Un indicador de fertilidad de oro en magmas es una alta razón de Ba/Zr y Nb/Y (Figura 32) comparado al promedio de las composiciones 'típicas' de arco continental (Loucks, 2000).

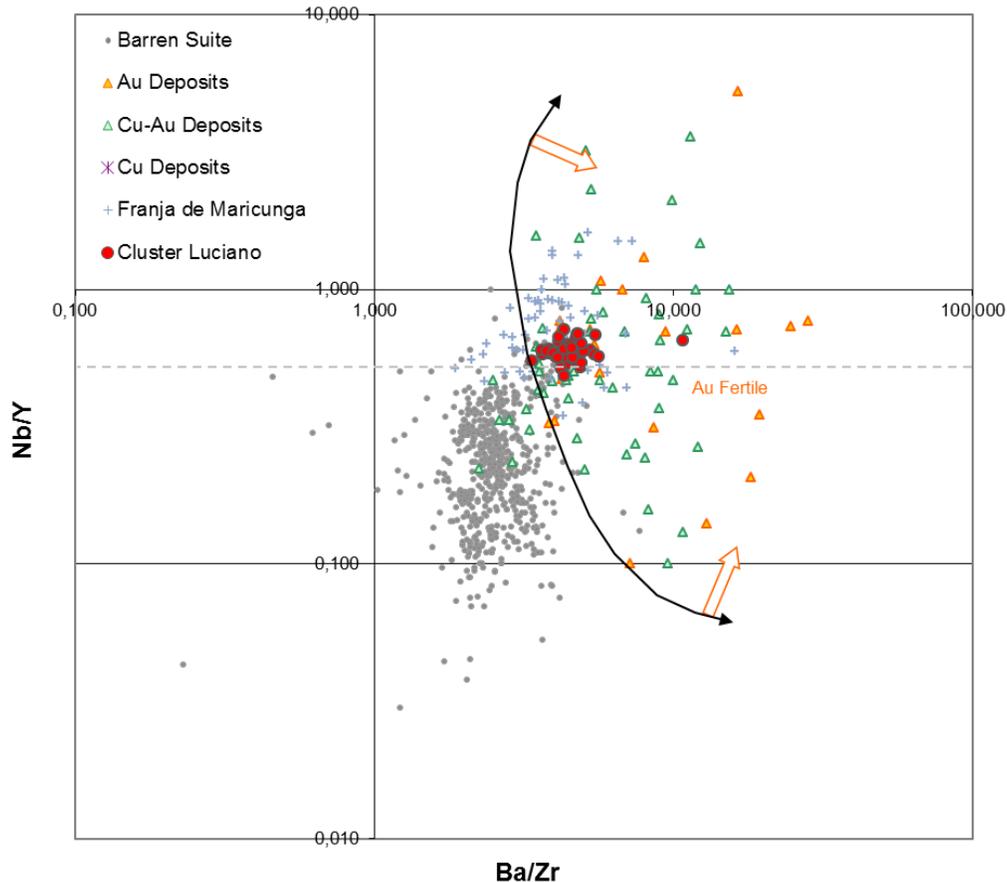


Figura 32. Diagramas de fertilidad de magmas para el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano. A Diagrama Nb/Y versus Ba/Zr adaptado de Heberlain (2004) y Loucks (2000), utilizando la base de datos PetroDat (Loucks, 2000). Notar la tendencia de fertilidad de Au para las muestras del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano comparado a depósitos de Cu, Cu – Au, Au, rocas de la Franja de Maricunga y sistemas no productivos o fértiles.

El bario es un elemento que se enriquece en la zona donde ocurre la fusión del manto litosférico, por lo que un bajo porcentaje de fundido de este es enriquecido en H_2O, O, S, Cl , álcalis, Ba, Sr , HFSE y otros metales. Por otra parte, el oro es más compatible que el cobre en estas condiciones de bajo porcentaje de fusión parcial del manto peridotítico. Por lo que habría una fuerte correlación entre los depósitos mayores de oro en arcos continentales (alta y baja sulfuración) y magmas con altas razones Ba/Zr (Loucks, 2000).

El niobio se enriquece a través del mismo mecanismo que el bario ya que tiende a concentrarse más en fundidos con bajo porcentaje de fusión del manto litosférico. Por otra parte, el niobio presenta uno de los más altos coeficientes de partición de

los HFSE. Otra consideración, es que la contribución del manto litosférico aumenta con la somerización del *slab* subductante y que el contenido de niobio en el manto litosférico aumenta con la edad (es decir, aumenta durante el metasomatismo de este). Por lo tanto, existe una fuerte correlación entre arcos productivos de oro, razones elevadas de Nb/Y y composiciones magmáticas intermedias a félsicas (Loucks, 2000).

Para el caso de los Andes, Loucks (2000) considera que magmas fértiles en oro poseen valores mayores a 6 para la razón Ba/Zr y mayor a 0.5 para la razón Nb/Y .

Fertilidad $Cu - Au$

Con respecto a la fertilidad de $Cu - Au$, Loucks (2000) sugiere que los magmas fértiles presentan un patrón de tierras raras fuertemente inclinado debido a una alta razón La/Yb , empobrecimiento de TRP en forma de cuchara (Dy, Ho, Er, Tm) y ausencia de la anomalía de europio (Figura 31 B).

La Figura 33 muestra el patrón de tierras raras para distintos sistemas porfídicos de oro y cobre, los cuales presentan las características de fertilidad mencionadas anteriormente, mientras que los patrones de tierras raras para sistemas estériles o no productivos, presentan claras anomalías de europio y patrones de tierras raras más planos y enriquecidos.

El diagrama Sr/Y versus Y (Figura 34) indica el grado de saturación de agua y la presencia o no de una signatura adakítica de los magmas, relacionado a magmas productivos formadores de depósitos de $Cu - Au$. En la Figura 37, se observa que las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano presentan una afinidad a la signatura adakítica en magmas de arco continental. De acuerdo a Rabbia et al., (2004) y Loucks (2000) la signatura adakítica es propia de intrusivos productivos generados principalmente por la fusión parcial de la corteza continental inferior (máfica). Por lo que en la cristalización fraccionada de un basalto hidratado a condiciones de bajas presiones, un alto contenido de agua en el fundido suprime la cristalización de plagioclasa pero induce la cristalización de abundante hornblenda. Esto empobrece el fluido residual en TRP e itrio (Y) y lo enriquece en estroncio (Sr), ya que el Sr^{2+} reemplaza al Ca^{2+} en plagioclasa, y el Y^{3+} se incorpora en fases minerales como granate, hornblenda y clinopiroxeno (Castillo et al 1999).

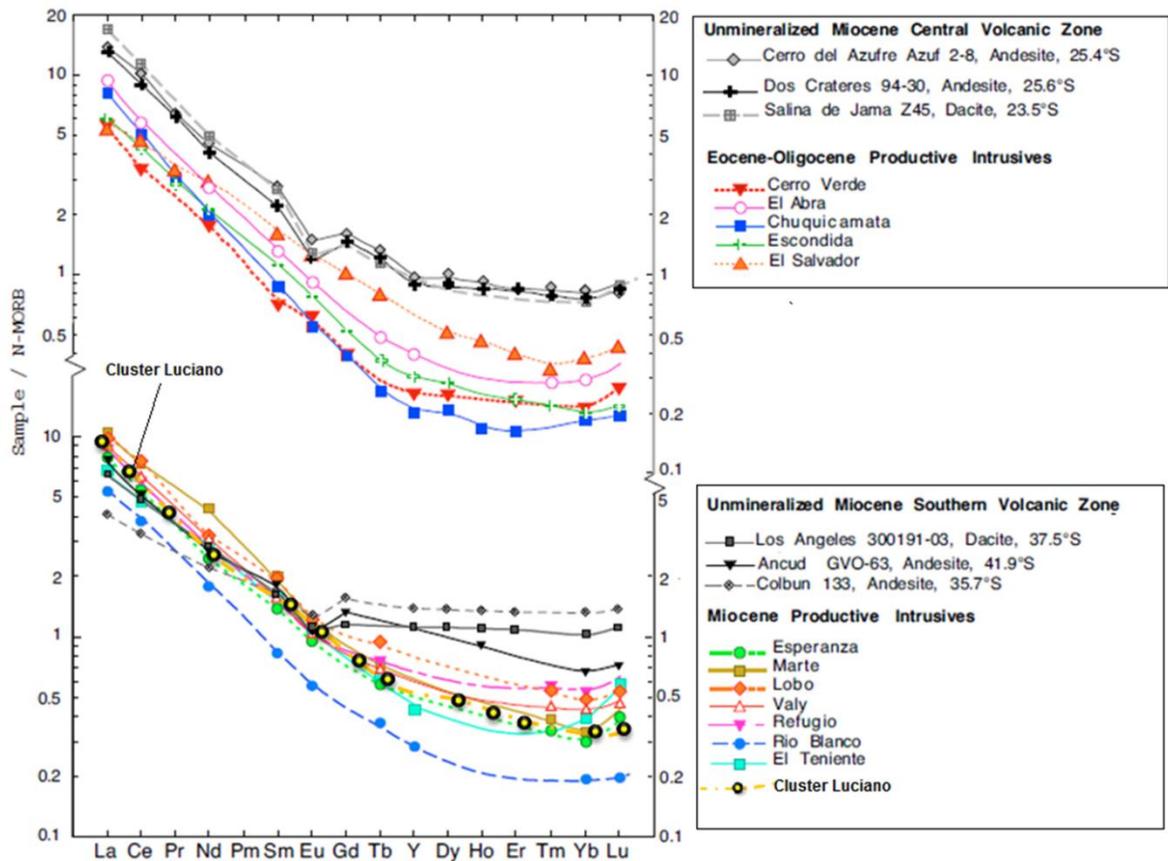


Figura 33. Diagramas de fertilidad de magmas para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Diagrama de abundancia promedio de tierras raras e itrio (Y) para pórfidos calcoalcalinos, normalizado a valores de N-Morb, y adaptado de Loucks (2000). El diagrama superior muestra rocas intrusivas productivas de la franja metalogénica Eoceno-Oligoceno entre los 21.25 – 25.75°S (símbolos de colores), conteniendo pórfidos cupríferos del Paleógeno desde El Abra a El Salvador. Estos pórfidos muestran un ligero empobrecimiento, en forma de cuchara, de las tierras raras pesadas (TRP) y ausencia de la anomalía de europio. En el mismo diagrama la tendencia para rocas representativas de magmatismo del Neógeno, metalogénicamente infértiles o no productivas, se caracteriza por un patrón de tierras raras (símbolos gris y negro) con anomalía de europio pronunciada y un patrón plano de tierras raras pesadas relativamente empobrecido, el cual es característico de andesitas, riolitas y dacitas ricas en piroxeno y pobres en hornblenda. En el diagrama inferior, se presentan rocas ígneas del Neógeno entre los 25.8 y 34.1°S, correspondientes a pórfidos productivos del tipo *Au – Cu*, el cual incluye el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. Estos pórfidos presentan ausencia de anomalía de europio y un fuerte empobrecimiento de tierras raras pesadas (símbolos de colores). Más al sur, todos los centros del Mioceno entre los 35 y 42°S aparentemente no se hayan mineralizados (símbolos gris y negro) y presentan patrones de tierras raras similares a los centros no productivos del Neógeno en el Norte de Chile (figura superior).

Todas las muestras presentan contenidos de SiO₂ entre los 57-67%. Los valores de abundancia de tierras raras e itrio, con excepción a las del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano, fueron tomados de ARCGOLDCOPPER y PetroDat (Loucks, 2000).

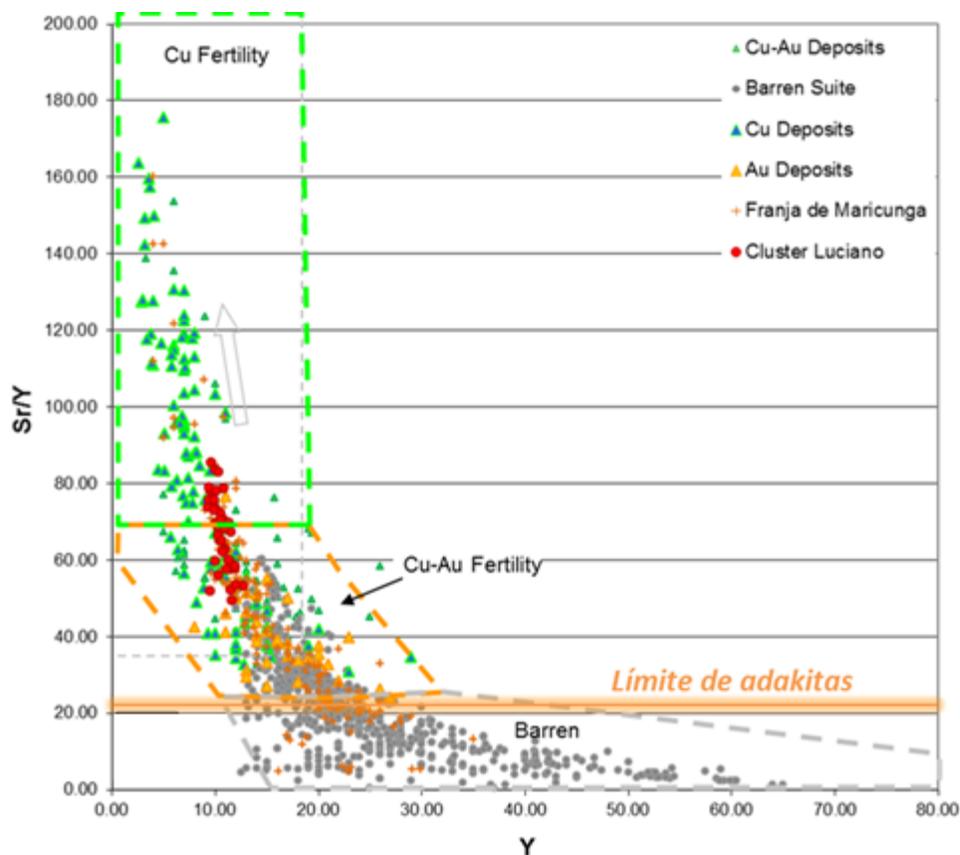


Figura 34. Diagrama Sr/Y versus Y para rocas con afinidad adakítica las cuales coinciden con depósitos productivos de *Cu – Au* y *Cu*, adaptado de Heberlain (2004) y Loucks (2000). El diagrama muestra la afinidad adakítica (alto *Sr* y bajo *Y*) para las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, en comparación a depósitos de *Cu – Au*, *Cu*, *Au* no productivos y rocas de la Franja de Maricunga (PetroDat; Loucks, 2000).

9.2.3 Clasificación Litológica

Diagramas de variación Harker

Los diagramas de variación *Harker* (óxidos de elementos mayores versus SiO_2 ; Figura 35) muestran la evolución de los distintos elementos químicos dentro del sistema magmático- hidrotermal *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

De los diagramas de variación *Harker* (Figura 35) se observa la distribución para el óxido K_2O es más bien dispersa (al igual que para Al_2O_3), pero para otros óxidos se observan tendencias más claras. Se aprecia una leve correlación negativa (elemento fuertemente particionado en un mineral) entre SiO_2 y Na_2O , MgO , CaO , TiO_2 y Fe_2O_3 . En general el MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 y FeO_3 son incorporados en la estructura de minerales máficos como hornblenda, biotita, magnetita-ilmenita, además de plagioclasa cálcica, apatito, entre otros, durante las primeras etapas de

crystalización. Los óxidos Na_2O , K_2O y Al_2O_3 son incorporados en minerales félsicos, como feldespato potásico y plagioclasa sódica los cuales cristalizan en etapas magmáticas más tardías y se asocian a procesos de alteración hidrotermal.

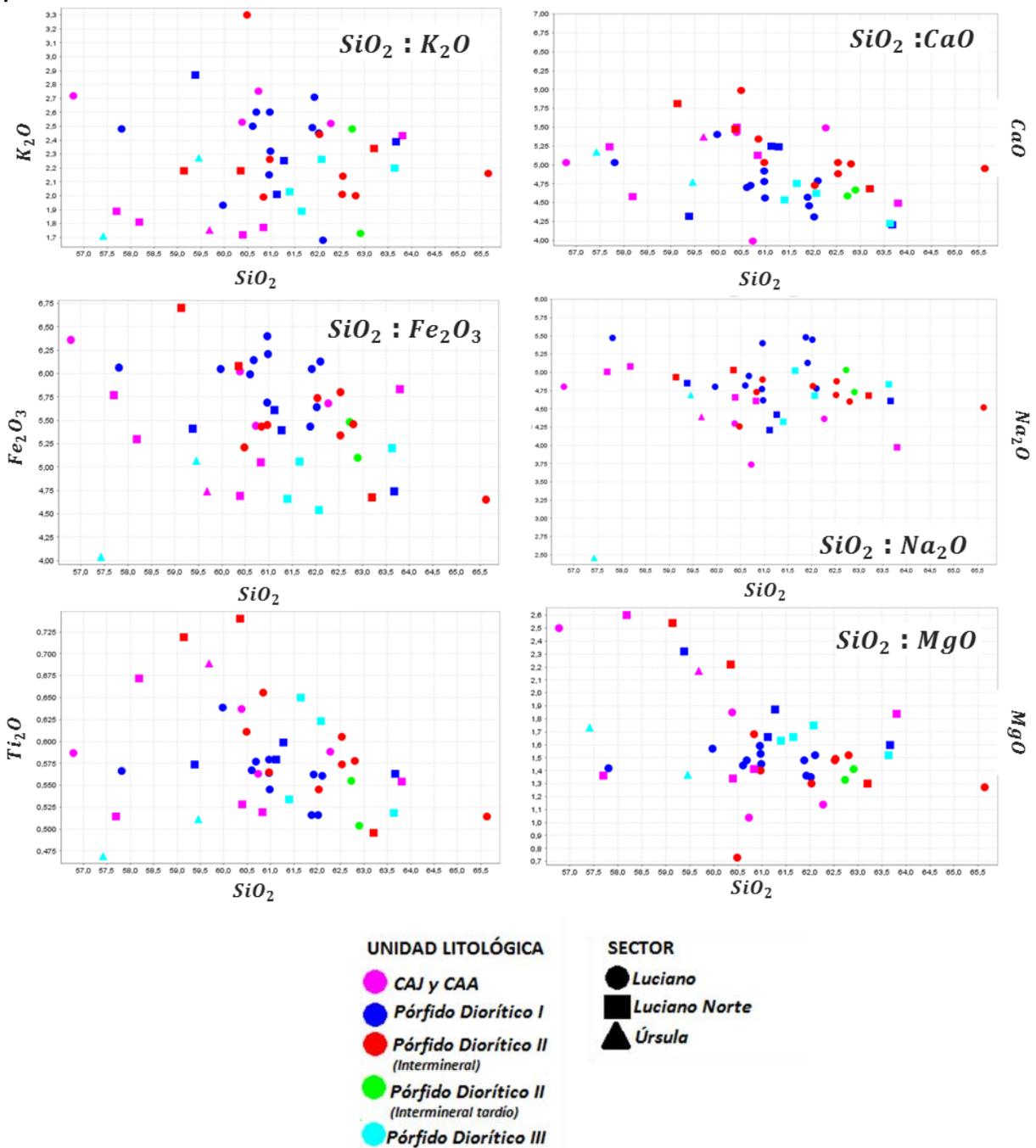


Figura 35. Diagramas de variación Harker (elementos mayores versus SiO_2) coloreados de acuerdo a unidades litológicas y temporalidad: Pórfido Andesítico Juanes (PAJ) y Pórfido Andesítico Autobrechizado (PAA) (preminerales), Pórfido Diorítico I (intermineral temprano), II (intermineral) y III (tardío). Notar la correlación negativa entre CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 y MgO y SiO_2 , y la tendencia no clara entre K_2O , Na_2O y SiO_2 .

Las variaciones en los contenidos de sílice y otros elementos como Mg, Ti, Na, Fe , entre otros, sugieren una evolución magmática (a medida que aumenta el SiO_2 en las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano los contenidos de Na_2O, MgO, CaO, TiO_2 y Fe_2O_3 disminuyen). Sin embargo, no se observan patrones en estos elementos con respecto a la temporalidad definida en este estudio (premineral, intermineral, tardío).

Una cierta proporción de los contenidos de los óxidos Na_2O, K_2O y MgO se atribuiría a efectos de alteración hidrotermal potásica, sodicocálcica y clorítica

Diagrama TAS

Basado en el contenido de elementos mayores se realiza una clasificación geoquímica utilizando el diagrama TAS (Cox. et al., 1979, adaptado por Wilson 1989; Figura 36). De acuerdo a este diagrama las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se caracterizan por presentar una composición intermedia de sílice y solo algunas muestras presentan un carácter levemente ácido (Tabla 10; Figura 36).

Las muestras se clasifican en el campo de las dioritas, cuarzodioritas y sienodioritas (monzonitas), mayoritariamente de tendencia subalcalina, sin embargo, algunas muestras se clasifican como alcalinas. Esto puede ser explicado ya que según observaciones petrográfica, contenidos de Na_2O, K_2O y diagramas ternarios de alteración (ver Figura 67) las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ presentan efectos de metasomatismo potásico y sódico de intensidad moderada a fuerte, lo cual es un reflejo de altos contenidos de $K_2O + Na_2O$, principalmente para las rocas del Sector de Luciano y en menor medida Luciano Norte. Tomando en cuenta estas consideraciones, los valores de estos óxidos serían altos para algunas muestras geoquímicas pertenecientes a los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado, unidades Pórfido Diorítico I y II. Una pequeña corrección en los contenidos de sodio y potasio total permitiría que todas las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se clasifiquen dentro de la serie subalcalina.

Cabe mencionar que a pesar de que las rocas se clasifiquen como sienodioritas, cuarzodioritas y dioritas, la mayoría de las muestras se posicionan en el límite de estos tres campos, hacia el campo de las dioritas (Figura 36). Estos resultados han sido confirmados con el diagrama Winchester-Floyd (Figura 37 A). Lo anterior se explica por la movilidad de los elementos mayores en la alteración hidrotermal.

Del diagrama TAS se determina que no es posible discriminar y agrupar geoquímicamente las rocas en estudio según las clasificaciones temporales definidas (Unidades Preminerales, Pórfido Diorítico I, II y III) a partir de su composición de sílice y cantidad de $Na_2O + K_2O$. Sin embargo, los resultados de estos diagramas son los esperados, ya que los resultados de las observaciones petrográficas se condicen bastante bien con la geoquímica de elementos mayores, considerando los efectos de alteración hidrotermal mencionados anteriormente.

TAS Plutonic (Cox et al. 1979, adapted by Wilson 1989)

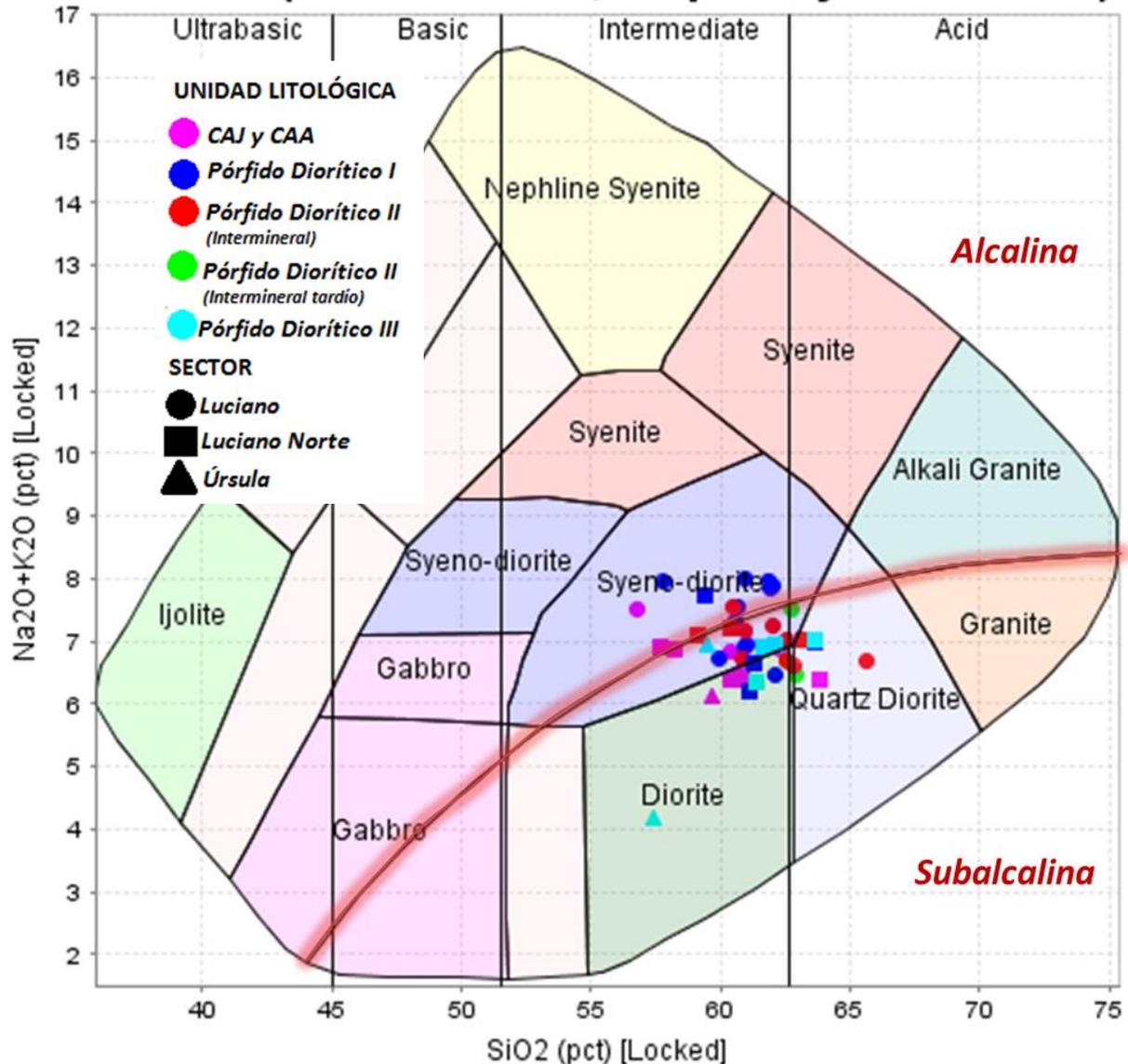


Figura 36. Clasificación geoquímica de las rocas intrusivas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano basado en elementos mayores, utilizando el diagrama TAS (Wilson, 1989). En el diagrama se observa que las rocas intrusivas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano están ubicadas en los campos de las dioritas, cuarzodioritas y sienodioritas de tendencia subalcalina, y algunas alcalinas, lo cual ha sido interpretado producto del metasomatismo potásico y sódico que sufrieron las rocas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano. El diagrama se encuentra coloreado de acuerdo a la unidad litológica y temporalidad: Complejo Andesítico Juanes (PAJ) y Autobrechizado (PAA) (preminerales), Pórfido Diorítico I (intermineral temprano), II (intermineral) y III (tardío). Notar que no existen tendencias claras para clasificar entre unidades litológicas de distinta temporalidad según el contenido de SiO_2 y $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.

Tabla 10. Clasificación geoquímica de las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano (Diagrama TAS).

| Unidad litológica (cantidad de muestras) ² | Posición temporal en la evolución magmática hidrotermal | Contenido de SiO ₂ (%) | Clasificación geoquímica TAS (cantidad de muestras) | Observaciones con respecto a la alteración hidrotermal |
|---|---|-----------------------------------|---|---|
| Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado (10) | Premineral | 57.26-63.67 (%) | Sienodioritas(4), dioritas(5) y cuarzdioritas (1) | Tres sienodioritas presentan efectos de alteración potásica y albitización de intensidad moderada a intensa (IA= 3 a 5) ¹ . Una sienodiorita pertenece a la serie alcalina. En las dioritas y cuarzdioritas domina la asociaciones de alteración propilítica I y argílica. |
| Pórfido Diorítico I (14) | Intermineral temprano | 58.51-63.79 (%) | Sienodioritas (10), dioritas (3) y cuarzdioritas(1) | Siete sienodioritas pertenecen a la serie alcalina. Las muestras de Luciano y Luciano Norte presentan efectos de alteración potásica(feldespato potásico y biotita hidrotermal) y sódico-férrica, en donde las muestras de Luciano presentan una intensidad de albitización moderada a fuerte (IA= 3 a 5). Las muestras de Luciano Norte presentan efectos de asociación de alteración propilítica I ¹ . |
| Pórfido Diorítico II (13) | Intermineral e intermineral tardío | 58.55-64.88 (%) | Sienodioritas(8), dioritas (1) y cuarzdioritas (4). Una cuarzdiorita y una sienodiorita corresponden a unidades interminerales tardías del sector de Luciano. | Dos sienodioritas pertenecen a la serie alcalina del sector de Luciano y Luciano Norte, las cuales presentan efectos de alteración potásica y sódico-férrica ¹ . En las rocas clasificadas como dioritas y cuarzdioritas domina la asociación de alteración propilítica I por sobre la potásica. |
| Pórfido Diorítico III (4) | Tardío mineral | 57.07-63.12 (%) | Dioritas(I), Cuarzdiorita(I) y sienodioritas (2) | Estas rocas son las que presentan menores intensidades de alteración hidrotermal, correspondientes a los sectores de Luciano Norte y Úrsula con efectos de alteración propilítica I y argílica. En las de Luciano Norte se reconocen efectos de intensidad débil de alteración potásica (IA= 2) ¹ . |

¹ De acuerdo a descripciones macroscópicas, petrográficas y diagramas ternarios de alteración.

² La clasificación litológica de las muestras ha sido realizada de acuerdo a las observaciones descritas en el capítulo de Litología.

Elementos traza

En los estudios de rocas alteradas, suele ser más útil aún la clasificación de las rocas según los elementos traza.

Los elementos traza menos solubles usualmente tienen valencias +3 o +4, e incluyen los lantánidos y actínidos. Generalmente los elementos menos solubles y los más propicios para trazar patrones litológicos son *Sc, Ti, V, Cr, Y, Zr, Nb, La, Hf, Ta, Ce* y *Th*. Los diagramas de elementos traza inmóviles para las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se presentan en la Figura 37.

En un diagrama de clasificación *Nb/Y* versus *Zr/Ti* (Winchester-Floyd, 1977; Figura 37 A), las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se clasifican en el campo de las andesitas/dioritas.

En los diagrama de *Zr* versus *TiO₂*, *Zr* versus *Y* e *Y* versus *Nb* (Figura 37 B, C y D), el titanio es un elemento ligeramente conservativo, ya que se describen

tendencias lineares que pueden ser proyectadas a partir del origen del gráfico (Stanley & Madeisky, 1996). Este comportamiento se correlacionaría a la presencia de magnetita e ilmenita magmática, magnetita hidrotermal, rutilo y titanita (minerales accesorios de alteración) que proporcionan titanio durante los procesos de cristalización magmática y alteración hidrotermal.

El *Zr*, *Nb* e *Y* presentan un comportamiento ligeramente conservativo, similar al del titanio. Sin embargo, los elementos traza, al igual que los óxidos de elementos mayores, no muestran tendencias que permitan discriminar geoquímicamente entre unidades litológicas intrusivas preminerales, interminerales y tardías. Sin embargo, se determina que las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* presentan un carácter cogenético, sugiriendo una sola familia geoquímica para las de rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

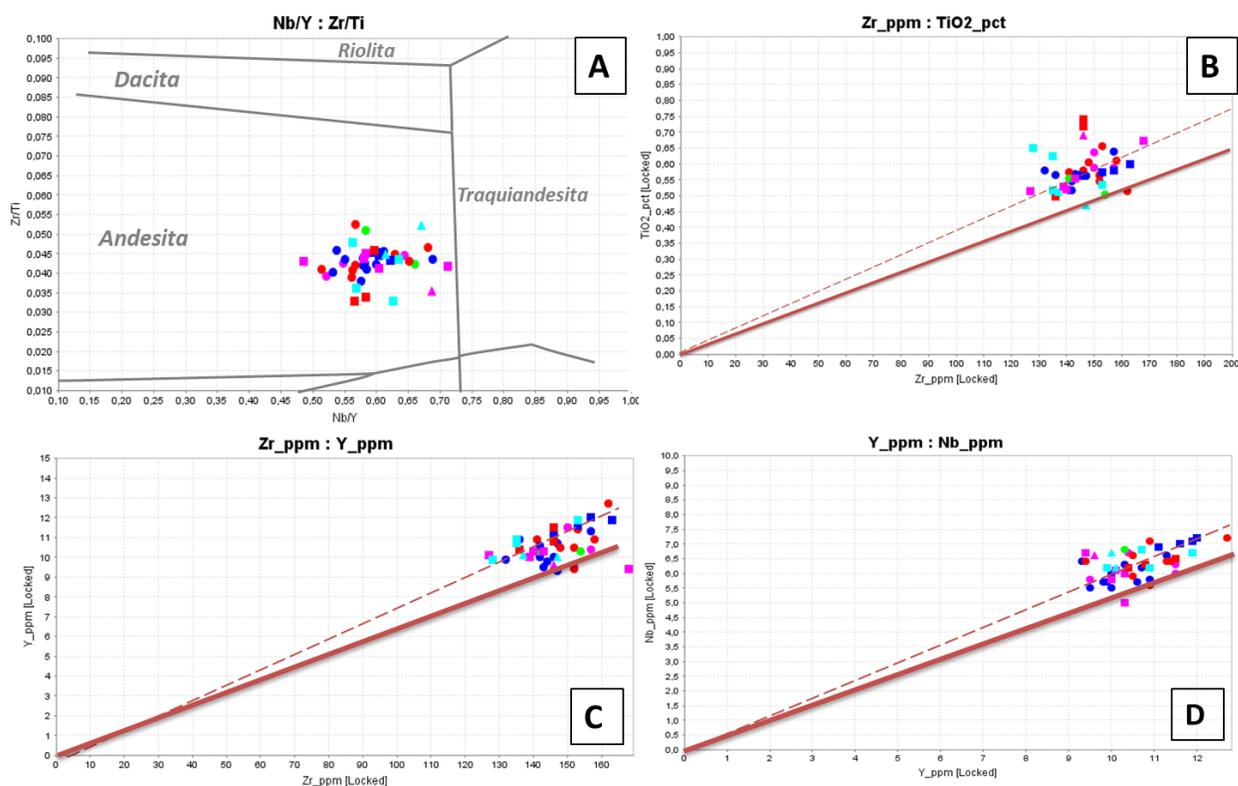


Figura 37. Diagramas geoquímicos de elementos traza para clasificación de unidades intrusivas. A. Diagrama de clasificación geoquímico Winchester-Floyd (1977) para rocas volcánicas félsicas y andesíticas, el cual muestra el carácter andesítico/diorítico para las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. B, C, D. Diagramas *TiO₂* versus *Zr*, *Y* versus *Zr* y *Nb* versus *Y*, los cuales muestran el carácter ligeramente conservativo del *Ti*, *Nb* e *Y* y el carácter conservativo del *Zr*. La línea roja indica la tendencia conservativa de los elementos, la cual es trazada a partir del origen del gráfico (Stanley & Madeisky, 1996). La línea punteada roja, muestra un único patrón o tendencia geoquímica para todas las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, las cuales corresponden a una única familia. Ver simbología diagrama TAS.

9.2.4 Alteración Hidrotermal

Diagramas de caja

En los diagramas de caja de la Figura 38 se presentan los contenidos promedio de algunos óxidos relacionados a alteración hidrotermal (K_2O , MgO y Na_2O) y elementos relacionados a la mineralización (Au , Cu , Zn y Pb) para rocas intrusivas con predominio de asociación de alteración hidrotermal potásica y propilítica I.

De los diagramas se muestra que los contenidos de K_2O , Na_2O , Au , Cu y Pb son mayores para asociaciones de alteración potásica, mientras que los contenidos de MgO y Zn son mayores para las asociaciones de alteración propilítica I.

Diagramas ternarios de alteración

En los diagramas ternarios de alteración (Figura 39 A y B) se discrimina entre rocas afectadas por minerales de asociación de alteración potásica (feldespato potásico, biotita), propilítica I (clorita y clorita-illita) y argílica, basado en las proporciones molares de K , Al y Mg . En estos diagramas las rocas que presentan efectos de alteración de feldespato potásico y biotita se ubican hacia la esquina superior del potasio; las que presentan efectos de alteración propilítica I (clorita) cercano a la esquina del magnesio; y las que presentan efectos de alteración propilítica I (clorita-illita) y argílica cercano a la esquina donde se ubica el aluminio residual.

El aluminio residual (esquina inferior izquierda en diagramas ternarios; Figura 39 A, B y C) corresponde a un valor calculado a partir del aluminio total. El aluminio residual se calcula de la resta entre aluminio total y el aluminio de las plagioclasas y del feldespato potásico, para así obtener un valor del aluminio contenido en clorita magnésica de alteración y aluminosilicatos (como illita y arcillas, etc.). El cálculo utilizado es el siguiente:

$$Al_{residual} = Al_{total} - (Na + K + 2Ca) \times (0.65)$$

Donde Al , Na , K y Ca se encuentran en proporciones molares.

En el diagrama ternario de alteración (Figura 39 A) se observa que las muestras de sector de Luciano se encuentran principalmente afectadas por asociaciones de alteración potásica, las de Luciano Norte y Úrsula por asociaciones de alteración propilítica (clorita y clorita-illita). Una menor cantidad de muestras ubicadas en el límite que separa las asociaciones de alteración potásica, propilítica I (clorita), propilítica I (clorita-illita) y argílica (línea punteada en la Figura 39 A) presentarían efectos variados de alteración.

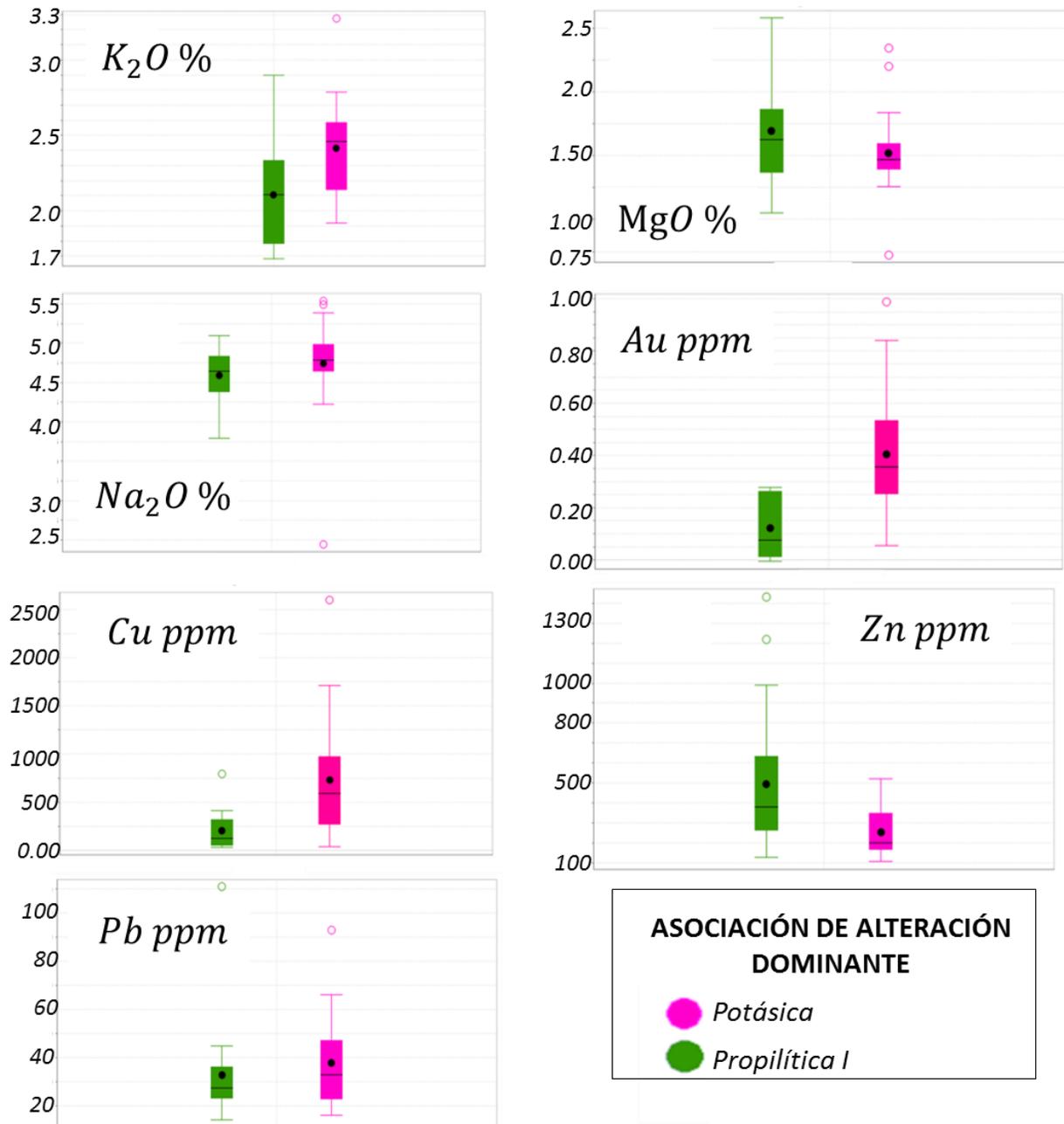


Figura 38. Diagramas de caja para óxidos relacionados a la alteración hidrotermal y elementos relacionados a la mineralización. Para cada uno de los diagramas, la base de la caja representa el cuartil 1 (25 % de los datos), el techo de la caja el cuartil 3 (75 % de los datos) y la línea recta al interior de la caja el cuartil 2 (50 % de los datos). El círculo negro al interior de la caja indica el promedio, mientras que los círculos al exterior representan valores atípicos de la serie. Los bigotes (líneas que se extienden desde la caja) se extienden hasta los valores máximos y mínimos de la serie.

En el diagrama ternario de alteración (Figura 39 B) se observa que las muestras correspondientes a Unidades Preminerales (Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado) no se encuentran ubicadas en un campo definido dentro del diagrama, lo que refleja las distintas asociaciones de alteración por las que se encuentran afectadas. Por el contrario, las muestras pertenecientes a la unidad Pórfido Diorítico I se ubican principalmente en el campo de asociación de alteración potásica. Las muestras pertenecientes al Pórfido Diorítico II se ubican en el límite que separa las asociaciones de alteración propilítica I (clorita) y propilítica I (clorita-illita) y argílica (línea punteada en diagrama de la Figura 39 B). Finalmente, las muestras correspondientes a la unidad Pórfido Diorítico III se ubican en el campo de la asociación de alteración propilítica I (clorita-illita) y argílica.

Cabe destacar que los valores de Na_2O son elevados para las rocas del *cluster* de pórfidos *Au - Cu* Luciano (Figura 40) en comparación a los valores típicos para rocas dioríticas (3.56 % Na_2O : Le Maitre, 1976; 3.8 – 4.4 %: Mpodozis et al., 1995) y a otras rocas de la Franja de Maricunga (Loucks, 2000). Los valores obtenidos de Na_2O se atribuirían a albitización producto de la alteración potásica, propilítica y sódico-férrica afectaron a las rocas del *cluster* de pórfidos *Au - Cu* Luciano. Efectos de albitización también han sido reconocidos en otros depósitos del Distrito Minero Casale (Román, Eva, Anfiteatro, Jotabeche) y en el Distrito Minero Refugio (Muntean & Einaudi 2000).

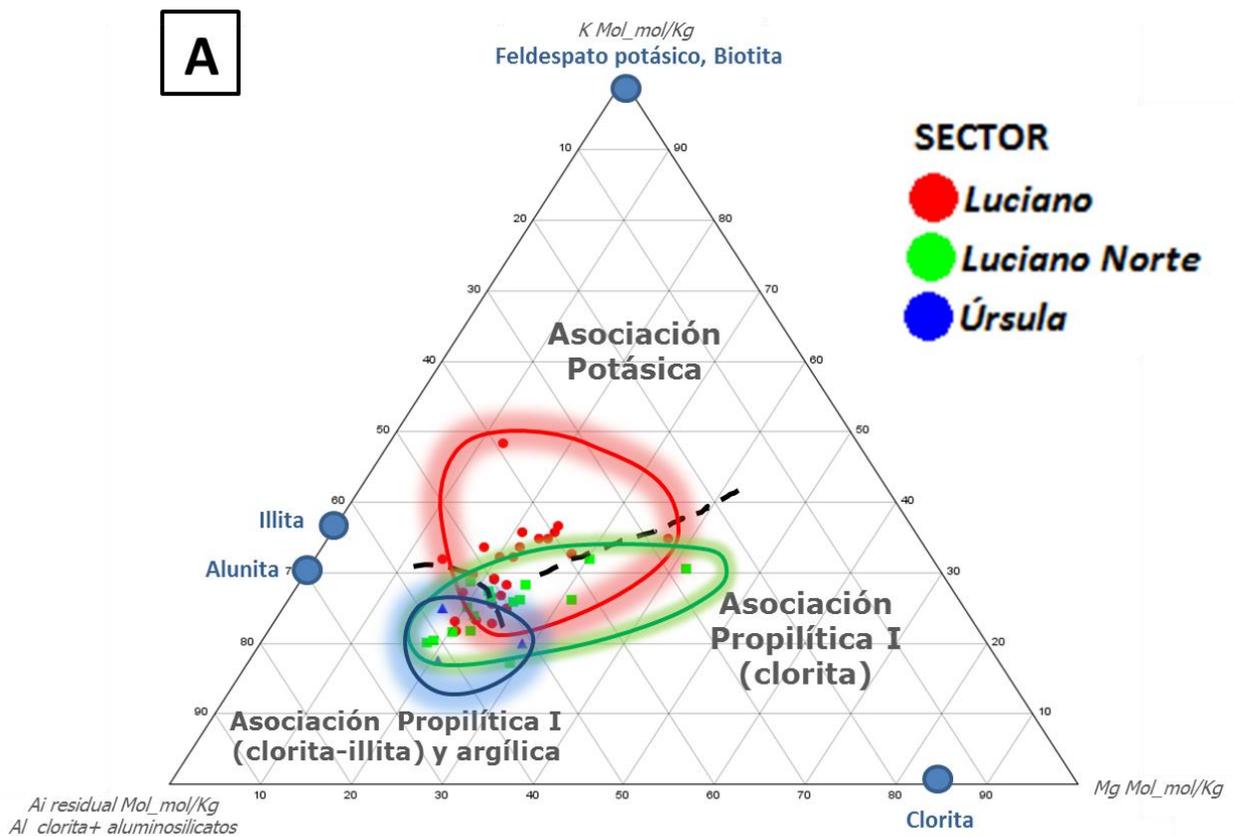


Figura 39. A y B Diagramas ternarios de Alteración construidos a partir de las proporciones molares de K, Mg y $Al_{residual}$ (ver texto). Ver referencia en la siguiente página.

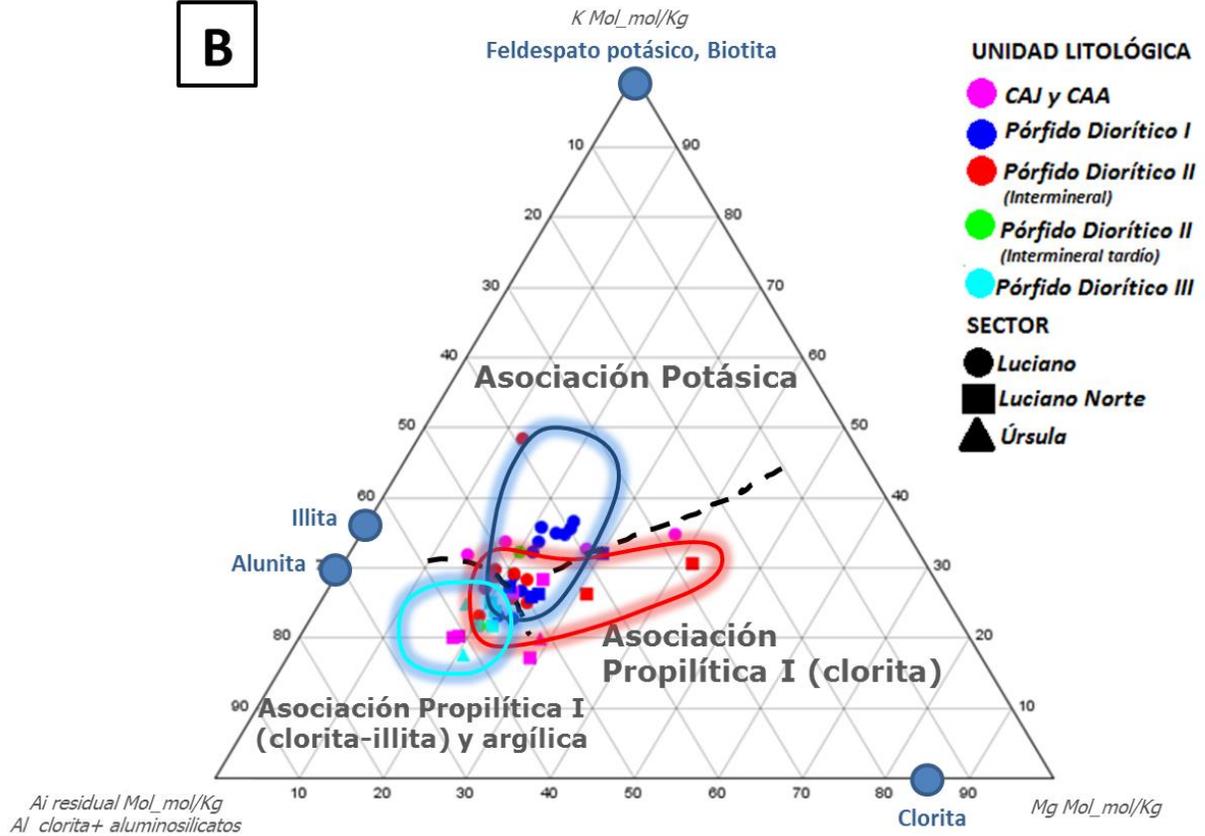
B

Figura 39. A y B Diagramas ternarios de Alteración construidos a partir de las proporciones molares de K, Mg y $Al_{residual}$ (ver texto), en los cuales se distingue las rocas afectadas por asociación de alteración potásica, clorítica y, clorita-illita y argílica. A. Coloreado de acuerdo el Sector: Luciano, Luciano Norte y Úrsula. B. Coloreado de acuerdo a las unidades litológicas y temporalidad: Complejo Andesítico Juanes (CAJ) y Complejo Andesítico Autobrechizado (CAA) (preminerales), Pórfido Diorítico I (intermineral temprano), II (intermineal) cambiar

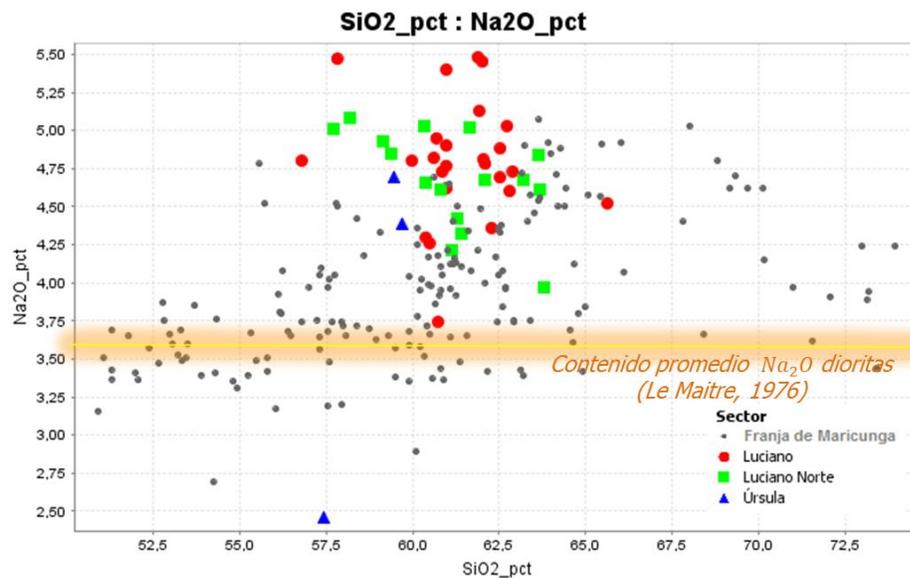


Figura 40. Diagrama Na_2O versus SiO_2 se observa que las rocas del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano presentan valores elevados de Na_2O en comparación a rocas de la Franja de Maricunga (PetroDat, Loucks, 2000) y a valores típicos para rocas dioríticas (línea naranja en la figura; 3.56% Na_2O ; Le Maitre, 1976).

9.2.5 Mineralización

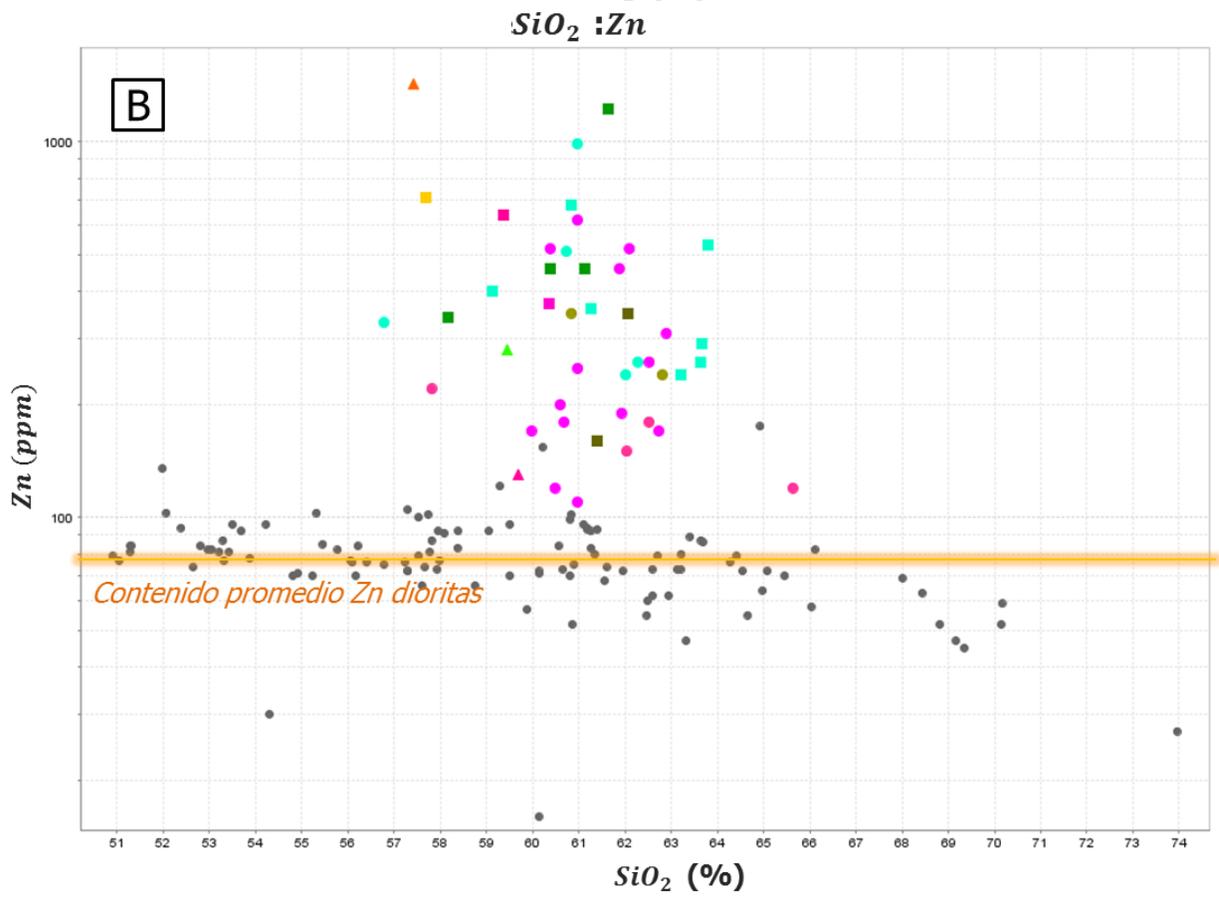
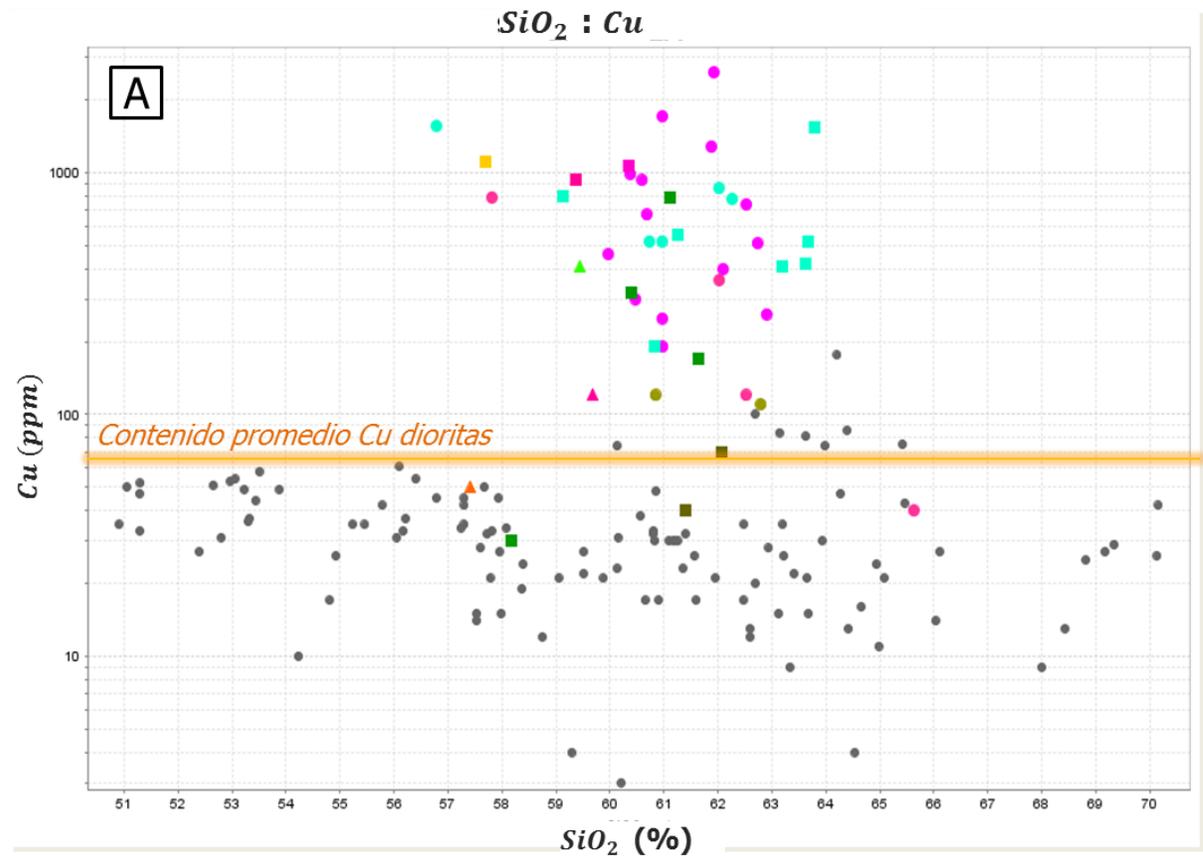
Cu, Zn y Pb versus SiO₂

Los diagramas de contenidos de *Cu, Zn y Pb* versus *SiO₂* para las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano (Figura 41 A, B y C) muestran valores elevados de estos elementos con respecto a otras rocas de la Franja de Maricunga (Loucks, 2000) y a valores promedio de *Cu, Zn y Pb* de la corteza (68 ppm para *Cu*, 76 ppm para *Zn* y 13 ppm para *Pb* según Mielke, 1979).

Del diagrama de *Cu* versus *SiO₂* (Figura 41 A) las muestras de roca afectadas por metasomatismo potásico, independiente de los efectos de asociación de alteración propilítica y sódico-férrica, son las que presentan los valores más altos de cobre. Por lo que habría una correlación entre los altos contenidos de cobre y alteración potásica.

Con respecto al zinc (Figura 41 B), los valores más elevados se presentan en rocas afectadas por minerales de asociación de alteración propilítica I, independiente si presentan asociaciones de alteración potásica o sódico-férrica, por lo que habría una correlación entre la esfalerita y la alteración propilítica I.

Los contenidos de plomo para las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano presentan anomalías positivas respecto a los valores promedio de la corteza y rocas de la Franja de Maricunga (Figura 41 C), lo que sugiere la presencia de galena tanto en rocas con asociación de alteración potásica como propilítica I. Sin embargo, el diagrama de *Pb* versus *SiO₂* no muestra una correlación entre galena y alguna alteración en particular (Figura 41 C).



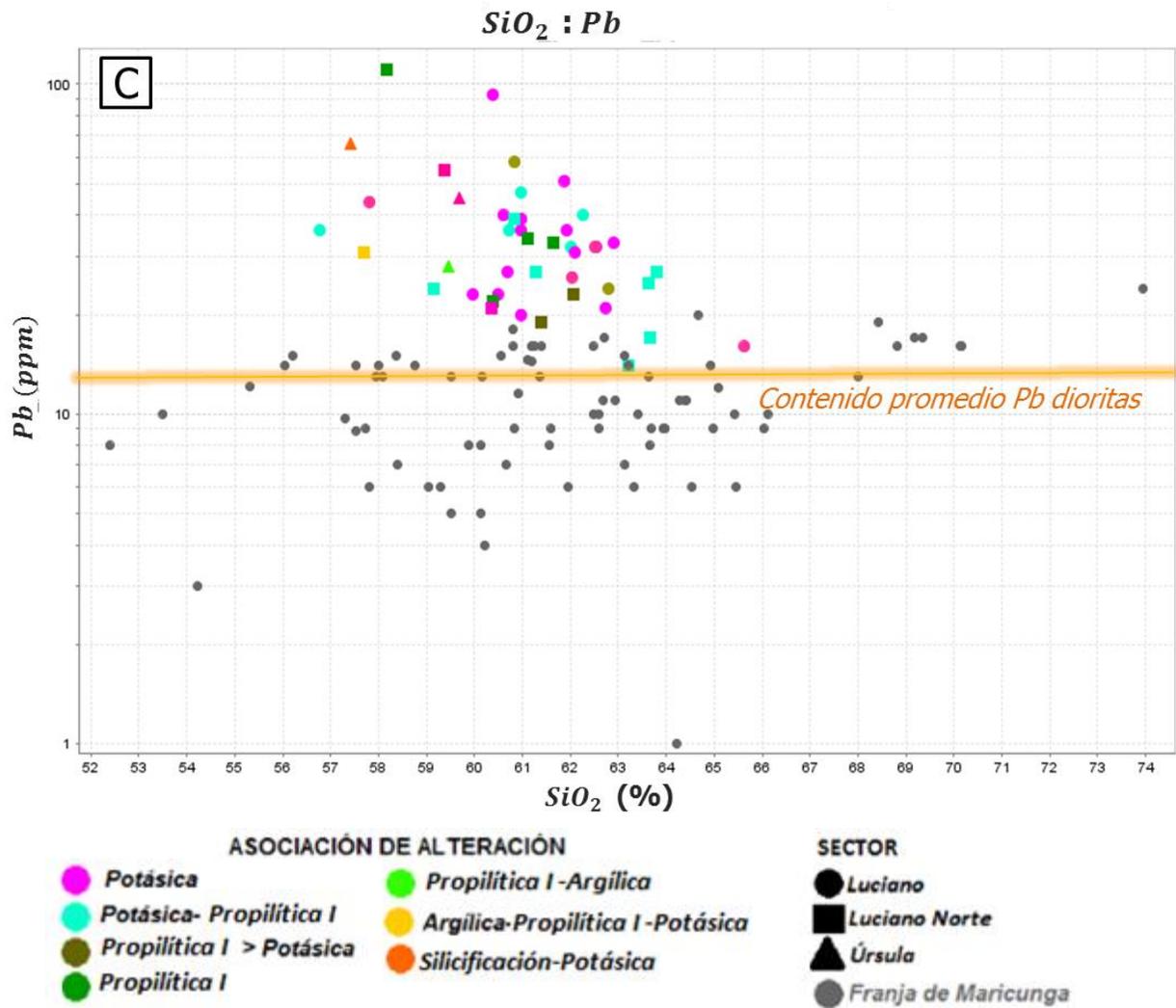


Figura 41 Diagramas de Mineralización de Cu , Zn y Pb versus SiO_2 coloreados de acuerdo a la asociación de alteración presente en las muestras de acuerdo a observaciones microscópicas, macroscópicas y diagramas ternarios de alteración. De los diagramas A, B, C se desprende que las rocas del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano presentan valores elevados de Cu , Zn y Pb en comparación a otras rocas de la Franja de Maricunga (PetroDat, Loucks, 2000) y a valores típicos para rocas dioríticas (línea naranja en la figura; Le Maitre, 1976). Además se observa que los mayores valores de Zn se correlacionan a rocas con asociación de alteración clorítica dominante, mientras que el Pb y Cu en rocas donde domina la asociación potásica.

10. DISCUSIÓN GENERAL

En este capítulo se discuten aspectos relacionados a la caracterización litológica, de alteración y mineralización, y mecanismos de transporte del transporte y depositación de oro en las distintas zonas de alteración hidrotermal. Se establece una secuencia paragenética de la litología, alteración y mineralización (sulfurada y del oro), implicancias exploratorias y metalúrgicas preliminares. Finalmente, se discute sobre la posible fuente magmática y los procesos involucrados en la formación de los pórfidos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula

10.1 Litología

Unidades Porfídicas

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I, II y III presentan una mineralogía primaria, texturas, composición y signatura geoquímica similares.

Una discriminación geoquímica de estas unidades no ha podido ser realizada ya que todas las unidades intrusivas presentan patrones geoquímicos de elementos mayores y traza muy similares. Además, los valores de sílice oscilan en rangos muy acotados ($\sim 57 - 64\% \text{ SiO}_2$), atribuyendo un carácter intermedio (dioritas, cuarzdioritas y escasas sienodioritas) a todas las unidades intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano. De acuerdo a lo anterior la mejor manera de clasificar las rocas intrusivas para el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, tanto para las Unidades Porfídicas como para el Complejo Andesítico Juanes es a partir de las características macroscópicas de mapeo de sondajes relacionadas directamente con los contenidos de oro y cobre, texturas igneas, densidad y estilo de vetillas, relaciones de contacto, tipo e intensidad de alteración hidrotermal y edades geocronológicas.

Las características mencionadas también se han reconocido en otros pórfidos de oro (pobres en cobre) como Cerro Casale, Marte, Lobo y el Distrito Refugio, los cuales parecieran ocurrir exclusivamente en asociación a pórfidos calcoalcalinos dioríticos y cuarzdioríticos (Vila & Sillitoe, 1991). Particularmente en muchos depósitos de oro y oro-cobre, las diferentes fases comúnmente son sutilmente diferentes o casi idénticas (Sillitoe, 2010).

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano las unidades más tempranas encontradas corresponden al Pórfido Diorítico I ubicado en una posición intermineral temprano en la evolución magmática-hidrotermal. Esta unidad, a pesar de mostrar fuertes efectos de alteración potásica ($IA = 3 a 5$; Ver Capítulo 8.2, Alteración Hidrotermal) y vetillas de cuarzo A y B que alcanzan hasta un 50 % volumen y una densidad de hasta 25 *v/m*, presenta ocasionales xenolitos de la roca huésped con vetillas de cuarzo truncadas en sus bordes que corroboran su carácter intermineral.

Existen evidencias que denotarían una unidad porfídica ubicada en una posición temprano mineral en la evolución magmática-hidrotermal, es decir, más temprana que la unidad Pórfido Diorítico I. Esta suposición se deduce a partir de observaciones de los testigos de sondajes del sector *NW* de Luciano, en la zona que abarca el sondaje *DDH – LUC – 018* del área de estudio (Figura 8 y 15: Capítulo Litología y Alteración Hidrotermal, 8.1 y 8.2). En este sector del pórfido *Au – Cu* Luciano se observan rocas huéspedes correspondientes a las unidades Pórfido Diorítico I y Complejo Andesítico Juanes, con alteración potásica de intensidad fuerte ($IA = 4 a 5$) y contenidos de oro $> 1.5 ppm Au$, lo que coincide con una alta densidad y volumen de vetillas ($15 – 25 v/m$ y $40 – 50\%$ volumen), donde las vetillas de cuarzo A (más tempranas) dominan sobre las de cuarzo B. Debido al predominio de vetillas de cuarzo A por sobre las B, existe una zona con un contenido de bornita mayor ($< 5\%$) que calcopirita la cual ocurre en vetillas y diseminada en la masa fundamental de los intrusivos. Estos efectos de alteración potásica y mineralización de oro y cobre en las rocas huéspedes del sector *NW* de Luciano, son mucho más intensos que los observados en otros sectores de los depósitos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula, lo que soporta la idea que en los alrededores de este sector se podría encontrar el pórfido temprano mineral aún no interceptado en la exploración.

Brechas

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano los cuerpos de brechas se considerarían eventos subordinados de mineralización, lo que se ha sustentado por su distribución, extensión, y características de alteración y mineralización.

En el sector de Úrsula el evento mayor de mineralización corresponde a un cuerpo de Brecha Intrusiva alterada. Sin embargo, las observaciones macroscópicas de mapeo de sondajes y los resultados del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) sugieren que la mineralización de oro se asociaría a un evento magmático-hidrotermal que originó una Unidad Porfídica con alta densidad de vetillas de cuarzo y alteración potásica (fragmentos con vetillas truncadas de la brecha), y no al evento posterior de brechización. La evidencia macroscópica que soporta esta hipótesis es la correlación entre contenidos de oro $> 0.5 – 1.0 ppm Au$ con tramos de testigos de sondaje con fragmentos de pórfido con vetillas de cuarzo truncadas ($20 – 40\%$ de vetillas truncadas en los fragmentos) y mineralización diseminada. Los tramos de testigos de sondajes que no presentan fragmentos con vetillas de cuarzo truncadas (porque dominan fragmentos provenientes de Unidades Preminerales) muestran una disminución considerable y abrupta de la mineralización de oro ($< 0.4 ppm Au$). Por otra parte, los resultados del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) sustentan esta hipótesis, ya que se detectó que $> 90\%$ de las partículas de oro se encuentran en los fragmentos y no en la masa fundamental de la brecha.

De las características descritas en el Capítulo de Litología (8.1) para la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula, el carácter polimíctico de la brecha (fragmentos intrusivos con o sin vetillas) y las variaciones observadas en los

componentes de la masa fundamental (sectores más ígneos hacia los contactos y más hidrotermal hacia el centro de la brecha) sugieren que para la formación de la brecha habrían ocurrido al menos tres fases de brechización: una magmática que intruyó y brechizó un cuerpo porfídico con una alta densidad de vetillas de cuarzo y mineralización de oro (que podría corresponder a una fase de la unidad Porfido Diorítico III, que se incorporó tanto como fragmentos y en la masa fundamental de la brecha); una hidrotermal, con incorporación de abundante clorita, illita, pirita, anhidrita y yeso en la masa fundamental; y una provocada por la intrusión de diques de inyección ígnea, la cual se ha observado en la parte profunda del cuerpo de la brecha en el sondaje *DDH – URS – 004*, cercano al dique que corta a la brecha perteneciente a la unidad Pórfido Diorítico III (Figura 10 y 17; Capítulo Litología y Alteración Hidrotermal 8.1 y 8.2), lo que puede sugerir alguna relación o vínculo entre ellos.

En otros sectores del *cluster* de pórfidos *Au – Cu*, en los depósitos de Luciano y Luciano Norte, la mineralización de oro $> 0.5 \text{ ppm Au}$ en cuerpos de Brechas Intrusivas alteradas se correlaciona a una alta densidad de vetillas ($> 10 – 15 \text{ v/m}$) que cortan a estos cuerpos. Las vetillas se formarían a partir de fluidos asociados a intrusiones interminerales como las de las unidades Pórfido Diorítico I y II, las que se ubican próximas a estos cuerpos de brechas.

Para las Brechas Intrusivas ocurre algo similar a las Brechas Intrusivas alteradas del sector de Luciano y Luciano Norte. Debido a su proximidad de las Brechas Intrusivas con cuerpos porfídicos, como en el sector de Luciano Norte (en los sondajes *DDH – LUN – 001* y *011*; Figura 9) las brechas presentan abundantes fragmentos de roca de la unidad Pórfido Diorítico I y son cortadas por vetillas de cuarzo tempranas alcanzando densidades de vetillas de hasta $10 – 12 \text{ v/m}$. Por esta razón, existiría un vínculo genético entre las brechas y las Unidades Porfídicas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, con mineralización asociada a las vetillas generadas de los eventos magmáticos-hidrotermales que dieron origen a rocas de las unidades Pórfido Diorítico I y II. Las Brechas Intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano podrían haber resultado de una liberación de volátiles explosiva y fragmentación de magma parental del Pórfido Diorítico I o II o fases intrusivas más tempranas (Sillitoe, 2010).

Las Brechas Magmáticas-hidrotermales a pesar de presentar mineralización de oro $\sim 0.5 \text{ ppm Au}$ se distribuyen de manera muy local y cubren un área menor en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano.

Unidades Preminerales

Un alcance con respecto a las Unidades Preminerales (Tobas daciandesíticas, Conglomerados, además de los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado) que hospedan gran parte de las Unidades Porfídicas y Brechas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano es que la alteración y mineralización en las rocas de estas unidades se encuentra restringida a las zonas de contacto con rocas de las unidades Pórfido Diorítico I y II. Es decir, los efectos de alteración y mineralización

no se extienden más allá de 100 m desde el contacto con los pórfidos mineralizadores. De esta forma es que las Unidades Preminerales del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano no se considerarían buenos receptores o huéspedes de la mineralización, ya que de serlo, la mineralización de oro no se limitaría a las zonas y bordes de los contactos con unidades mineralizadores, si no que se extendería en sentido lateral y con mayor intensidad.

La concentración principal de mineralización de los Complejos Andesítico Juanes y Autobrechizado se encontraría restringida a los conductos de ascenso magmático, en donde estas rocas sufren fuertes efectos de alteración ($IA = 3 a 5$) y desarrollan una alta densidad y volumen de vetillas ($> 10 v/m$ y $> 30 - 40\%$ volumen de vetillas).

10.2 Alteración Hidrotermal y Mineralización

Alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, es el producto de un sistema dinámico, dentro del cual la circulación de fluidos hidrotermales provenientes de magmas en cristalización (Pórfido Diorítico I, II y III) desarrollan zonas de alteración y mineralización de acuerdo a un patrón espacial, relacionado a temperaturas alcanzadas en distintos momentos y zonas de los sistemas porfídicos.

Los eventos de alteración y mineralización se habrían iniciado con alteración potásica, junto con la cual se habría introducido el oro y el cobre al sistema. Este hecho queda evidenciado por la fuerte correlación *Au – Cu* en zonas de intensa alteración potásica ($IA = 3 a 5$), además de alta densidad de vetillas de cuarzo A y B ($> 10 - 15 v/m$); (Figura 42).

Los efectos de alteración potásica en las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano explicarían los altos contenidos de potasio ($2 - 3.5\% K_2O$ para las rocas estudiadas; $1.79\% K_2O$ es el valor típico para dioritas; Le Maitre, R, 1976) y la tendencia geoquímica de alto-K de la mayor parte de las rocas estudiadas.

De manera contemporánea, a medida que el fluido hidrotermal ascendía y disminuía la temperatura del sistema, se habría desarrollado la alteración propilítica I, la cual ocurriría como una variación gradual vertical a la alteración potásica y superior al núcleo potásico (Figura 43), con la formación de vetillas transicionales bandeadas y en menor proporción bandeadas. Una variación más distal y lateral al núcleo de alteración potásica y a la alteración propilítica I, se ha distinguido como alteración propilítica II, a la cual no se le asocian vetillas de cuarzo ni mineralización de oro y marca el límite externo de cada uno de los depósitos Luciano, Luciano Norte y Úrsula.

La alteración propilítica se habría generado como una variación gradual de la alteración potásica a medida que la temperatura descendía (biotita y hornblenda

primaria son reemplazados por clorita). Sin embargo, el reemplazo de biotita hidrotermal por clorita observado en algunos cortes transparentes (Anexo E) podría sugerir una sobreimposición retrógrada (posterior a un evento potásico-propilítico prógrado), pero las evidencias no son suficientes para justificar esta hipótesis.

Durante y hacia el fin del desarrollo de la alteración *potásica-propilítica*, se habría desarrollado un evento de alteración sódico-férrica la que se sobrepondría a la asociación de alteración potásica y propilítica, pero ocurriría previo a la formación de las vetillas de cuarzo temprana (A y transicionales bandeadas) que la cortan. Se sugiere que esta alteración podría tratarse de un evento prógrado puntual hacia el término del evento *potásico-propilítico*. Este sería el modelo preferente para la alteración sódico-férrica en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, al igual que para la alteración albita-clorita-magnetita en el Distrito Refugio (Muntean & Einaudi, 2000).

Secuencia paragenética Litológica, de Alteración Hidrotermal y Mineralización

La mineralización de oro de los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula se relacionarían, en términos generales, a un solo evento hidrotermal de alteración *potásica-propilítico*, en que la mineralogía de oro habría sido depositada en al menos dos fases principales de mineralización (Figura 42 y 43):

La primera, una fase de alta ley de oro, mineralización de cobre, alteración potásica, asociada al emplazamiento multifásico de cuerpos de una Unidad Porfídica Temprana (aún no encontrada), Porfido Diorítico I y en menor medida de la unidad Pórfido Diorítico II. Además de mineralización en vetillas tempranas de cuarzo A y B, y mineralización diseminada con mineralogía sulfurada hipógena de bornita, calcosina-digenita, calcopirita, galena y menores contenidos de esfalerita, molibdenita, pirita acompañada de abundante magnetita hidrotermal. En esta primera fase, el oro de carácter principalmente nativo, se depositaría asociado con sulfuros de cobre (calcopirita y bornita), galena y en menor medida óxidos de hierro (magnetita).

Una segunda fase asociada a alteración propilítica I, más somera, correspondiente a una variación gradual vertical de la alteración potásica, la cual fue acompañada de cambios en el estilo de mineralización y asociación mineralógica sulfurada, con depositación de pirita y esfalerita, y en menor medida calcopirita, galena y tenantita. Gran parte de la mineralización se encontraría asociada a vetillas transicionales bandeadas (y escasas bandeadas) y mineralización diseminada. En esta segunda fase, una cantidad menor o igual de oro (que a la primera fase) se depositaría asociado con esfalerita, calcopirita, galena y de manera muy subordinada a óxidos de hierro y pirita.

Asociación Au – Cu

De acuerdo a las observaciones macroscópicas, microscópicas, geoquímicas y resultados de los análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) en rocas con alteración potásica y vetillas de cuarzo A y B, la asociación Au – Cu se produciría principalmente en conjunto a minerales de asociación de alteración *potásica-propilítica* (Figura 42 y 43).

Una estrecha relación entre el oro y el cobre, al igual que en el *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano, ha sido anteriormente descrita (Sillitoe, 1989 y 2000; Ulrich & Heinrich, 2001; Perelló et al., 2004b), donde el oro muestra una asociación espacial cercana con alteración potásica de alta temperatura y mineralización hipógena de cobre (Sillitoe 1989).

De acuerdo a Gammons & Williams- Jones (1997) la solubilidad del oro a temperaturas mayores a los 350°C (1 kbar) y fluidos ricos en potasio está principalmente dominada por complejos clorurados ($AuCl^-$) si los valores de H_2S son bajos, donde la solubilidad de oro decrece continuamente hasta los 300°C; o bien como complejo $Au(HS)_2^-$ si los valores de H_2S son altos (estabilidad de la pirita). El oro puede precipitar en respuesta a variados mecanismos, incluyendo enfriamiento, aumento del *pH* (neutralización ácida) y dilución con aguas meteóricas.

En el *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano, junto a la alteración potásica, el oro precipitaría junto a calcopirita y bornita como respuesta al enfriamiento del fluido hidrotermal en una zona cercana al núcleo del sistema porfídico. Solo una menor parte precipitaría de manera más distal en un gradiente de temperatura menor. Esta asociación mineralógica ha sido datada anteriormente a partir de experimentos (Candela, 1996) que muestran que el oro entra a la estructura del cobre como solución sólida $Cu(I) - Au(I)$, pero subsecuentemente se exsuelve al enfriarse para formar intercrecimientos de oro nativo y calcopirita. Según Cygan & Candela (1995) la residencia del oro como componente traza en minerales de cobre podría explicar la correlación positiva entre estos elementos en muchos depósitos de Cu – Au de afinidad magmática tales como Cerro Casale, Caspiche y el *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano.

En el caso de encontrar una Unidad Porfídica más temprana que la unidad Pórfido Diorítico I, y de ser así, un núcleo bornítico asociado a alteración potásica pervasiva, las leyes de oro podrían resultar hasta unos cuantos ppm más. Este supuesto se soporta de estudios realizados por Simon et al. (2000) y Kesler et al. (2002) que muestran que en asociaciones potásicas ricas en bornita las leyes de oro debiesen ser ~50 % mayor que en asociaciones potásicas ricas en calcopirita, como las encontradas hasta ahora. Esto se sustenta de observaciones experimentales en que la solución sólida de la bornita es capaz de incorporar a su estructura partículas de oro hasta en un orden de magnitud mayor que soluciones sólidas intermedias (calcopirita de alta temperatura).

Asociación *Au – Zn – Pb*

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* la mineralización de zinc y plomo habría ocurrido durante gran parte de la evolución de la alteración hidrotermal y mineralización de los sistemas porfídicos Luciano, Luciano Norte y Úrsula. Esto se correlaciona a los altos contenidos de zinc y plomo (en contraste a valores típicos de rocas dioríticas y de la Franja de Maricunga) obtenidos en los análisis geoquímicos para alteración potásica y propilítica I.

De acuerdo a las observaciones microscópicas y del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) los contenidos de *Zn* y *Pb* estarían controlados por fases minerales como esfalerita y galena. Sin embargo, se debe tener en consideración que una pequeña proporción del zinc podría ocurrir como elemento traza en anfíbolos, micas y magnetita; mientras que una pequeña proporción de plomo en feldespato potásico, plagioclasa, circón y magnetita (Best, 2003).

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano la precipitación de galena y esfalerita ocurriría (al menos) en dominios de alteración potásica y propilítica (I y II). Este hecho ha quedado registrado en algunas investigaciones (Bodnar, 1995; Heinrich et al., 1999; Ulrich et al., 1999; Wilkinson et al., 2008) en inclusiones de líquido hipersalino en vetillas de cuarzo formadas durante alteración potásica y en fluidos hidrotermales que han sufrido enfriamiento en contacto con rocas externas y dilución con aguas meteóricas en halos propilíticos que producen la precipitación de estos minerales (Hemley y Hunt, 1992; Corbett y Leache, 1995).

La asociación *Au – Zn – Pb* ocurriría en un ambiente de baja a intermedia sulfidización, baja salinidad, condiciones de pH neutro a alcalinas y temperaturas entre los 200 y 300°C, en el que la precipitación de sulfuros (por ejemplo pirita) llevaría al consumo de azufre reducido, y por consiguiente, a la saturación de oro por pérdida de la capacidad de transporte como complejo bisulfurado $Au(HS)_2^-$ (Seward, 1973; Stefánsson & Seward, 2004; Williams-Jones, Bowell & Migdisov, 2009; Gammons & Williams-Jones, 1997).

La galena y la esfalerita son sulfuros estables a temperaturas inferiores a 350°C, por lo que la asociación *Au – Zn – Pb* es típica en ambientes de baja temperatura. De esta manera, la precipitación de oro-galena y oro-esfalerita correspondería a un evento o fase más distal y/o tardía y distal a la precipitación de cobre y del núcleo potásico. Los resultados obtenidos indican que a pesar de que los contenidos de *Zn* y *Pb* aumenta en superficie y hacia los bordes o límites de los sistemas porfídicos, la razón galena/esfalerita aumenta en profundidad, hacia dominios de alteración potásica. Correlacionando estos resultados, junto con los obtenidos de los análisis mineralógicos TMS (QEMSCAN) se considera una variación vertical de la asociación *Au – Zn – Pb* desde una $Au – Pb \pm Zn$ en la zona potásica a una $Au – Zn \pm Pb$ en la zona propilítica I. (Figura 42 y 43).

La asociación *Zn – Pb* ha sido descrita en depósitos porfídicos de $Cu \pm Mo \pm Au$, donde los núcleos porfídicos de $Cu \pm Mo \pm Au$ típicamente desarrollan halos de

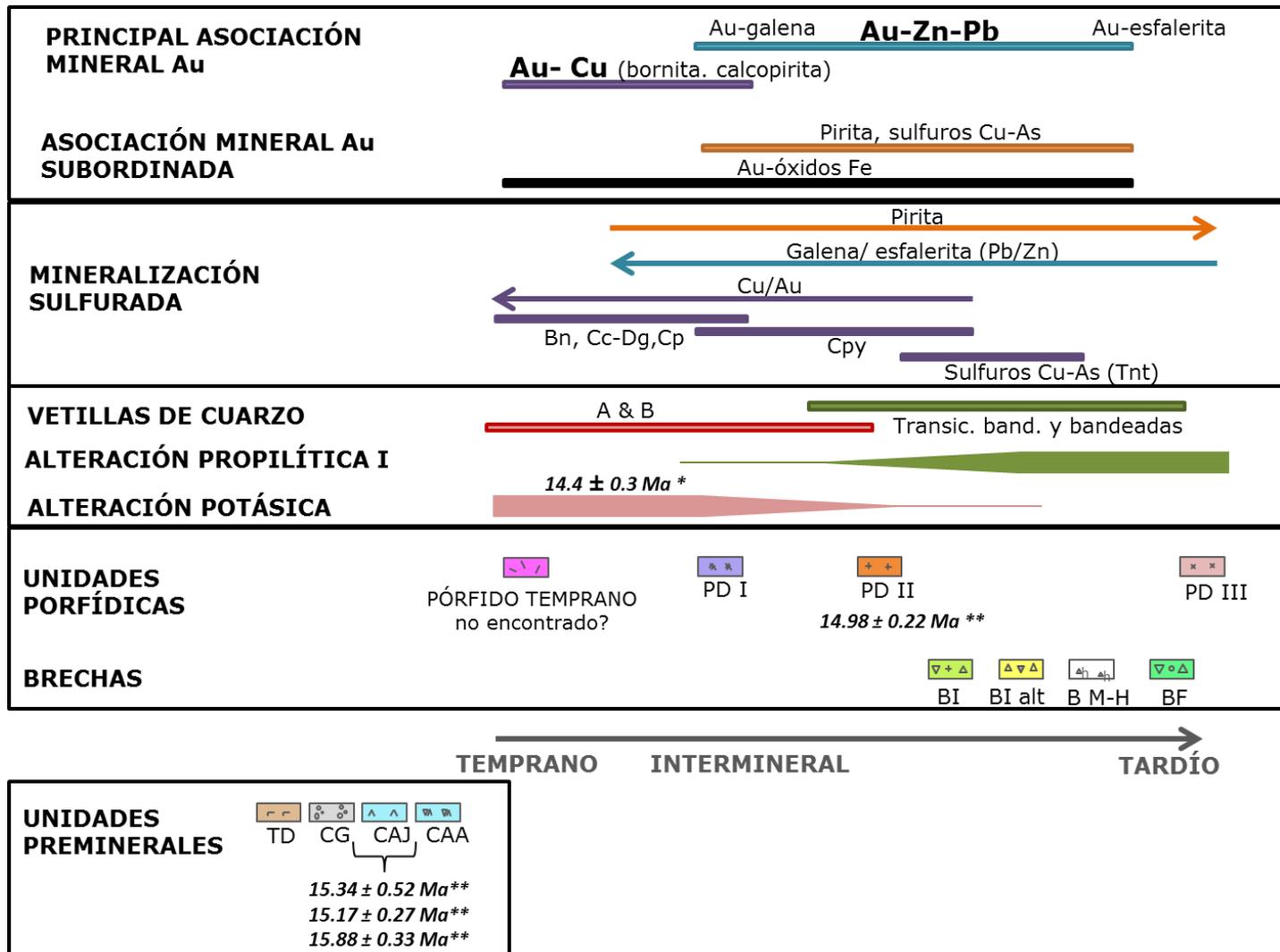


Figura 42. Resumen esquemático de la secuencia paragénetica litológica, de alteración hidrotermal y mineralización para el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano. Abreviaciones: TD= Tobas daci-andesíticas, CG= Conglomerados, CAJ= Complejo Andesítico Juanes, CCA= Complejo Andesítico Autobrechizado, PD I, II yIII= Pórfido Diorítico I, II y III, BI= Brecha Intrusiva, BI alt = Brecha Intrusiva alterada, B M-H= Brecha Magmática-hidrotermal, BF= Brecha Freatomagmática, Bn= Bornita, Cc-Dg= Calcosina-Digenita, Cp= Calcopirita, (*)= Edad geocronológica Ar-Ar en biotita hidrotermal, (**)= Edad geocronológica U-Pb en circones (Ver Capítulos 8.1 y 8.2 de Litología y Alteración Hidrotermal).

escala kilométrica definidos por anomalías de *Zn* y *Pb* y valores de *Ag*, que reflejan bajas temperaturas de las condiciones hidrotermales (Sillitoe, 2010). La mineralización de oro asociado a zinc y plomo en el distrito Casale y el resto de la Franja de Maricunga no es un evento que haya sido descrito anteriormente. Autores como Muntean & Einaudi (2000,2001), quienes han desarrollado variados estudios en la zona, solo mencionan la galena y esfalerita como minerales traza, sin mostrar ninguna asociación con la mineralogía del oro. Por otra parte, Sillitoe (2013) hace mención de una asociación *Au – Zn* en el depósito porfídico *Au – Cu* Caspiche, más al norte del distrito Casale en la Franja de Maricunga, en la que describe esta asociación como un evento tardío de mineralización de oro-zinc relacionado a zonas periféricas del depósito Caspiche, la cual coincide con una zona de 500 m de largo con mineralización de esfalerita-galena-calcopirita con leyes de oro sobre 1ppm *Au*. Sin embargo, este caso no es comparable al *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano ya que en Caspiche toda la parte central del depósito ha sido fuertemente sobreimpuesta por alteración argílica avanzada, lo que ha obliterado las texturas y la mineralización más temprana. Por lo que sería recomendable comparar este sistema con depósitos de edad similar, tales como Estrella y Eva, o con los depósitos del Distrito Refugio, los cuales presentan mayores similitudes de alteración y mineralización

Nivel relativo de erosión o exhumación de los depósitos Luciano, Luciano Norte y Úrsula

Las características de la alteración de los pórfidos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula dan indicios de los distintos niveles de erosión o exhumación de estos depósitos.

El depósito Luciano, presenta efectos de alteración potásica y sódico-férrica ($IA = 3 a 5$) con una mayor mineralización de bornita (en comparación a Luciano Norte y Úrsula) y un dominio de vetillas M, y de cuarzo A y B. Por otra parte, se reconocen indicios que darían cuenta de una Unidad Porfídica Temprana, lo que denota una mayor profundidad en este sistema que en los depósitos Luciano Norte y Úrsula (Figura 43).

En Luciano Norte se observa una clara transición de alteración potásica a propilítica, donde predomina la alteración propilítica I por sobre una potásica débil ($IA = 2 - 3$) y moderada ($IA = 3 - 4$) en profundidad. Al igual que en el depósito porfídico *Au – Cu* Luciano se reconoce una sobreimposición sódico-férrica de menor intensidad que en Luciano, además de una sobreimposición de alteración argílica en la parte alta y un dominio de vetillas transicionales bandeadas y escasas bandeadas.

Finalmente el depósito porfídico *Au – Cu* Úrsula presenta un predominio de alteración propilítica (clorita-illita) con arreglos subparalelos de vetillas de cuarzo transicionales bandeadas y bandeadas, sobreimposición de alteración argílica y silificación en la parte alta del sistema. En la parte más profunda de los sondajes perforados del sector de Úrsula se presenta alteración potásica débil ($IA = 1 a 2$;

transicional a una alteración propilítica). La mineralización de la Brecha Intrusiva alterada se relacionaría a vetillas truncadas de cuarzo en los fragmentos intrusivos porfídicos de esta.

Por lo tanto, considerando la distribución gradacional de manera vertical de la alteración potásica- propilítica I, el pórfido *Au – Cu* Luciano sería el más expuesto o exhumado, seguido del pórfido *Au – Cu* Luciano Norte y finalmente el pórfido *Au – Cu* Úrsula (Figura 43). Esta hipótesis se sustenta de la alteración potásica expuesta en superficie en Luciano, sumado a la escasa presencia de vetillas de cuarzo bandeadas en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, las cuales típicamente se presentan en otros depósitos de la Franja de Maricunga. Todas estas características serían evidencias de sistemas porfídicos *Au – Cu* erodados o exhumados.

La erosión o exhumación de los depósitos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula podría explicar la ausencia de *lithocaps* de alteración argílica avanzado en la parte alta de estos sistemas, los cuales son típicos de depósitos porfídicos *Au – Cu* dentro de la Franja de Maricunga (Vila & Sillitoe, 1991).

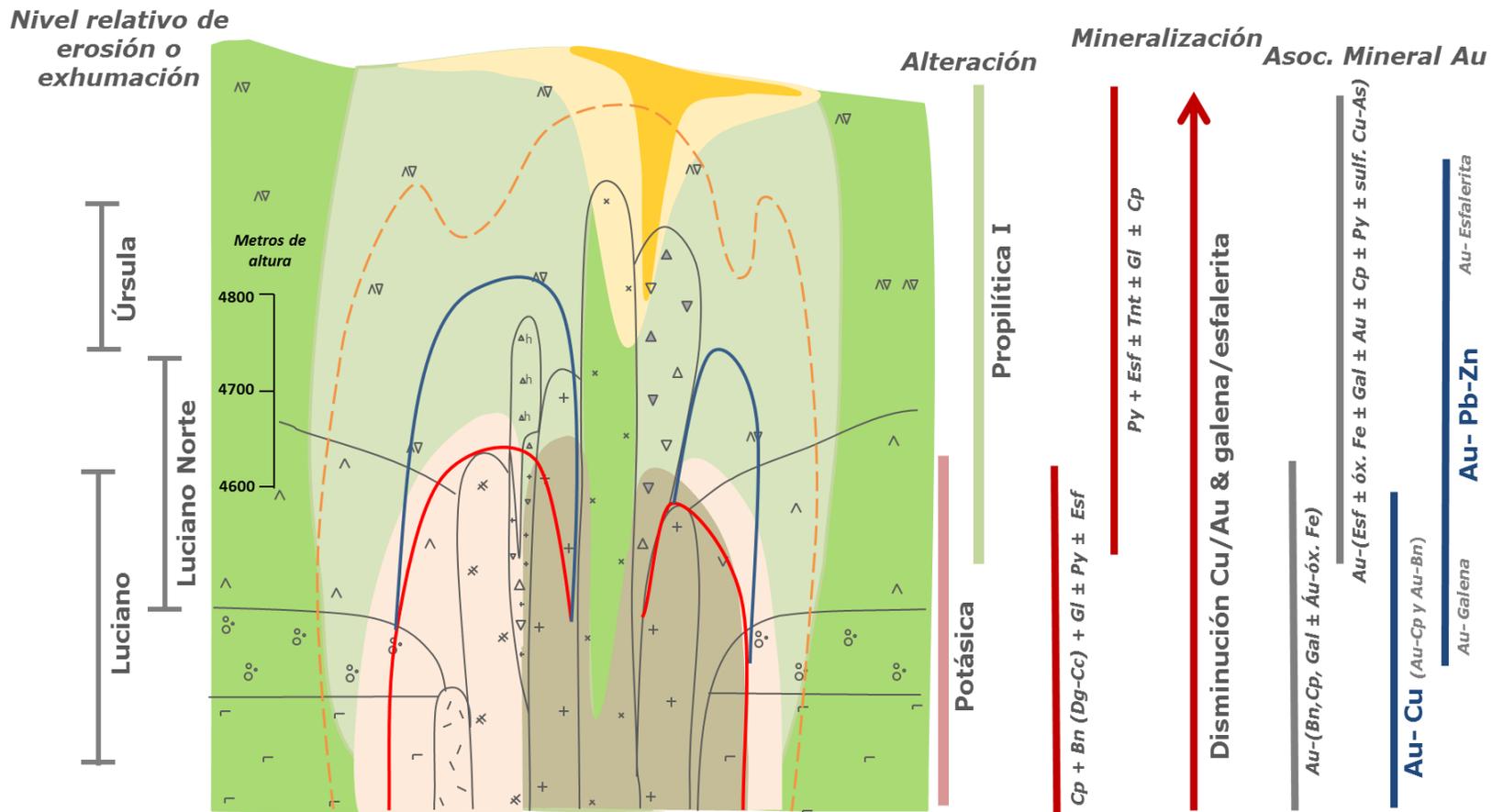
10.3 Implicancias preliminares metalúrgicas

De acuerdo a los resultados del análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) la mayor parte del oro detectado se encuentra libre asociado con galena, óxidos de hierro, pirita, esfalerita, sulfuros de *Cu – As* y minerales de alteración. Una menor proporción se encuentra encapsulada en minerales sulfurados, tales como esfalerita, calcopirita y bornita.

Los resultados preliminares de recuperación de oro muestran que habría alrededor de un 15 – 20 % en promedio de oro no cianurable o refractario.

De acuerdo a estudios metalúrgicos (*Reporte Interno SGS*) el oro refractario, resistente a la recuperación por cianuración directa, se atribuye a partículas de oro extremadamente finas encapsuladas totalmente por un mineral huésped que es impermeable a una solución de lixiviación por cianuración. Como resultado, el oro refractario requiere un pre-tratamiento físico o químico para alcanzar una adecuada recuperación de oro por cianuración tradicional. En base a estos antecedentes una hipótesis es que parte del oro no cianurable en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano se relacionaría a partículas de oro finas ($< 10 \mu m$) ocluidas en calcopirita, bornita y esfalerita principalmente.

En el análisis TMS (QEMSCAN) se detectaron partículas menores a $30 \mu m$, con la mayor proporción de partículas entre 5 y $10 \mu m$. Sin embargo, se debe tener en consideración que el límite de detección de un análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) es de unos 2 – $2.5 \mu m$ dependiendo de las condiciones de este. Por lo que no se puede descartar la presencia de partículas de oro refractarias bajo el límite de detección, que no hayan podido ser detectadas.



| LITOLÓGÍA | | ALTERACIÓN HIDROTHERMAL | | VETILLAS DE CUARZO | |
|-----------------------|--|-------------------------|--|--|---|
| Tardío mineral | <ul style="list-style-type: none"> x x Pórfido Diorítico III Δh Δh Brecha Magmática-hidrotermal Δ ▽ Δ Brecha Intrusiva alterada | Temprano mineral | <ul style="list-style-type: none"> □ Pórfido no encontrado (inferido en profundidad de Luciano) ⊞ ⊞ Complejo Andesítico Autobrechizado | <ul style="list-style-type: none"> Silicificación Argílica Propilítica II | <ul style="list-style-type: none"> Vetillas de cuarzo A y B |
| Intermineral | <ul style="list-style-type: none"> ▽ + Δ Brecha Intrusiva + + Pórfido Diorítico II * * Pórfido Diorítico I | Premineral | <ul style="list-style-type: none"> ^ ^ Complejo Andesítico Juanes o o Conglomerados □ □ Tobas daci-andesíticas | <ul style="list-style-type: none"> Propilítica I-sódico-férrica Potásica (K-Feld)-Sódico-férrica Potásica (Bt)-Sódico-férrica | <ul style="list-style-type: none"> Vetillas transicionales bandeadas y bandeadas Límite de vetillas de cuarzo tempranas |

Figura 43. Modelo esquemático litológico, de alteración hidrotermal y mineralización sulfurada y de oro para el cluster de pórfidos Au – Cu Luciano. En el modelo, la alteración sódico-férrica se superpone a la alteración potásica y propilítica.

Se sugiere realizar más estudios mineralógicos TMS (QEMSCAN) para corroborar los resultados obtenidos sobre las asociaciones mineralógicas principales del oro y tamaño de las partículas. Por otra parte, realizar un estudio con un Microscopio electrónico de Barrido (SEM) para conocer con mayor precisión las fases mineralógicas del oro (oro distinto a oro nativo) y determinar si las texturas observadas entre oro-galena-sulfuros de $Cu - As$, corresponderían a una exsolución mineral, inclusiones u otro tipo de textura.

10.4 Implicancias en la exploración

De acuerdo a Sillitoe (2000 y 2010) las Unidades Porfídicas Tempranas presentan mayores razones de Au y Cu , mayor intensidad de vetillas tempranas, de alteración y mineralización que el resto de las Unidades Porfídicas más tardías. En base a lo discutido anteriormente, que en el sector de Luciano habrían evidencias que denotarían la existencia de una unidad más temprana que la unidad Pórfido Diorítico I, en una profundida mayor a los 650 – 700 m se traza un vector de exploración para la búsqueda de una Unidad Porfídica de estas características y un posible núcleo de alteración potásica rico en bornita (Ver sub-capítulo de Discusión 10.3 Alteración Hidrotermal y Mineralización; Asociación $Au - Cu$)

De acuerdo a lo discutido de la Brecha Intrusiva alterada del sector de Úrsula (Ver subcapítulo de Discusión 10.2 Litología; Brechas), los contenidos de oro mayores a 1.5 $ppm Au$ se asociarían a un cuerpo porfídico (ya sea intermineral o temprano) con una alta densidad y alto volumen de vetillas de cuarzo (vetillas truncadas de los fragmentos). La búsqueda de este cuerpo porfídico se considera otro blanco de exploración. La hipótesis es que esta Unidad Porfídica se encontraría en profundidad o bien más alejado de la brecha (el sistema porfídico $Au - Cu$ Úrsula se encuentra abierto hacia el W, E y profundidad). Sin embargo, se sugiere realizar más análisis mineralógicos TMS (en fragmentos y masa fundamental de la brecha) para corroborar que efectivamente que la mineralización de oro se asocia a los fragmentos intrusivos y no a la masa fundamental, ya que solo se realizaron dos análisis TMS (en un fragmentos y en la masa fundamental) en este trabajo.

Finalmente, con los resultados obtenidos en este estudio se propone incluir los elementos zinc y plomo y sus minerales asociados esfalerita y galena, como elementos y minerales *pathfinders* de exploración. El zinc y el plomo no solo se concentrarían en las zonas de alteración y mineralización marginales y distales, o hacia los bordes de los sistemas porfídicos $Au - Cu$ Luciano, Luciano Norte y úrsula, si no que existiría una relación espacial y temporal entre alteración hidrotermal portadora de oro (*potásica-propilítica I*) y depositación de oro junto a esfalerita y galena.

10.5 Fuente magmática y procesos que dieron origen al *cluster* de pórfidos *Au – Cu*

De los resultados geoquímicos se discuten algunos indicios de la fuente magmática que originó los depósitos porfídicos *Au – Cu* Luciano, Luciano Norte y Úrsula.

Los procesos de cristalización fraccionada y diferenciación magmática habrían controlado la composición final de las rocas, y distintas etapas de enfriamiento, la textura porfídica de estas unidades.

Patrones similares de elementos incompatibles y tierras raras (Figura 31 A y B; Capítulo de Geoquímica 9.2.1) para las unidades intrusivas (Pórfido Diorítico I, II, y III, Complejo Andesítico Juanes y Autobrechizado) podrían sugerir una misma fuente magmática que dio origen a estos sistemas. Por otra parte, los diagramas geoquímicos de fertilidad de magmas (Figura 35, 36 y 37; Capítulo de Geoquímica 9.2.2) muestran que esta fuente magmática presentaría una signatura geoquímica idónea para la formación de sistemas hidrotermales ricos en oro y cobre.

El diagrama *spider* de elementos incompatibles (Figura 31 A; Capítulo Geoquímica 9.2.1) para unidades intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano muestra un enriquecimiento en elementos móviles (LILE) y un empobrecimiento en elementos inmóviles (HFSE). Los resultados obtenidos para estos sistemas porfídicos *Au – Cu* serían compatibles, de acuerdo a Gill, 1981; Harmon et al., 1981; Thorpe et al., 1984, con cierto grado de afluencia de componentes desde la corteza oceánica subductada y ausencia de componentes corticales en la génesis de rocas intermedias de los Andes. De esta manera, la contribución de elementos móviles (LILE) provendría de la deshidratación del *slab* subductante, lo que a su vez iniciaría los procesos de fusión parcial del manto (Hawkesworth, et al., 1979).

Las anomalías de *Nb*, *Ta* y *Ti* presentes en las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano son típicas de rocas relacionadas a arcos continentales. Estas anomalías podrían haber sido producto de la retención de una fase refractaria en la fuente, en donde *Nb*, *Ta* y *Ti* son fuertemente compatibles y donde los elementos móviles (LILE) son fuertemente incompatibles (Wilson, 1989; Pearce & Peate; 1995; Best, 2003).

Para las rocas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano, la cristalización fraccionada de minerales que contienen elementos inmóviles (HFSE) ocurriría dentro de la corteza inferior causando un empobrecimiento de estos elementos en el fundido (Thorpe et al, 1980). Por lo tanto, habrían grandes contribuciones corticales de HFSE desde una fuente predominantemente intracortical, más que de una derivada de procesos de subducción (Hildreth & Moorbath, 1988). El fraccionamiento de anfíbola, como la fase máfica principal en las Unidades Porfídicas, podría contribuir al empobrecimiento de HREE en las rocas.

Las rocas intrusivas pertenecientes al *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano muestran cambios fuertes en la pendiente del patrón de tierras raras (Figura 34 B; Capítulo Geoquímica 9.2.1) lo que se relaciona a variaciones en el contenido de TRP (tierras raras pesadas). Este patrón también han sido observado en rocas del Mioceno medio de la Franja de Maricunga (Mpodozis et al., 1995).

El aumento de la razón Sm/Yb refleja cambios dependientes de la presión con piroxeno, anfíbola y granate como minerales residuales en equilibrio con magmas evolucionados (Kay et al, 1991 y 2011, Mpodozis et al., 1995). De acuerdo a Hildreth & Moorbath (1988) la razón Sm/Yb se puede utilizar como guía para determinar un valor relativo de engrosamiento cortical, ya que la presión es influenciada por factores como la composición (*bulk composition*) y la temperatura, con lo que se infieren profundidades aproximadas. De esta forma, el piroxeno es dominante a profundidades $< 35\text{ km}$, la anfíbola $\sim 35 - 50\text{ km}$ y el granate $> 45 - 50\text{ km}$.

El granate, fase estable a alta presión, muestra una especial afinidad a las TRP y su presencia como fase residual en la zona de fuente de magmas origina patrones de tierras raras con fuerte pendiente, detectado por altos valores de la razón La/Yb , y especialmente por razones Sm/Yb elevadas (≥ 4). Por otro lado, la anfíbola también presenta una cierta afinidad con las TRP, sin embargo, muestra una mayor afinidad con las tierras raras medianas (TRM) por lo que su presencia como fase residual da origen a diseños concavos en los patrones de tierras raras o valores bajos de la razón Sm/Yb (Mpodozis et al., 1995)

En el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano (Figura 44; Capítulo de Geoquímica 9.2.1) las rocas intrusivas presentan valores elevados de la razón La/Yb , además de valores elevados de sodio y estroncio y anomalías pequeñas de europio que dan indicios de una fase residual granatífera. Sin embargo, los patrones de tierras raras también presentan débiles diseños cóncavos de empobrecimiento y relativamente bajas razones de Sm/Yb (Figura 44; Capítulo Geoquímica 9.2.1) compatible con una fase residual rica en anfíbola. Por lo que el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se habría formado bajo una transición progresiva de magmas en equilibrio con una fase mineral residual rica en anfíbola (residuos de una facie metamórfica hidratada anfíbolita/anfibolita \pm granate) de presión intermedia a una de granate de alta presión (facie metamórfica granulita/eclogita seca o anhidra) (Kay et al., 2001), estimando valores de una corteza engrosada $> 35 - 50\text{ km}$ (Hildreth & Moorbath, 1988).

En base a los estudios de Kay et al., 2001 la descomposición (o destrucción) de anfíbola liberaría cantidades significantes de fluido durante la fusión, dando como resultado a magmas hidratados. Por lo que la descomposición de la anfíbola, en una transición de magmas en equilibrio con una fase residual rica en anfíbola (hidratada) a una en granate, sería la responsable de la generación de mineralización y por ende de la formación de los depósitos de Au y Cu , tales como el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano (Figura 44). La signatura geoquímica dominada por granate está presente mayormente en magmas silíceos post-mineralización de la Franja de Maricunga y otras Franjas como la de El Teniente y El Indio. La mayor parte de los depósitos no se asocia a magmas en equilibrio con granate (como fase residual) ya que carecen una fuente de fluidos adecuada (Kay et al., 2001).

Los contenidos de Sr y Eu de los diagramas *spider* y de tierras raras del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano (Figura 31 A y B; Capítulo Geoquímica 9.2.1) sugieren una ausencia o bajo contenido de plagioclasa en la fuente y/o un mínimo fraccionamiento de este mineral en etapas tardías de cristalización (Best, 2003). La presencia de agua en los fundidos disminuiría las condiciones de temperatura y presión para la formación de plagioclasa, aumentando el campo de cristalización de

la anfíbola (Gill, 1981; Green, 1982). Este hecho estaría soportado por la presencia de anfíbola en los Pórfidos Dioríticos I, II y III.

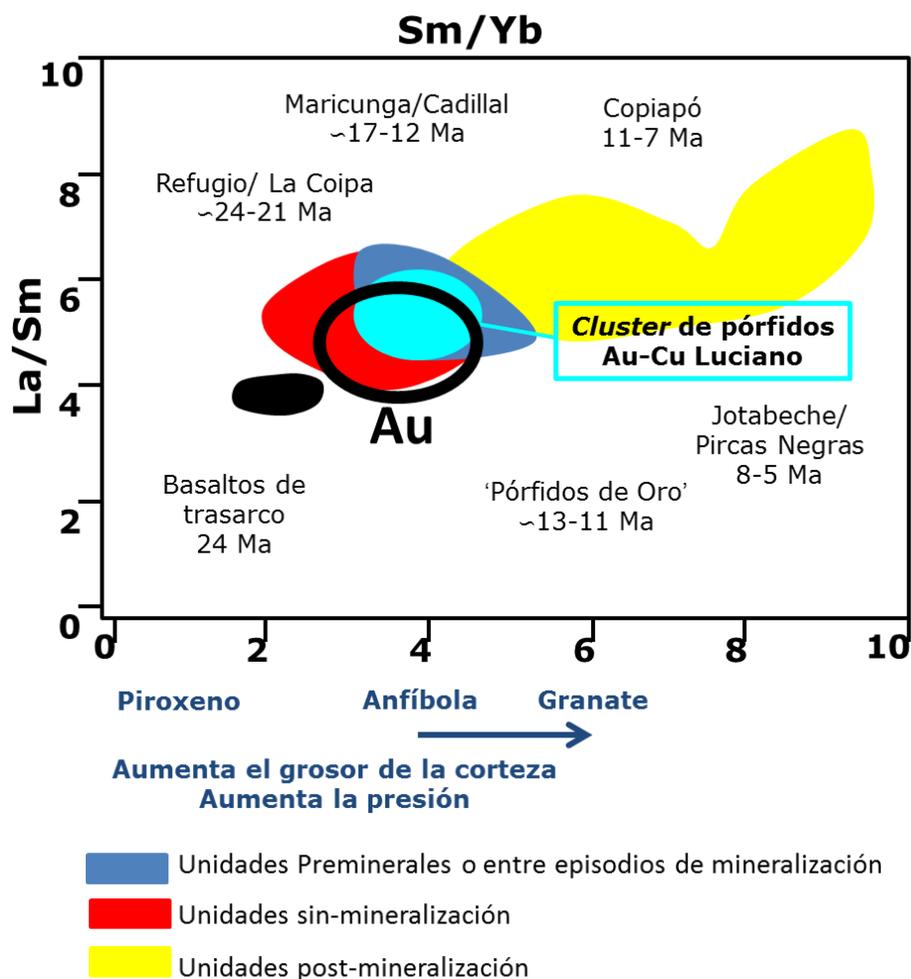


Figura 44. Diagrama Sm/Yb (pendiente de TRP-tierras raras pesadas) versus La/Sm (pendiente de TRL-tierras raras livianas) para la Franja de Maricunga, adaptado de Kay et al., 2001), en el que se incluye la ubicación del cluster de pórfidos Au – Cu Luciano ~15Ma. Los cambios en la razón La/Yb están relacionados a cambios de la pendiente de las TRP, ligados a cambios desde asociaciones mineralógicas residuales con piroxeno, a anfíbola hacia asociaciones de alta presión dominada por granate. En la figura los colores azul, rojo y amarillo indican unidades pre, sin y post- mineralización, respectivamente. La línea negra gruesa engloba campos para magmas formados cercanos a los tiempos de mineralización de oro (Au). Las muestras en el campo Au presentan razones Sm/Yb de magmas en equilibrio con una fase mineral residual de anfíbola en transición a una con granate. Adaptado de Kay et al., 2001.

La textura seriada observada en las plagioclasas, tanto de los fenocristales como de la masa fundamental, sugieren que los procesos de cristalización de las unidades intrusivas habrían continuado durante el ascenso de magma etapa a etapa (Gil-Rodríguez, 2010), y la textura poikilítica observada en algunos cristales de plagioclasa englobando cristales de hornblenda y no al contrario (Anexo E; muestra 560053908) indicaría que el fraccionamiento de este mineral es importante, al menos, en las últimas etapas de cristalización del sistema.

La textura porfídica sería una evidencia de primer orden del emplazamiento magmático somero, que da origen a intrusivos asociados a depósitos mineralizados (Candela, 1997). De acuerdo a Muntean & Einaudi (2000) en el Distrito Refugio las unidades porfídicas se emplazan a profundidades entre 0.5 y 1.5 km. Esta textura es típica además de rocas volcánicas y subvolcánicas (hipoabisales) emplazadas en forma de dique subverticales provenientes de intrusiones magmáticas multifásicas, dentro de los cuales, aquellos que presentan un menor diámetro, pueden ser de textura más fina y aquellos de mayor diámetro, de textura más grueso (Sillitoe, 2000 y 2010), lo que explicaría las variaciones texturales de rocas intrusivas pertenecientes a una misma unidad litológica.

El carácter cogenético (geoquímico) de las unidades intrusivas, el emplazamiento somero de los magmas, sumado a los datos geocronológicos utilizando el método geocronológico $U - Pb$ en circones ($< 1 Ma$ entre la cristalización del Complejo Andesítico Juanes y el Pórfido Diorítico II), sugieren que casi no se desarrolló una diferenciación magmática en el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano.

11. CONCLUSIONES

La secuencia paragenética litológica, de alteración, mineralización sulfurada y de oro para el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se presenta a continuación.

La litología comprende Unidades Preminerales conformadas por una unidad de Tobas daci-andesíticas ubicadas en la base, seguidos de una unidad de Conglomerados; ambas dispuestas de manera sub-horizontal en el área de estudio. Sobre este paquete de rocas, se dispone el Complejo Andesítico Juanes y Complejo Andesítico Autobrechizado los cuales hospedan la mayor parte de las Unidades Porfídicas y Brechas. Los eventos de alteración hidrotermal y mineralización se encuentran principalmente relacionados a rocas intrusivas definidas como Unidades Porfídicas denominadas Pórfido Diorítico I, II y III, ubicadas en posiciones intermineral temprano, intermineral y tardío mineral dentro de la evolución magmática-hidrotermal del *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano, respectivamente. Sin embargo, habría evidencias que denotarían la existencia de una Unidad Porfídica más temprana (que el Pórfido Diorítico I), aún no interceptada por sondajes, en profundidad del depósito Luciano.

Las rocas de la unidad Pórfido Diorítico I, II y III se caracterizan por presentar una composición mineralógica, textural y química similar. Sin embargo, cada una de estas unidades presenta una asociación temporal y espacial determinada con la mineralización de oro, denotado por características de alteración hidrotermal, estilo de vetillas y mineralización sulfurada.

Las brechas presentan una distribución local y abarcan un área restringida y representan un volumen menor al 5% de los depósitos en estudio. Las Brechas Intusivas alteradas son las que presentan un mayor desarrollo en el *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano representando el evento principal de mineralización del

depósito porfídico *Au – Cu* Úrsula. Sin embargo, la mineralización de oro de esta brecha se asociaría a los fragmentos porfídicos con vetillas truncadas de cuarzo y no a la masa fundamental ni al evento de brechización. Por lo que se recomienda como un blanco de exploración en Úrsula la búsqueda de una Unidad Porfídica mineralizada (con alta densidad y volumen de vetillas de cuarzo) más profunda.

Las unidades intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* conformadas por las Unidades Porfídicas y Complejo Andesítico Juanes se caracterizan geoquímicamente por presentar una composición intermedia de SiO_2 (diorítico; 57-64.8 % SiO_2), signatura calcoalcalina (medio a alto K) y adakítica, pertenecer a la serie subalcalina, en un contexto de arco volcánico en un margen continental activo. Todas estas rocas presentan comportamientos similares de elementos incompatibles y tierras raras, por lo que no se muestran patrones geoquímicos evolutivos con el fin de discriminar entre unidades preminerales, interminerales y tardías en la evolución magmática-hidrotermal de los sistemas porfídicos *Au – Cu*. Las rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano presentan un carácter cogenético sugiriendo una misma fuente de magmas para estas unidades.

En el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* se ha determinado una zonación vertical de la alteración, mineralización sulfurada y asociación mineralógica del oro desde el núcleo potásico. La alteración hidrotermal varía verticalmente desde una zona profunda, de alteración potásica, con un predominio de vetillas de cuarzo A y B (sector de Luciano), a una zona superior de alteración propilítica I con predominio de vetillas de cuarzo transicionales bandeada y escasa bandeada (Sector Luciano Norte y Úrsula). La transición de alteración potásica a propilítica I ocurriría como una gradación de la alteración potásica producto de la disminución de la temperatura a medida que se someriza en los sistemas porfídicos, por lo que se ha definido solo un evento hidrotermal principal de alteración y mineralización *potásico-propilítico*.

La alteración *potásica-propilítica I* gradaría de manera lateral y distal hacia una alteración propilítica II, y es sobreimpuesta en la parte profunda por asociaciones de alteración sódico-férrica (Sector Luciano y Luciano Norte) y en superficie por asociaciones de alteración argílica y silicificación (Sector Luciano Norte y Úrsula).

La alteración hidrotermal en el *cluster* de pórfidos *Au – Cu* Luciano es un evento condicionado por intrusiones multifásicas, es decir, cada pulso de intrusión porfídica (temprana, intermineral y tardía) generaría un mismo patrón de alteración hidrotermal. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, estos efectos se tornarían más débiles y menos mineralizados.

Las partículas de oro detectadas corresponden principalmente a oro nativo de hasta $30 \mu m$, las cuales se encuentran ocluidas o asociadas con minerales sulfurados. La mayor parte del oro se encuentra libre asociada con galena, óxidos de hierro, minerales de alteración y menor esfalerita, pirita y sulfuros *Cu – As*. Una menor proporción del oro se encuentra ocluida en calcopirita, bornita y esfalerita. Las partículas de oro que se hayan ocluidas son las más pequeñas presentando tamaños entre los $5 – 10 \mu m$, lo que se ha correlacionado a un 15 – 20% en promedio de oro no cianurable o refractario.

Se han determinado dos asociaciones principales de mineralización de oro: $Au - Cu$ y $Au - Zn - Pb$ relacionadas al evento de alteración *potásico-propilítico I*, y asociaciones subordinadas con óxidos de hierro, pirita y sulfuros $Cu - As$.

La asociación mineral $Au - Cu$ se relaciona a la alteración potásica, mientras que para la asociación $Au - Zn - Pb$ habrían dos predominios de alteración hidrotermal: $Au - Pb \pm Zn$ relacionada a alteración potásica y $Au - Zn \pm Pb$ relacionada a alteración propilítica I. Esto se relaciona a la fuerte correlación existente entre $Au - Cu$ y la relación decreciente Cu/Au y galena/ esfalerita (Pb/Zn) a medida que se gradúa de un predominio de alteración potásica a uno clorítico y los minerales sulfurados asociados para cada una de las asociaciones de alteración principal.

La relación $Au - Cu$ es un reflejo de una asociación de mayor temperatura, donde el oro y el cobre han sido introducidos en conjunto como componentes principales de la alteración potásica. Por otra parte, la asociación $Au - Zn - Pb$, se relaciona a ambientes de menor temperatura, por lo que la depositación de oro con galena y esfalerita representaría un evento más distal al núcleo potásico y/o más tardío a la precipitación de oro con cobre.

Las características litológicas, la distribución vertical de la alteración y mineralización, indicarían que los depósitos porfídicos $Au - Cu$ en estudio presentarían distintos niveles de erosión o exhumación, donde Luciano es el depósito más erodado o exhumado, seguido de Luciano y finalmente Úrsula.

El *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ presenta una signatura geoquímica de magmas fértiles en oro-cobre que habrían evolucionado en niveles profundos de una corteza engrosada, presentando características litológicas y de alteración típicas de los sistemas porfídicos $Au - Cu$ de la Franja de Maricunga. El *cluster* de pórfidos $Au - Cu$ Luciano se habría formado bajo una transición progresiva de magmas en equilibrio con una fase mineral residual rica en anfíbola de presión intermedia a una de granate de alta presión (Kay et al., 2011), estimando valores de una corteza engrosada $> 35 - 50 \text{ km}$ (Hildreth & Moorbath, 1988).

12. BIBLIOGRAFÍA

- Arancibia, O., & Clark, A. 1996. Early Magnetite-Amphibole-Plagioclase Alteration-Mineralization in the Island Copper Porphyry Copper-Gold-Molybdenum Deposit, British Columbia. *Economic Geology*, Vol. 91, 1996, pp. 402-438.
- Arévalo, C., Rivera, O., Iriarte, S., Mpodozis, C. 1994. Cuencas extensionales y campos de caldera del Cretácico Superior-Terciario Inferior en la Precordillera de Copiapó (27°-28° S), Chile. Congreso Geológico N° 7, Actas. Vol II, pp. 1288-1292, Concepción.
- Ayling, B., Rose, P., Petty, S., Zemach, E., & Dracos, P. 2012. QEMSCAN® (QUANTITATIVE EVALUATION OF MINERALS BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY): CAPABILITY AND APPLICATION TO FRACTURE CHARACTERIZATION IN GEOTHERMAL SYSTEMS. Proceedings, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, California, January 30-February 1, 2012. SGP-TR-19.
- Barazangi, M., & Isacks, B. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America, *Geology*, v.4, pp. 686-692.
- Best, M. G. 2003. *Igneous and metamorphic petrology*. Second Edition, Blackwell Science Ltd.
- Bodnar, R. J. 1995. Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits. *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*, v. 23, p. 139-152.
- Brüggen, J. 1950. *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geográfico Militar (Chile), 374 pp. Santiago.
- Candela, P. 1997. A review of shallow, ore-related granites: textures, volatiles, and ore metals. *Journal of Petrology*. Vol. 38, N° 12, pages 1619-1633.
- Carrasco, R. 1999. *Geología, Geoquímica y Alteración Hidrotermal del Sector Quebrada Pantanillo Copiapó, III Región Chile*. Memoria (Geólogo), Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, 145 pp.
- Carten, R. B. 1987, Sodium-calcium metasomatism: chemical, temporal, and spatial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit: *Economic Geology*, v. 81, p. 1495-1519.
- Clark, A., Mortimer, C., & Sillitoe, R. 1967. Implications of the isotopic ages of ignimbrites flows, southern Atacama Desert, Chile. *Nature*, Vol. 215, pp. 723-724.
- Corbett, G., & Leach, T. 1998. Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization: Special Publication 6, Society of Economic Geologists, 238 p.
- Cornejo, P., Mpodozis, C., Ramírez, C., Tomlinson, A. 1993. *Estudio Geológico de la Región de El Salvador y Potrerillos*. Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO. Informe Registrado, N° 1, 250 pp.

Cornejo, P & Mpodozis, C. 1994. Estratovolcanes y domos coalescentes del Oligoceno Superior- Mioceno Inferior en la Franja de Maricunga: los sistemas Cerros bravos-Esperanza y La Coipa. Congreso Geológico Chileno N° 7, Actas. Vol I, pp. 13-17, Concepción.

Cornejo, P., Mpodozis, C., Kay, S., Tomlinson, A. 1994. Volcanismo bimodal potásico en régimen extensional del Cretácico Superior- Eoceno en la región de El Salvador (26°-27° S), Chile. Congreso Geológico Chileno, N° 7, Actas, Vol. 2, pp. 1306-1310. Concepción.

Cornejo, C. 2000. Pórfidos de oro de la Franja de Maricunga, III Región, Chile: una revisión actualizada. Memoria para optar al título de geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Dilles, J. H., & Einaudi, M. T., 1992, Wall- rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann- Masson porphyry copper deposit, Nevada: A 6 km vertical reconstruction: *Economic Geology*, v. 87, p. 1963-2001.

Gammons, C. H., & Williams- Jones, A. E. 1997. Chemical mobility of gold in the porphyry Epithermal Environment. *Economic Geology*. Vol. 92. 1997, pp. 45-59.

Gamonal, S. 2007 .Exploración Minera del Distrito Pantanillo, Franja de Maricunga, Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Gill, J. B., 1981, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*: New York, Springer-Verlag, 390 p.

Gil-Rodriguez, J. 2010. Igneous Petrology of the Colosa gold-rich porphyry system (Tolima, Colombia). Tesis for the degree of Professional science master . Department of Geosciences, The University of Arizona.

Green, T. H., 1982. Anatexis of mafic crust and pressure crystallization of andesite, *in* Thorpe, R.S., ed., *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*: Chichester, John Wiley & Sons, p. 465- 487.

Gregory, M., Lang, J., Gilberts, S., & Hoal, K. 2013. Geometallurgy of the Pebble Porphyry Copper-Gold-Molybdenum Deposit, Alaska: Implications for gold distribution and paragenesis. *Economic Geology*, v. 108, pp. 463-482.

Gustafson, L., & Hunt, J. 1985. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, v. 70, p. 857-912.

Harmon, R. S., Thorpe, R. S., & Francis, P. W. 1981. Petrogenesis of Andean andesites from combined O-Sr isotope relationships: *Nature*, v. 290, p. 396-399.

Hehneke, C., Ballantyne, G., Martin, H., Hart, W., Schwarz, A., & Stein, H. 2012. Geology and exploration progress at the Resolution porphyry Cu-Mo deposit: *Economic Geology* (special volume). Society of economic Geologist, Inc. Special Publication 16, pp.147-166.

Heinrich, C. A., Günther, D., Audétat, A., Ulrich, T., & Frischknecht, R. 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions. *Geology*, v. 27, p. 755-758.

Hemley, J. J., & Hunt, J. P. 1992. Hydrothermal ore-forming processes in the light of studies in rock-buffered systems. II. Some general geologic applications. *Economic Geology*, v. 87, p. 23-43.

Hildreth, W., & Moorbath, S. 1988, Crustal contributions to arc magmatic in the Andes of central Chile: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 98, p. 455-489.

Jaime-Jara, P. (2006). Mineralogía y Microtermometría del sistema de vetillas del prospecto Quebrada Seca, Franja de Maricunga, III Región de Atacama, Chile. Memoria de Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Chile. Inédito. 106 p.

Kay, S., & Mpodozis, C. 2001. Central Andean Ore Deposit Linked to Evolving Shallow Subduction Systems and Thickening Crust. *GSA TODAY*, March 2001.

Kay, S., Mpodozis, C., & Gardeweg, M. 2014. Magma sources and tectonic setting of Central Andean andesites (25.5-28°S) related to crustal thickening, forearc subduction erosion and delamination. *Geological Society, London, Special Publications 2014*, v. 385; p303-334.

Kesler, S. E., Chryssoulis, S. L., & Simon, G., 2002. Gold in porphyry copper deposits: Its distribution and fate: *Ore Geology reviews*, v. 21, p. 103-124.

Leach, T.M., & Corbett, G.J., 1995. Characteristics of low sulfidation gold-copper systems in the southwest Pacific, in *Pacific Rim Congress 95*, 19-22 November 1995, Auckland, New Zealand, proceedings: Carlton South, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 327-332.

Le Maitre, R. W. 1976. The chemical variability of some common igneous rocks. *Journal of Petrology*. 17:589-637.

Loucks, R. 2000. Predictive guides to copper and gold mineralization at Circum-Pacific Convergent Plate Margins. Part 1: development of petrochemical discriminants of metallogenically fertile calc-alkalic igneous suites and their application to regional assessments of gold and copper prospectivity of Neogene and Cuaternary volcano-plutonic center throughout Chile and southwestern Bolivia. Research School of Earth Sciences, Institute of Advanced Studies. The Australian National University, Canberra, A. C. T. 0200.

Mahlburg, S., Mpodozis, C., Tittler, A., & Cornejo, P. 1994. Tertiary Magmatic Evolution of the Maricunga Mineral Belt in Chile. *International Geology Review*, Vol 36, 1994, p. 1079-1112

Mercado, M. 1982. Hoja Laguna del negro Francisco, región de Atacama 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geol. Chile, nº 56, 73 pp.

- Mortimer, C. 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 129, pp. 505- 526.
- Mpodozis, C., Allmendinger, R., & Jordan, T. 1991. La zona del Nevado de Jotabeche y la Laguna del Negro Francisco: Evolución Tectónica y volcánica de la extremidad meridional del Altiplano chileno. Congreso Geológico N° 6, pp 91-95, Viña del Mar, Chile.
- Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S., Tittler, A. 1995. La franja de Maricunga: síntesis de la evolución del frente volcánico Oligoceno-Mioceno de la zona sur de los Andes centrales. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 22, N° 2, pp. 273-313.
- Mpodozis, C. 1998. Mapa Geológico de la Región del Nevado Jotabeche 1: 100.000. Proyecto Fondecyt 149/92.
- Muntean, J . 1998. Magmatic-Hydrothermal Gold deposits of the Maricunga Belt, Northern Chile. Tesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Stanford University.
- Muntean, J., & Einaudi, M. 2000. Porphyry Gold Deposits of the Refugio District, Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology* Vol. 95, 2000, pp. 1445-1472.
- Muntean, J., & Einaudi, M. 2001. Porphyry-Epitermal Transition: Maricunga Belt, Northern Chile- *Economic Geology* Vol. 96, 2001, pp. 743-772
- Murakami, H., & Hun Seo, J. 2010. The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry- style Cu- Au± Mo deposits. *Miner Deposita* (2010) 45:11-21
- Palacios, C., Hérail, G., Townley, B., Makshev, V., Sepúlveda, F., de Parseval, P., Rivas, P., Lahsen, A., & Parada, M.A. 2001. The composition of gold in the Cerro Casale gold-rich porphyry deposit, Maricunga Belt, Northern Chile. *The Canadian Mineralogist* Vol. 39, pp. 907-915.
- Pearce, J. A., & Peate, D. W. 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas: *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, v. 23, p. 251-285.
- Perelló, J., Brockway, H., & Martini, R. 2004b. Discovery and geology of the Esperanza porphyry copper-gold deposit, Antofagasta Region, northern Chile: *Society of Economic Geologists Special Publication* 11, p. 167-186.
- Rabbia, O. M., Hernández, L. B., & King, R. W. 2004. Dual lithophile/chalcophile behavior of Mo in porphyry Cu-Mo systems. Abstract, *Goldschmidt Conference, Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 68, n11S, pag A295.
- Richards, S., & Holm, R. 2013. Chapter 8 Tectonic Preconditioning and the Formation of Giant porphyry Deposits. ©2013 Society of economic Geologist, Inc. *Special Publication* 17, pp. 265-275.
- Rodríguez, M., Osvaldo, R., Branco. R., Carrasco, M., & Romero, I. 1997. Caracterización geoquímica de granates del yacimiento Verde, distrito Refugio, III Región, Chile: Congreso Geológico Chileno 8th, Actas, Antofagasta.

- Segerstrom, K. 1959. Cuadrángulo Los Loros, provincia de Atacama. Inst. Invest. Geolo., Carta Geol. Chile N° 1, 32p.
- Segerstrom, K. 1968. Geología de las Hojas de Copiapó y Ojos del Salado, Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, N° 24, 58 pp.
- Seward, T. M. 1973. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 37: 379-399.
- Sillitoe, R. 1989. Gold deposits in western Pacific island arcs: The magmatic connection, in Keays, R. R, Ramsay, W. R. H, & Groves, D. I., eds. , *The geology of gold deposits: The perspective in 1988: Economic Geology*, v. 84, p. 1805-1816.
- Sillitoe, R., McKee, E., & Vila, T. 1991. Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold-silver belt, northern Chile. *Economic Geology*; Octubre 1991: v. 86; no. 6 ; pp. 1261-1270.
- Sillitoe, R. 2000. Gold- Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery. *SEG Reviews*. Vol. 13, 2000, p.315-345.
- Sillitoe, R., & Perello, J. 2005. Andean Copper province: Tectonomagnetic Settings, Deposit Types, Metallogeny, Exploration, and Discovery. *Economic Geology 100th Anniversary Volume* pp. 845-890.
- Sillitoe, R. 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, v. 105, pp- 3-41
- Sillitoe, R., Tolman, J., & Van Kerkvoort, G. 2013. Geology of the Caspiche Porphyry Gold-Copper Deposit, Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology*, v. 108, pp. 585-604.
- Simon, G., Kesler., S.E., Essene, E.J., & Chryssoulis, S.L. 2000. Gold in porphyry copper deposits. Experimental determinations of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400-700° C. *Economic Geology*, v. 95, p. 259-270.
- Stefánsson, A., & Seward, T.M., 2004. Gold (I) complexing in aqueous sulphide solutions at 500° C at 500 bar. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 68: 4121- 4143.
- Thorpe, R. S., Francis, P. W., & Harmon, R. S. 1980. Andean Andesites and crustal growth: *Revista Geológica de Chile*, v. 10, p. 53-70.
- Thorpe, R. S., Francis., P. W., & O' Callaghan, L. 1984. Relative roles of source composition, fractional crystallization and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanics rocks: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series A*, c. 310, p. 675-692.
- Tosdal, R., Dilles, J., & Cooke, D. 2009 . From Source to Sinks in Auriferous Magmatic-Hydrothermal Porphyry and Epithermal Deposits. *Elements*, Vol. 5, PP. 289-295.

Urqueta, E., Orrego, M., Dominguez, R., Morelli, P., & Jara, C. 2010 . Review of the geological model of Cerro Casale Project. Preliminary results. *Reporte interno Barrick*.

Ulrich, T., & Heinrich, C.A, 2001, Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit Bajo de la Alumbrera, Argentina: *Economic Geology*, v. 96, p. 1719-1742.

Ulrich, T., Günter, D., Heinrich, C. A. 1999. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits. *Nature*, v. 399, p. 676-679.

Vásquez, R. 1999. Levantamiento geológico distrital del prospecto de oro (plata) Pantanillo. Franja de Maricunga, Tercera Región de Atacama, Chile. Memoria (Geólogo), Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas.

Vila, T., & Sillitoe, R. 1991 . Gold-Rich Porphyry Systems in the Maricunga Belt, Northern Chile. *Economic Geology* Vol. 86, 1991, pp. 1238-1260.

Wilkinson , J. J., Wilkinson, C. C., Vry, V. H., Rusk, B. G., Séguel, J., Zentilli, M. & Jeffries, T. E. 2008. Ore fluid chemistry in super-giant porphyry copper deposits (ext. abs.) Pacrim Congress 2008, Gold Coast, Queensland, 2008, Extended Abstracts: Melbourne, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 295-299.

Williams-Jones, A., Bowell. R., & Migdisov, A. 2009. Gold in solution. *Elements*, Vol. 5, pp. 281-287.

Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*: Dordrecht Springer, 466 p.

Winocur, D. 2010. Informe de Mapeo Geológico Cerro Casale 1:10.000. *Reporte interno Barrick*.

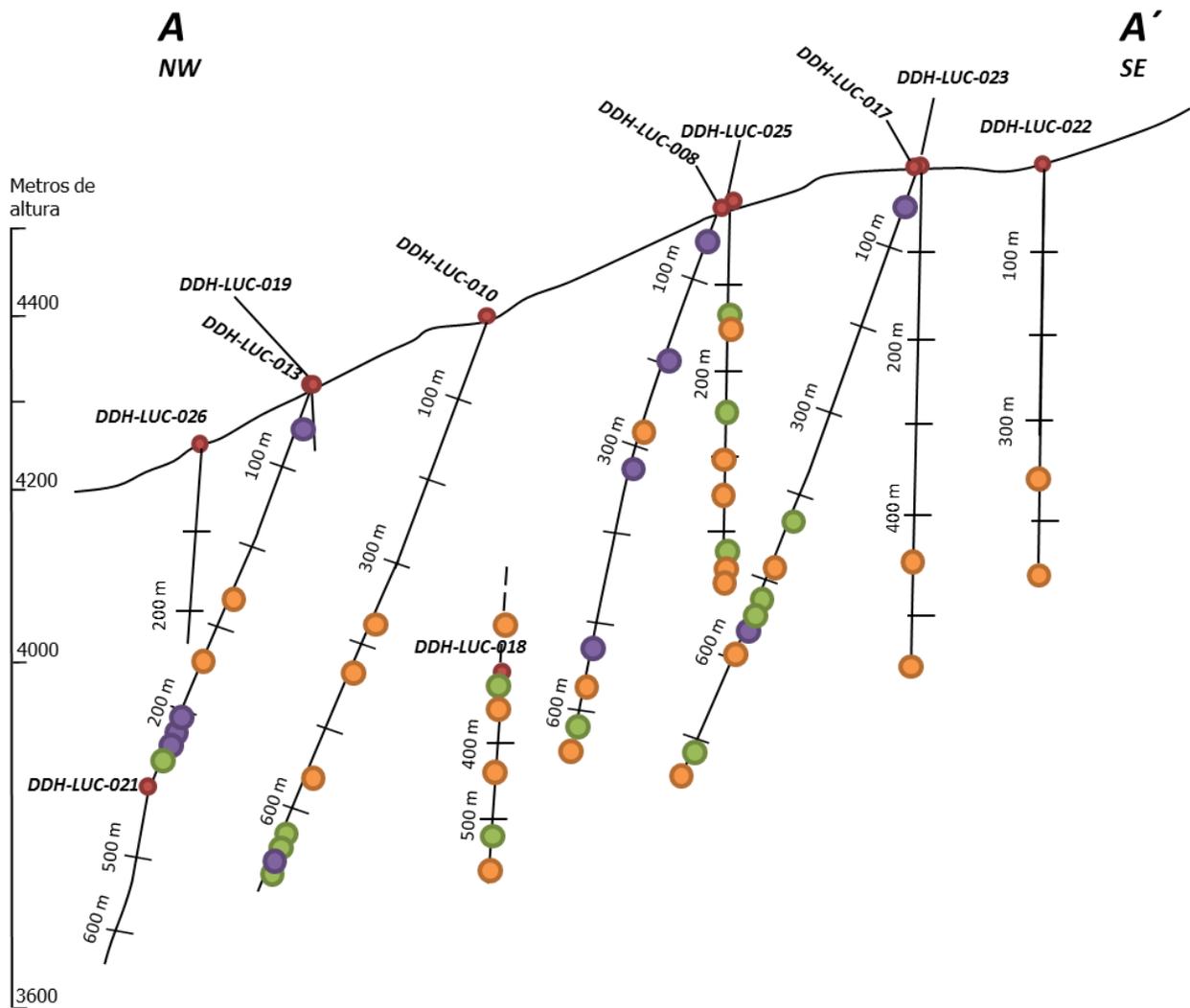
Zuñiga, V. 2012. Ocurrencia y distribución de molibdenita, esfalerita y galena en el sistema porfídico cuprífero del yacimiento Mina Ministro Hales. Memoria para optar al título de geóloga. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

13. ANEXOS

13.1 ANEXO A

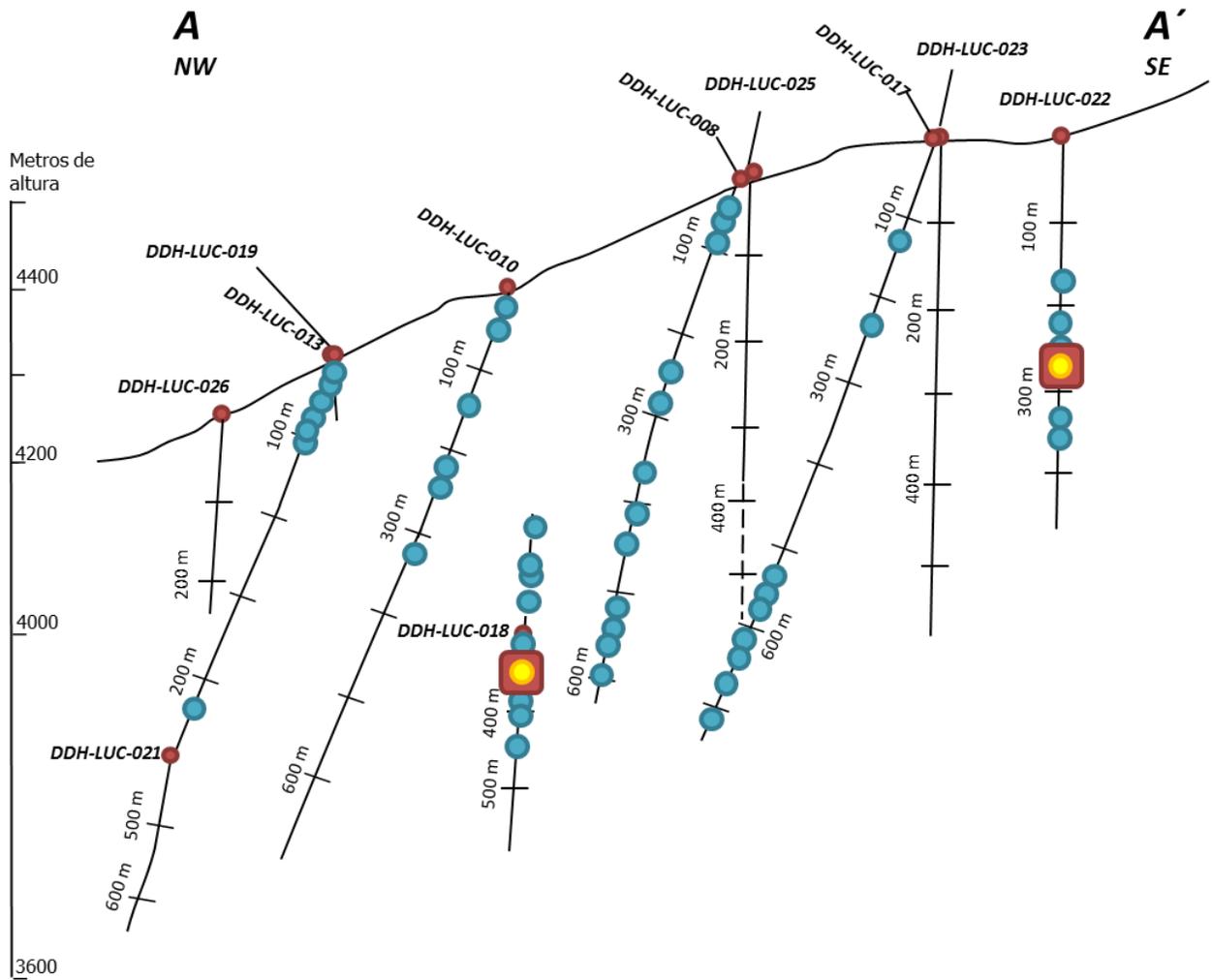
Estudios realizados en secciones AA' (Luciano), BB' (Luciano Norte) y CC' (Úrsula)

Sección AA', Sector Luciano



Estudios realizados

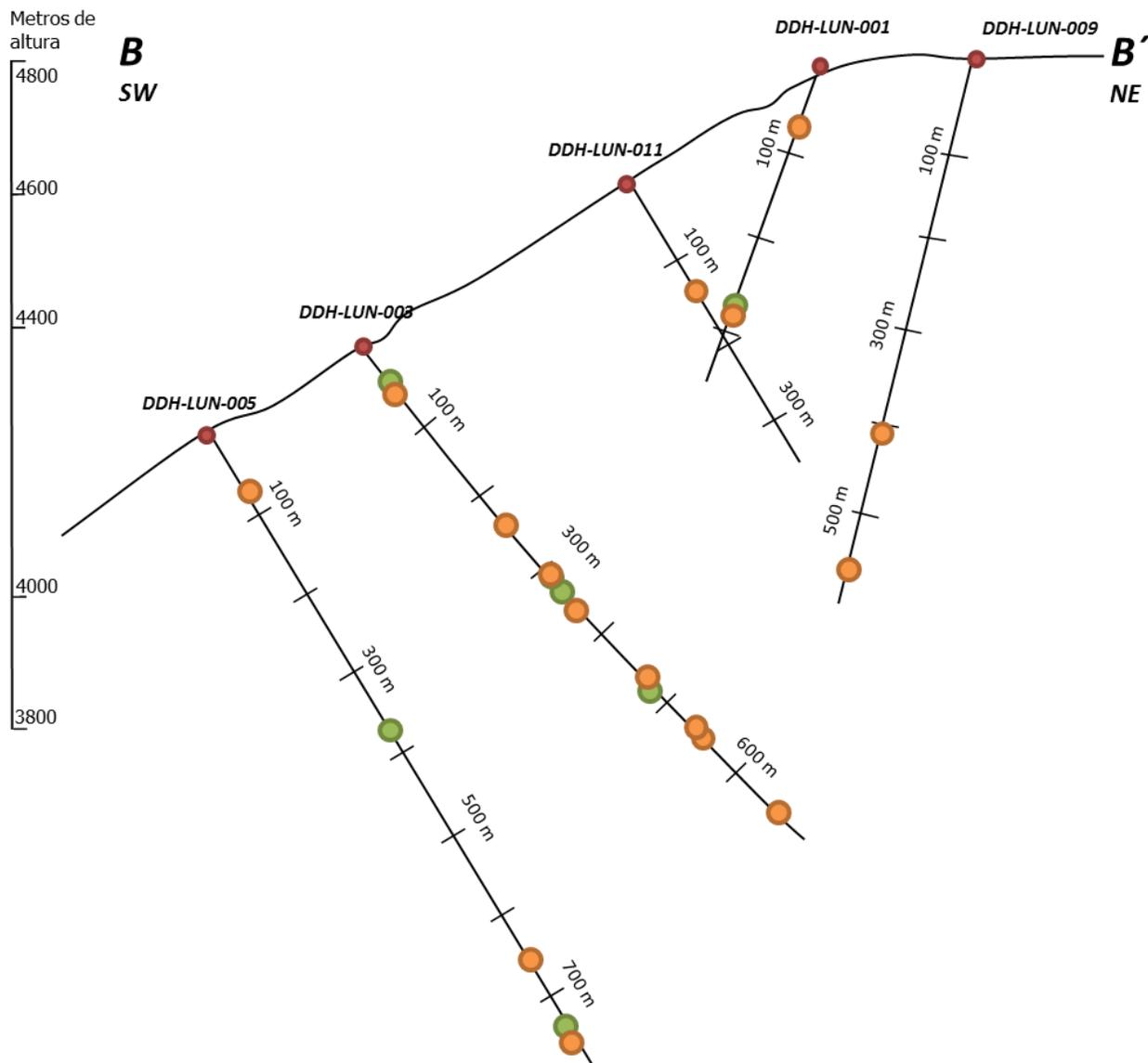
- Estudios petrográficos/calcográficos anteriores (*Informe Interno Barrick*).
- Petrografía/calcografía realizada en este estudio (Anexo E).
- Geoquímica de roca total: Análisis *Trace4lito*research (Anexo D).
- Sondajes Sector Luciano



Estudios realizados

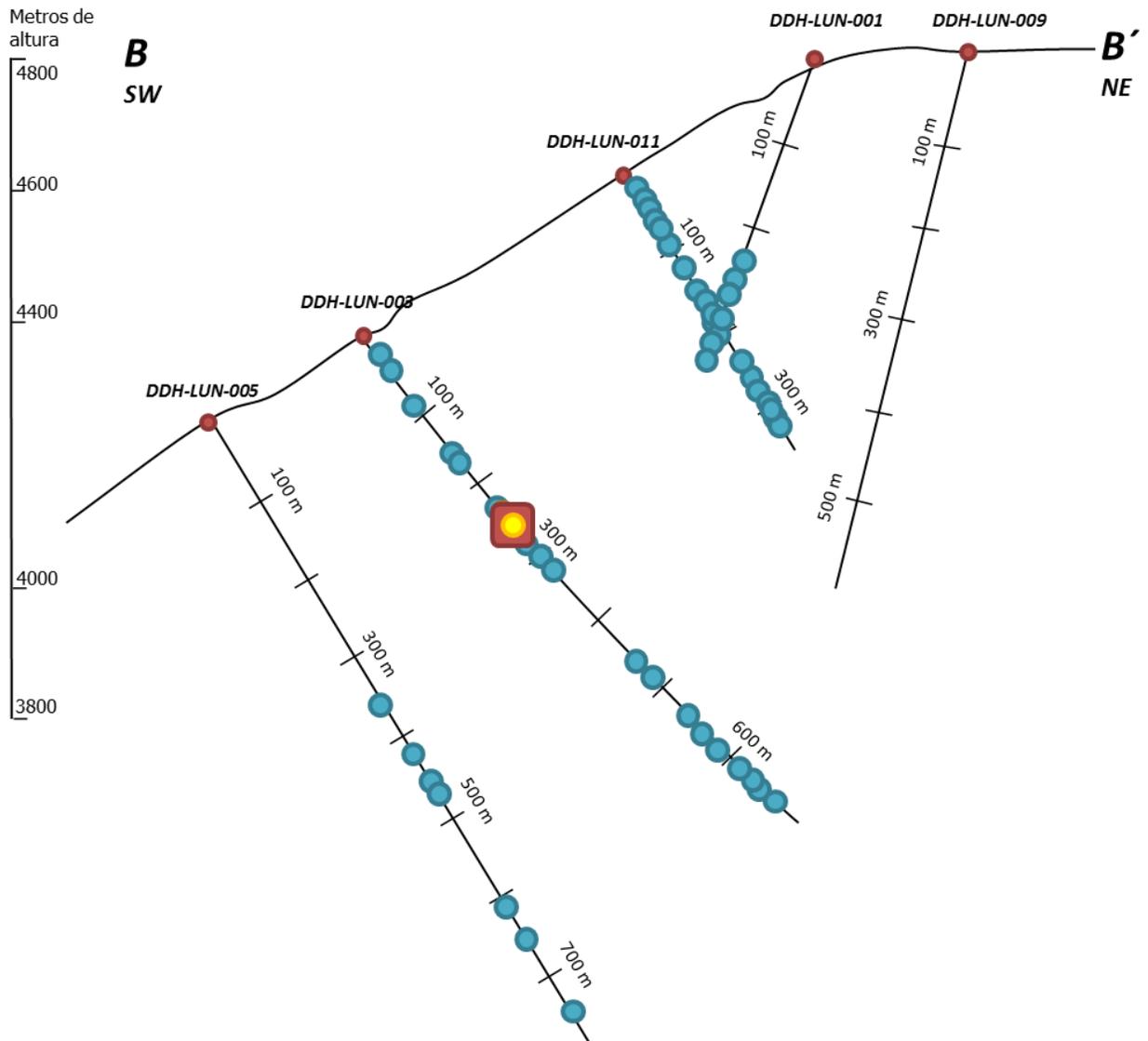
- Estudios preliminares de cianuración (*Informe Interno Barrick*).
- Estudios preliminares de cianuración realizados en este estudio: *Test G907* (Anexo C).
- Análisis Mineralógico TMS-QEMSCAN (Anexo B).
- Sondajes Sector Luciano

Sección BB', Sector Luciano Norte



Estudios realizados

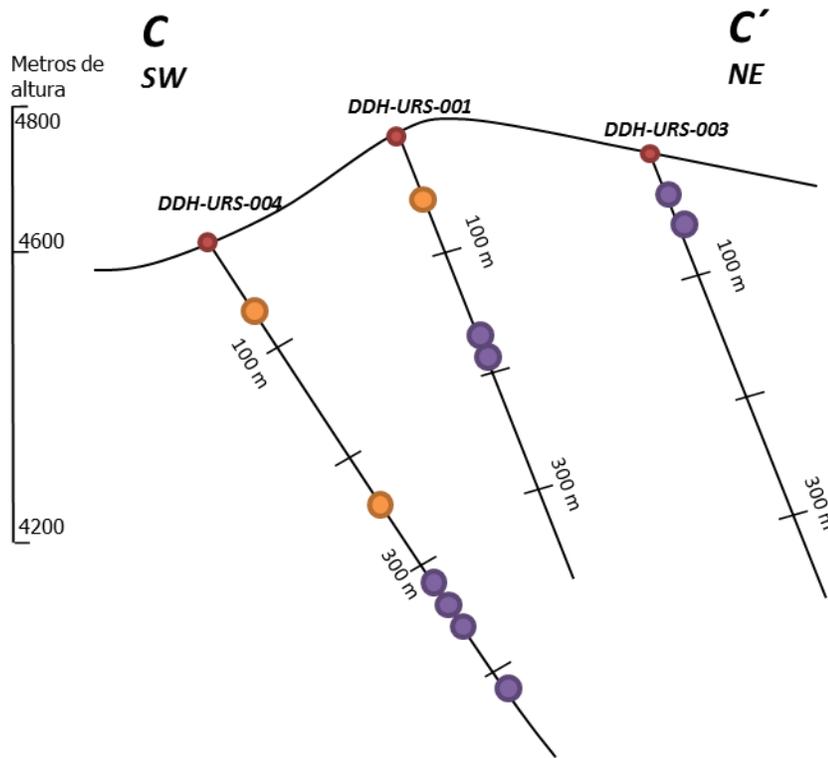
- Estudios petrográficos/calcográficos anteriores (*Informe Interno Barrick*).
- Petrografía/calcografía realizada en este estudio (Anexo E).
- Geoquímica de roca total: Análisis *Trace4lito* research (Anexo D).
- Sondajes Sector Luciano



Estudios realizados

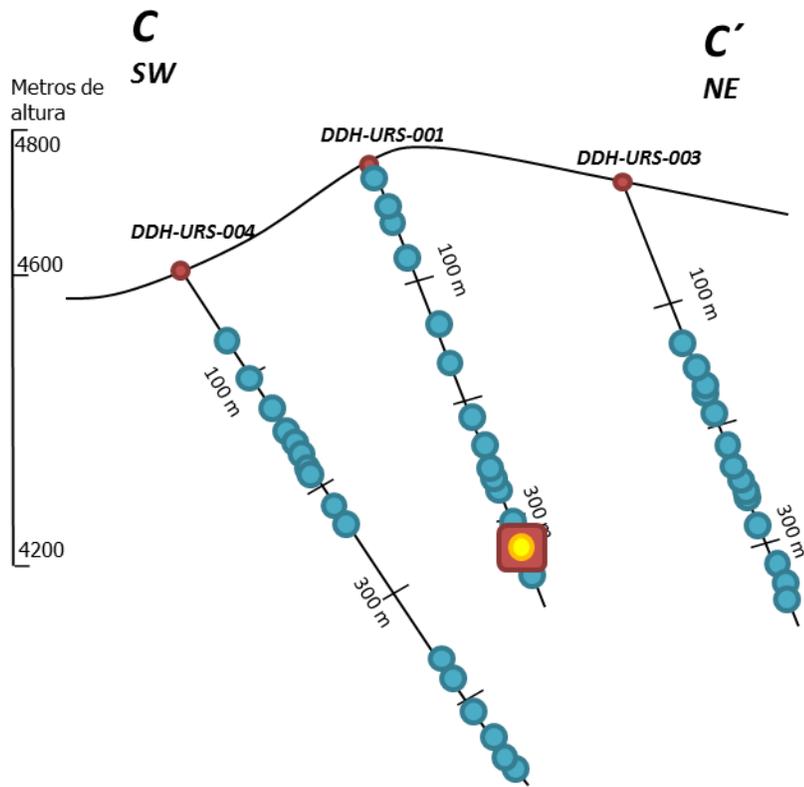
- Estudios preliminares de cianuración (*Informe Interno Barrick*).
- Estudios preliminares de cianuración realizados en este estudio: *Test G907* (Anexo C).
- Análisis Mineralógico TMS-QEMSCAN (Anexo B).
- Sondajes Sector Luciano

Sección CC', Sector Úrsula



Estudios realizados

- Estudios petrográficos/calcográficos anteriores (*Informe Interno Barrick*).
- Petrografía/calcografía realizada en este estudio (Anexo E).
- Geoquímica de roca total: Análisis *Trace4lito*research (Anexo D).
- Sondajes Sector Luciano



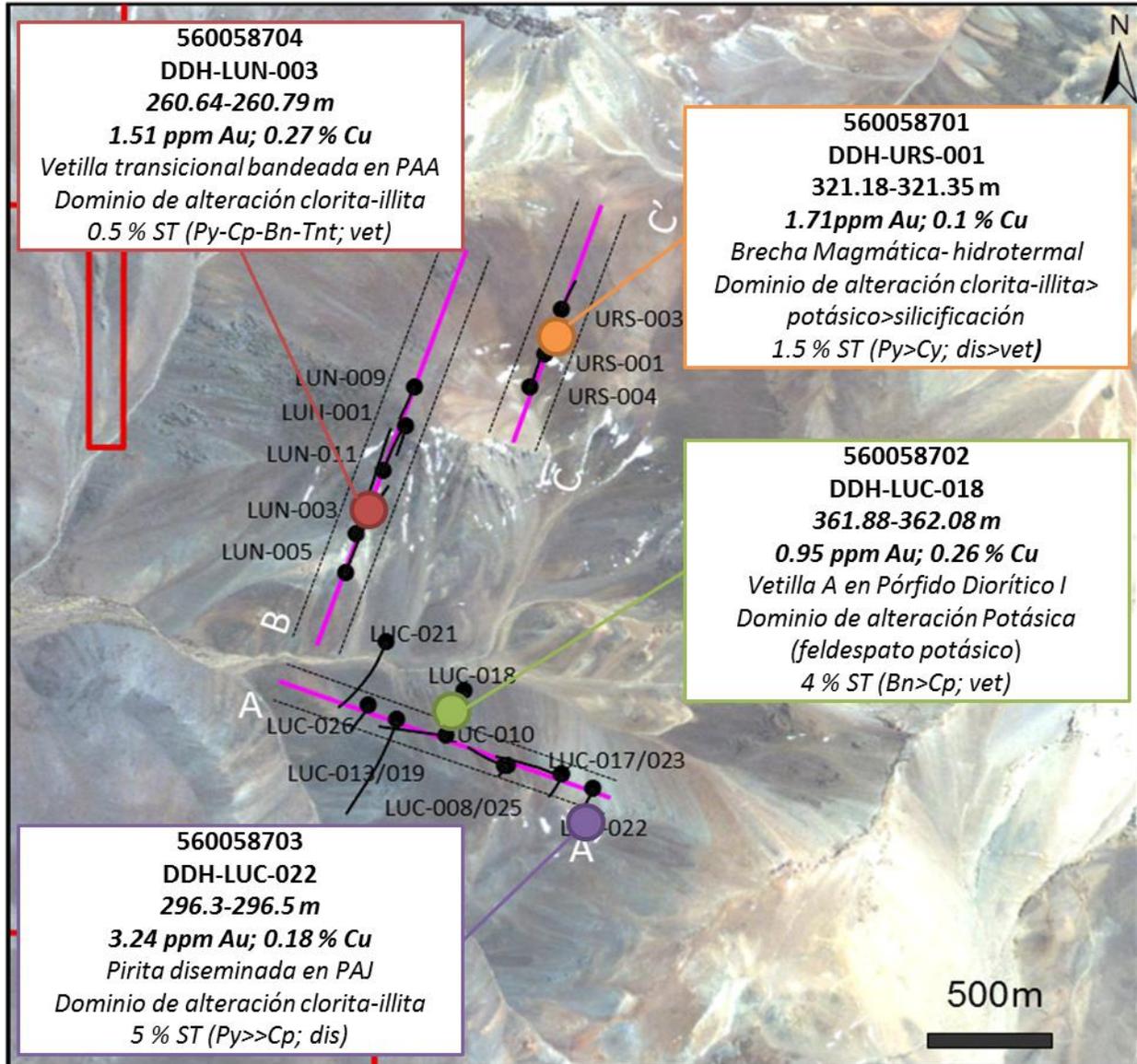
Estudios realizados

- Estudios preliminares de cianuración (*Informe Interno Barrick*).
- Estudios preliminares de cianuración realizados en este estudio: *Test G907* (Anexo C).
- Análisis Mineralógico TMS-QEMSCAN (Anexo B).
- Sondajes Sector Luciano

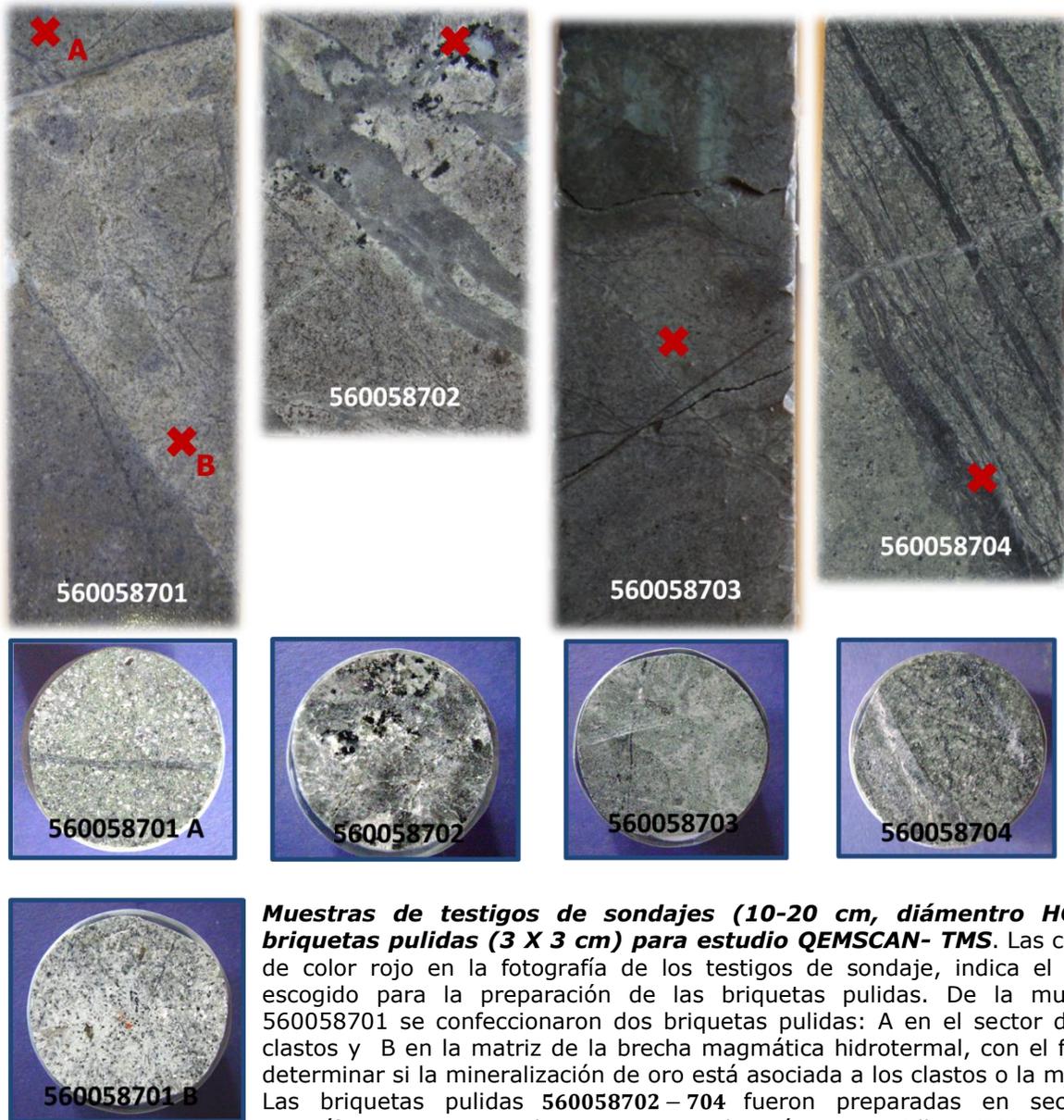
13.2 ANEXO B

Análisis mineralógico TMS-QEMSCAN

Ubicación y descripción de las muestras de testigos de sondajes (20 cm)



Ubicación y descripción de muestras del estudio QEMSCAN (560058701-704): Ubicación, leyes de Au y Cu en tramo de sondaje de 2m de donde se sacó la muestra; evento de mineralización, unidad litológica en estudio, dominio de alteración principal, mineralización y estilo de mineralización observados macroscópicamente. **Abreviaciones:** PAA= Pórfido Andesítico Autobrechizado; PAJ= Pórfido Andesítico Juanes; ST= sulfuros totales; Py= pirita, Cp= calcopirita, Bn= bornita; Tnt= tenantita; vet= vetillas; dis= diseminado.



Muestras de testigos de sondajes (10-20 cm, diámetro HQ) y briquetas pulidas (3 X 3 cm) para estudio QEMSCAN- TMS. Las cruces de color rojo en la fotografía de los testigos de sondaje, indica el lugar escogido para la preparación de las briquetas pulidas. De la muestra 560058701 se confeccionaron dos briquetas pulidas: A en el sector de los clastos y B en la matriz de la brecha magmática hidrotermal, con el fin de determinar si la mineralización de oro está asociada a los clastos o la matriz. Las briquetas pulidas 560058702 – 704 fueron preparadas en sectores específicos que coinciden con mineralización en vetillas (702 y 704) y diseminada (703) de sulfuros de cobre (702 y 704) y piritita (703).

Mineralogía del oro

El oro presente en las muestras estudiadas se encuentra en forma:

- Principalmente como oro nativo en inclusiones en calcopirita, bornita y esfalerita.
- Asociado a *Bi, As, Cu, Pb*, etc. Sin embargo no se ha podido definir la fase mineralógica en que se encuentra el oro; ya que podría tratarse de una exsolución (dos fases) y si esta textura es muy fina ($< 1\mu m$) no es posible separarlas en el análisis TMS. Por otra parte, el oro también podría presentar sustitución en su estructura cristalina incorporando ciertos metales y semimetales, anteriormente mencionados
-
- No se detectaron minerales de plata, ni partículas de oro asociada a plata.
- La asociación mineral oro-pirita es despreciable.

Mineralogía Modal (% peso)

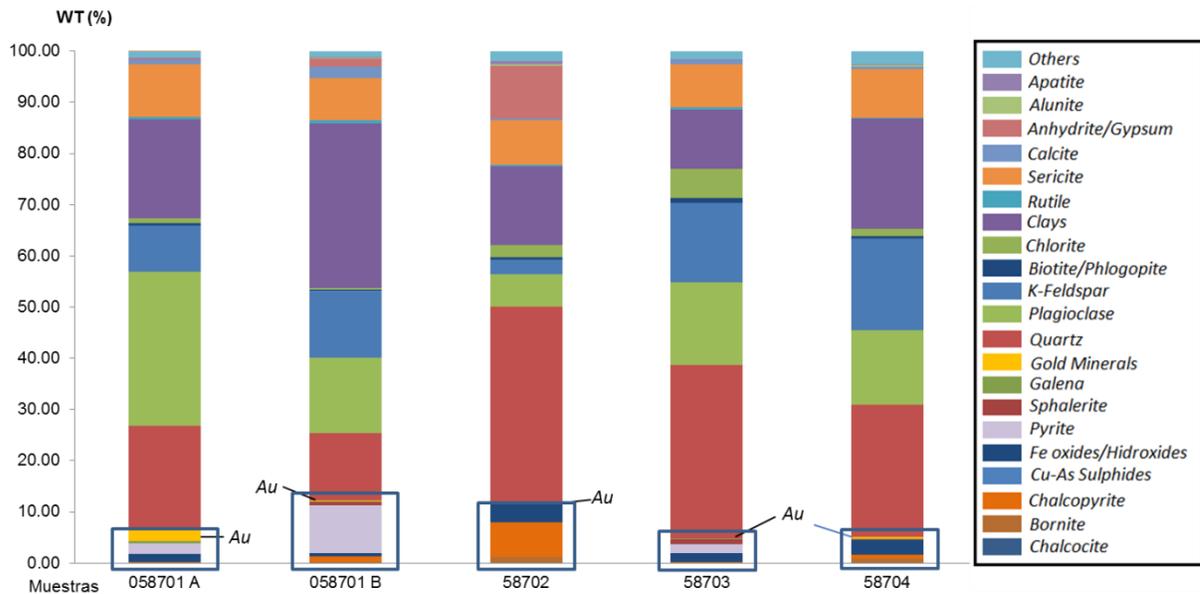
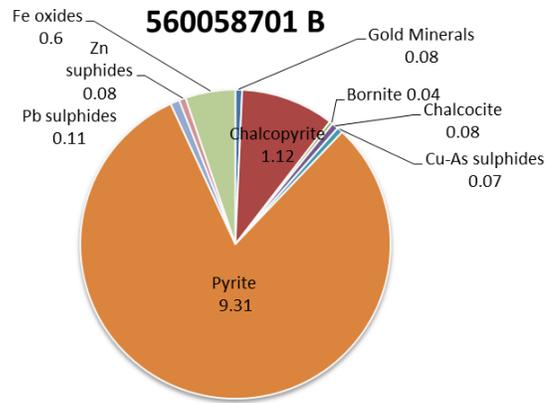
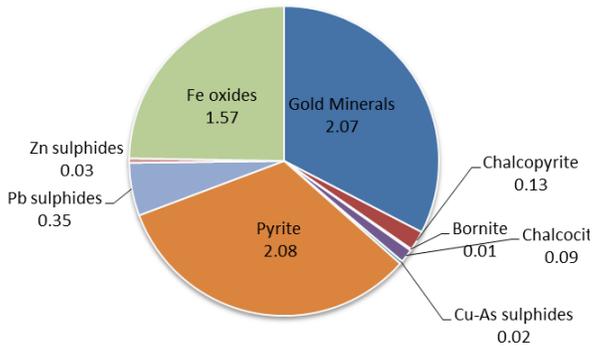


Gráfico de Mineralogía modal (% peso) de las muestras estudiadas: 058701 A – 058704. En el recuadro azul se encierra la mineralogía sulfurada, óxidos de Fe y oro.

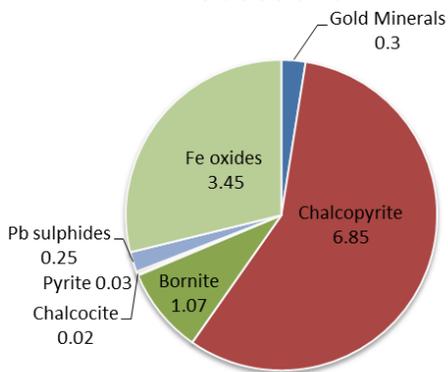
| Mass Mineral/Samples | 058701 A | 058701 B | 58702 | 58703 | 58704 |
|----------------------|----------|----------|-------|-------|-------|
| Chalcocite | 0.09 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.03 |
| Bornite | 0.01 | 0.04 | 1.08 | 0.00 | 0.76 |
| Chalcopyrite | 0.13 | 1.12 | 6.88 | 0.22 | 0.81 |
| Cu As Sulphides | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe oxide /Hidroxide | 1.58 | 0.61 | 3.47 | 1.76 | 2.93 |
| Pyrite | 2.09 | 9.37 | 0.03 | 1.68 | 0.02 |
| Molybdenite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sphalerite | 0.03 | 0.76 | 0.00 | 1.07 | 0.04 |
| Galena | 0.35 | 0.11 | 0.25 | 0.00 | 0.17 |
| Gold Minerals | 2.08 | 0.08 | 0.30 | 0.03 | 0.33 |
| Quartz | 20.56 | 13.34 | 38.26 | 34.10 | 26.15 |
| Plagioclase | 24.33 | 9.10 | 1.26 | 9.97 | 5.99 |
| K-Feldspar | 9.18 | 13.31 | 2.84 | 15.69 | 18.02 |
| Biotite/phlogopite | 0.46 | 0.16 | 0.46 | 0.95 | 0.54 |
| Sericite | 10.44 | 8.23 | 8.80 | 8.53 | 9.56 |
| Albite | 5.30 | 5.04 | 4.67 | 5.68 | 7.74 |
| Clays | 19.44 | 32.35 | 15.43 | 11.65 | 21.78 |
| Chlorite | 0.93 | 0.32 | 2.45 | 5.72 | 1.38 |
| Calcite | 0.84 | 2.30 | 0.21 | 0.71 | 0.59 |
| Anhydrite/Gypsum | 0.08 | 1.66 | 10.49 | 0.03 | 0.02 |
| Alunite | 0.06 | 0.03 | 0.26 | 0.03 | 0.22 |
| Apatite | 0.23 | 0.19 | 0.62 | 0.13 | 0.18 |
| Rutile | 0.44 | 0.57 | 0.28 | 0.39 | 0.14 |

Tabla de Mineralogía modal (% peso) de las muestras estudiadas: 058701 A- 058704.

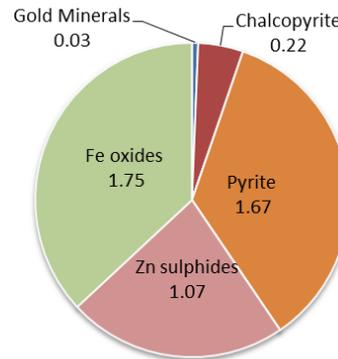
560058701 A



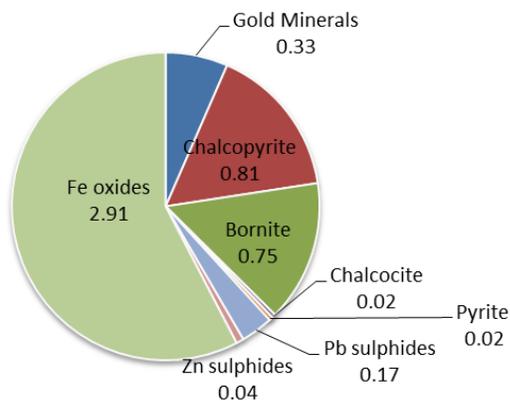
560058702



560058703

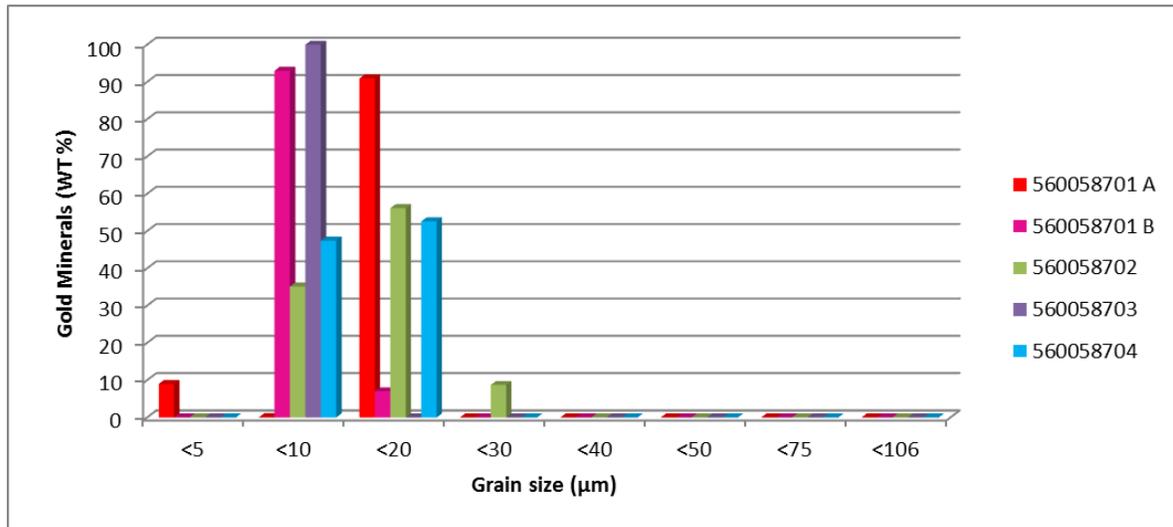


560058704



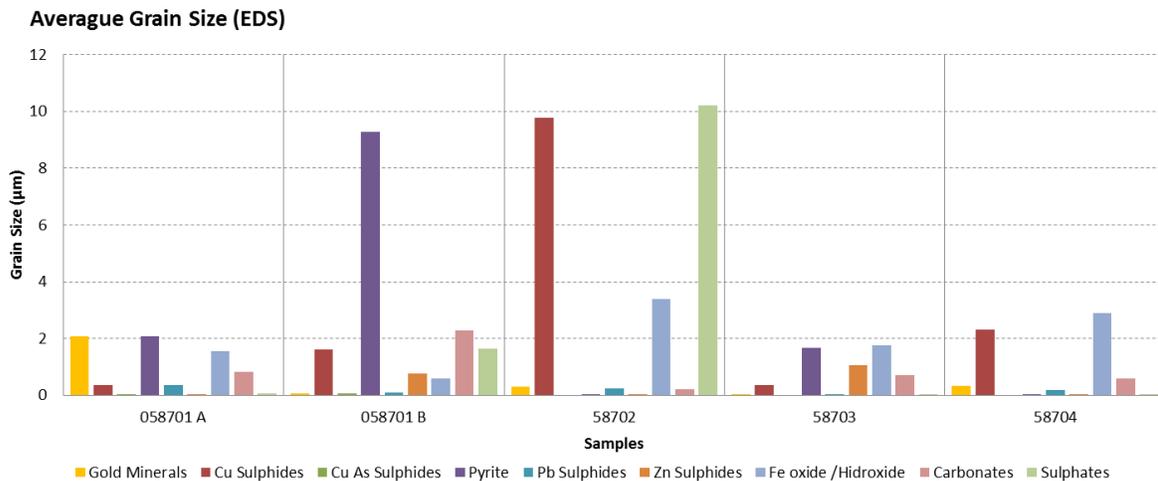
Diagramas pie de Mineralogía Modal (% peso) de minerales sulfurados, oro y óxidos de hierro para las muestras estudiadas, correspondientes a los recuadros azules de los gráficos de Mineralogía Modal (% peso)

Granulometría promedio (μm)



| Size(μm)/ samples | Gold Minerals Distribution (WT %) | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | 560058701 A | 560058701 B | 560058702 | 560058703 | 560058704 |
| <5 | 8.98 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <10 | 0.08 | 92.99 | 35.13 | 100.00 | 47.40 |
| <20 | 90.94 | 7.01 | 56.16 | 0 | 52.60 |
| <30 | 0 | 0 | 8.71 | 0 | 0 |
| <40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Distribución de las partículas de oro por tamaño (μm versus % peso) y muestra.



Distribución de las partículas de oro, minerales sulfurados, óxidos Fe y otros por tamaño (μm versus % peso) y muestra.

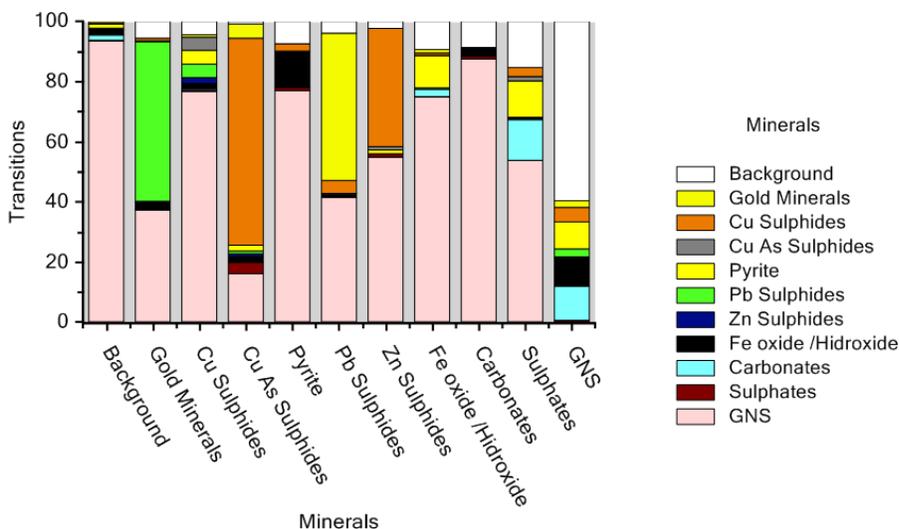
| Minerals/Samples | 560058701 A | 560058701 B | 560058702 | 560058703 | 560058704 |
|---------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Gold Minerals | 10.3 | 7.9 | 10.7 | 7.9 | 9.5 |
| Cu Sulphides | 9.3 | 25.0 | 26.1 | 18.4 | 17.5 |
| Cu As Sulphides | 4.9 | 11.1 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| Pyrite | 21.7 | 36.3 | 7.8 | 26.4 | 7.9 |
| Pb Sulphides | 4.1 | 9.8 | 10.6 | 8.2 | 8.5 |
| Zn Sulphides | 11.8 | 34.1 | 7.5 | 28.2 | 13.7 |
| Fe oxide /Hidroxide | 10.7 | 17.5 | 57.3 | 15.3 | 15.8 |
| Carbonates | 10.8 | 38.6 | 10.7 | 17.9 | 14.2 |
| Sulphates | 12.1 | 34.0 | 28.7 | 8.3 | 7.9 |

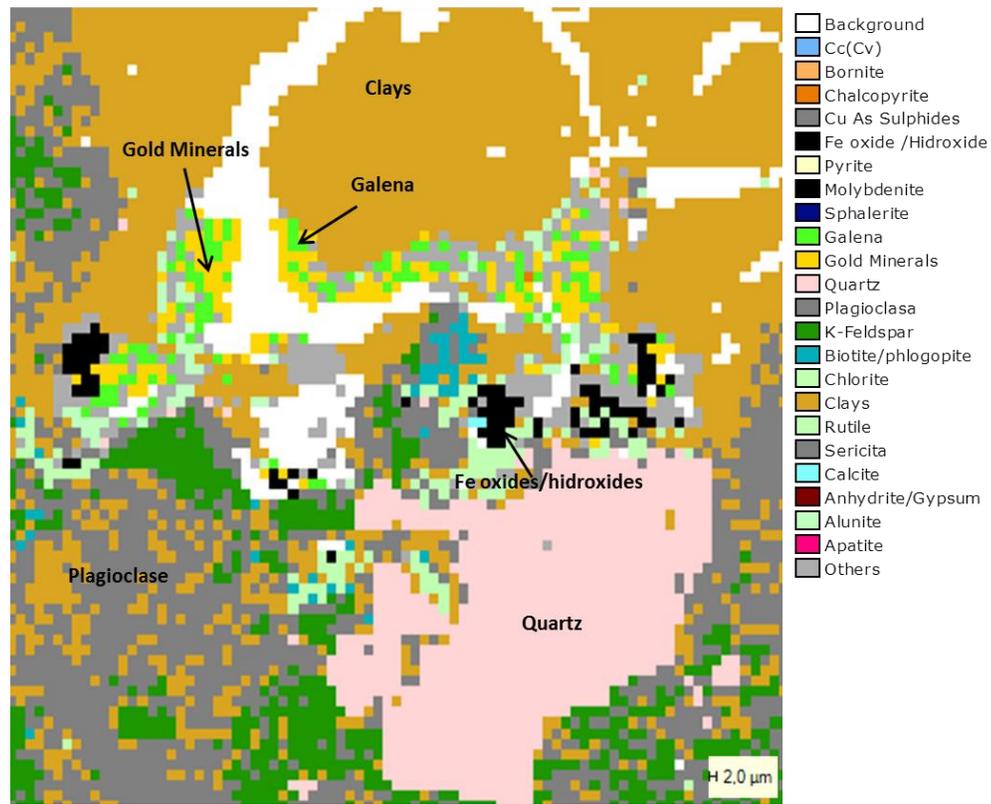
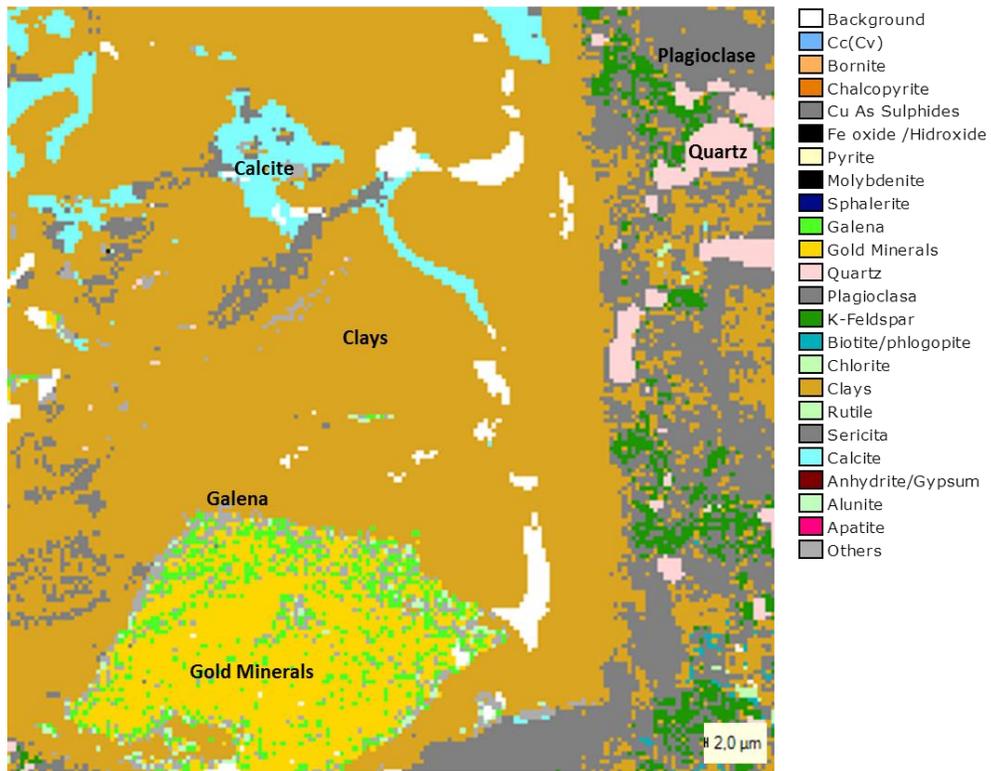
Distribución de las partículas de oro, minerales sulfurados, óxidos *Fe* y otros por tamaño (μm versus % peso) y muestra.

Asociación mineralógica del oro (% peso) e imágenes de mapeo de partículas

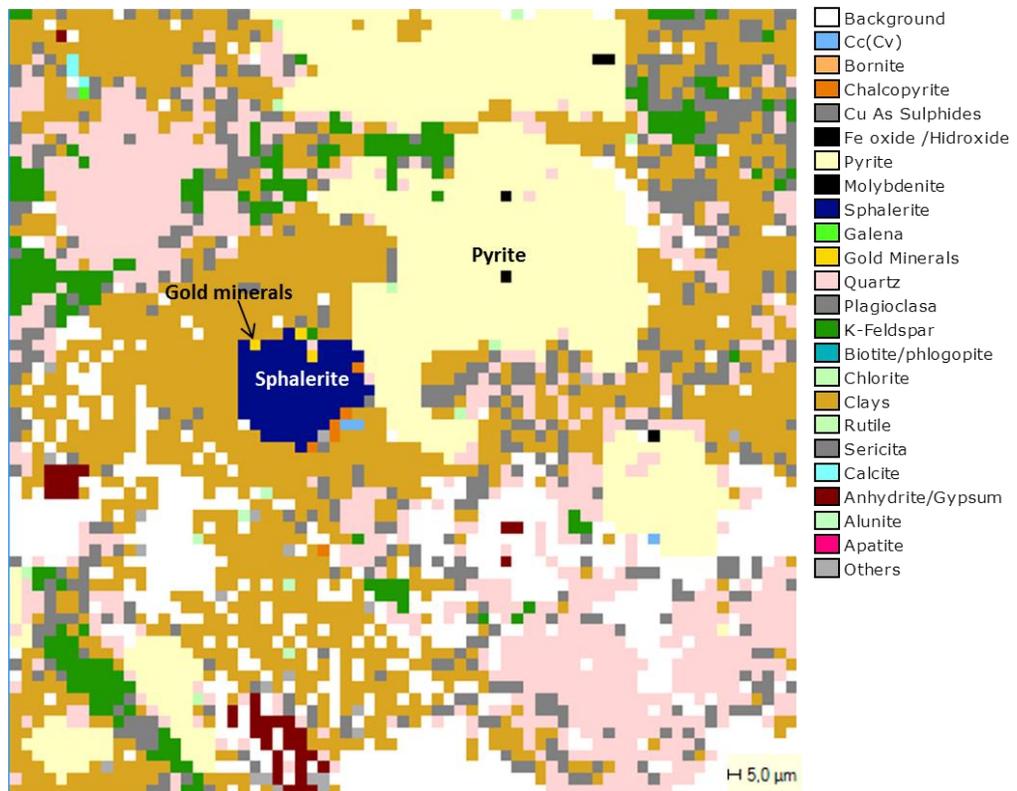
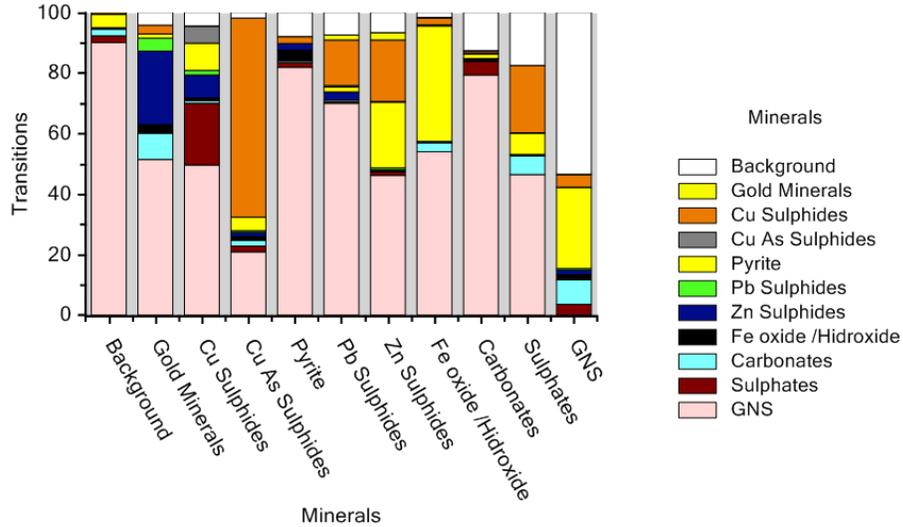
Con respecto a las asociaciones minerales, el análisis mineralógico TMS (QEMSCAN) detecta las partículas que están en contacto, a partir de una estimación del área superficial entre las partículas (número de píxeles de interacción de las partículas) lo cual es expresado en un porcentaje, por lo que se debe interpretar la asociación mineral real. Las asociaciones minerales para las partículas de oro se describen a continuación:

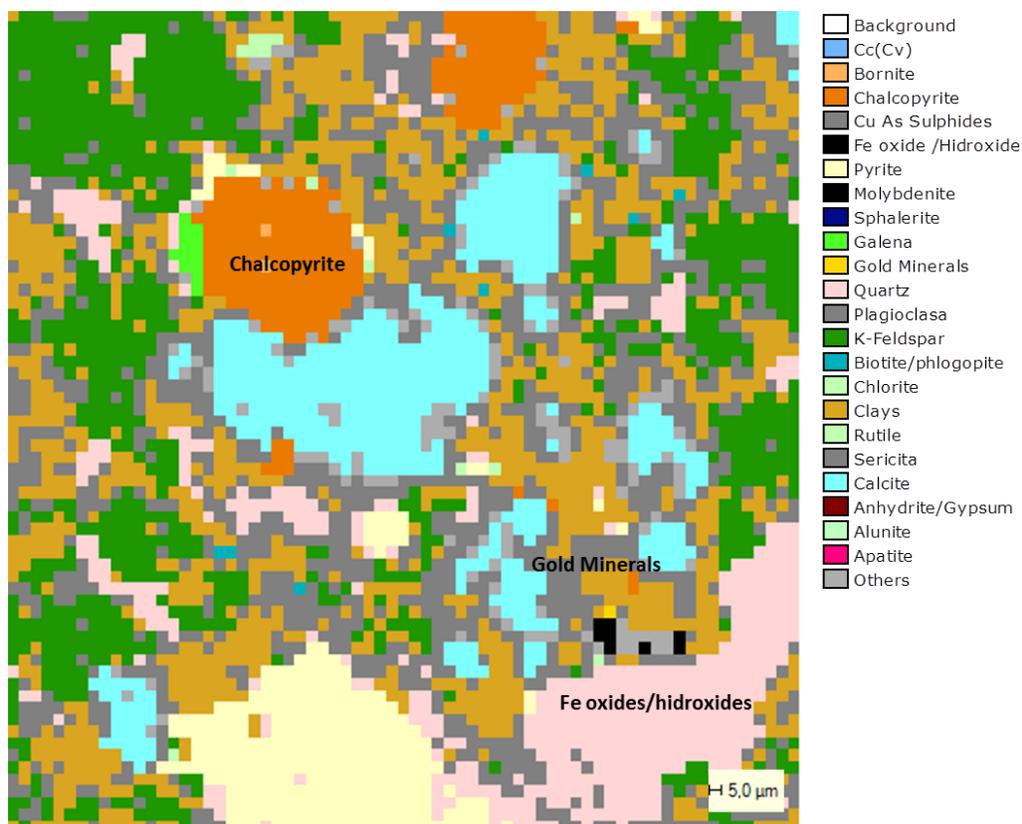
Muestra 560058701 A : las partículas de oro se encuentran principalmente asociadas a galena, en menor medida a óxidos de hierro y de forma muy subordinada a sulfosales de *Cu – As*. Además, parte del oro también se encuentra en contacto con carbonatos y ganga silicatada (principalmente plagioclasa, cuarzo, arcillas y sericita).



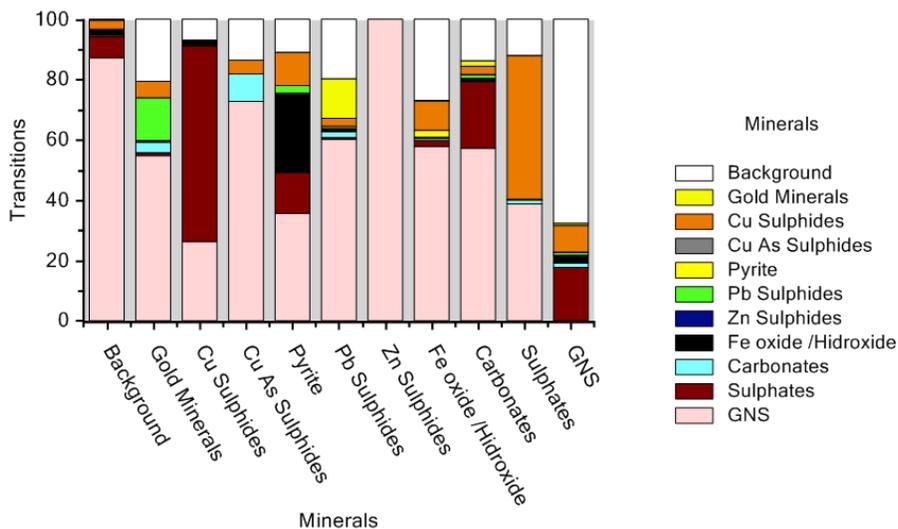


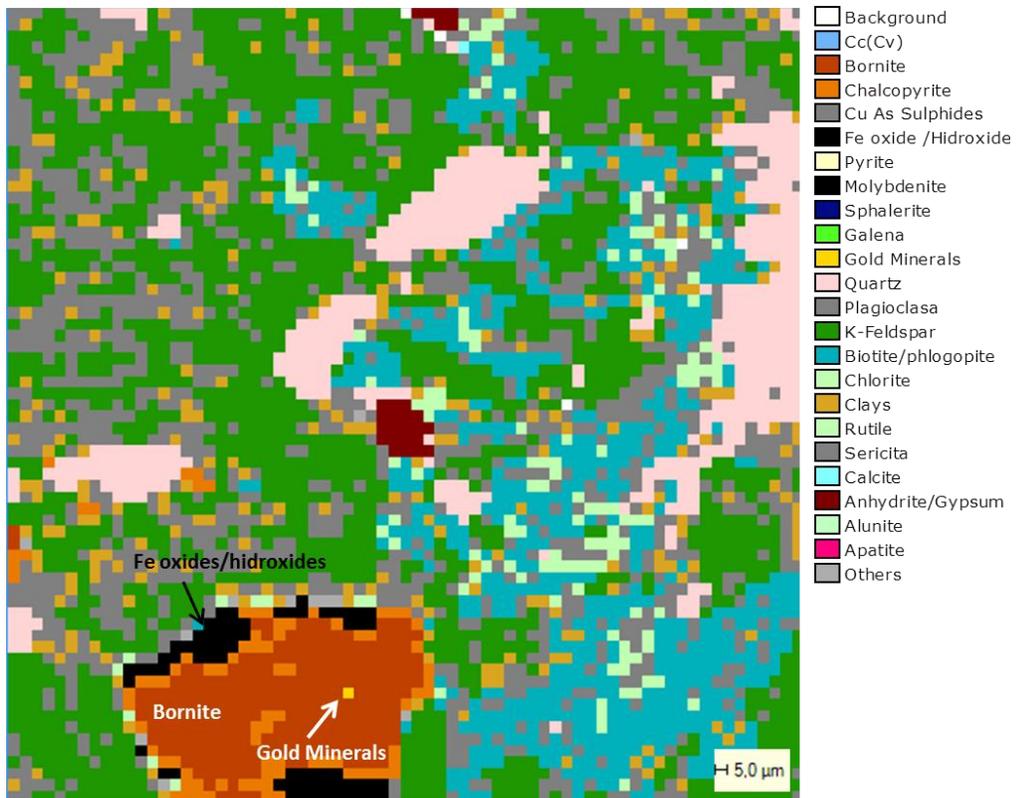
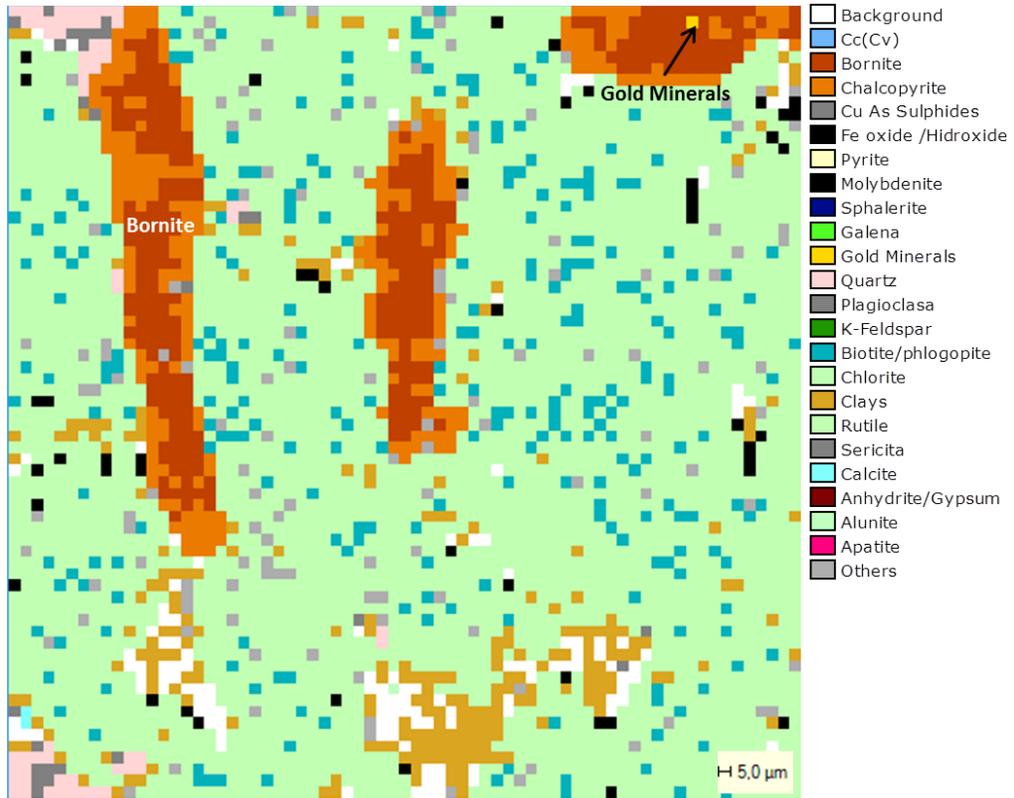
Muestra 560058701 B: el oro se encuentra principalmente ocluido en esfalerita, en menor medida asociado a galena y calcopirita y en contacto con carbonatos y ganga silicatada (principalmente arcillas, cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico).

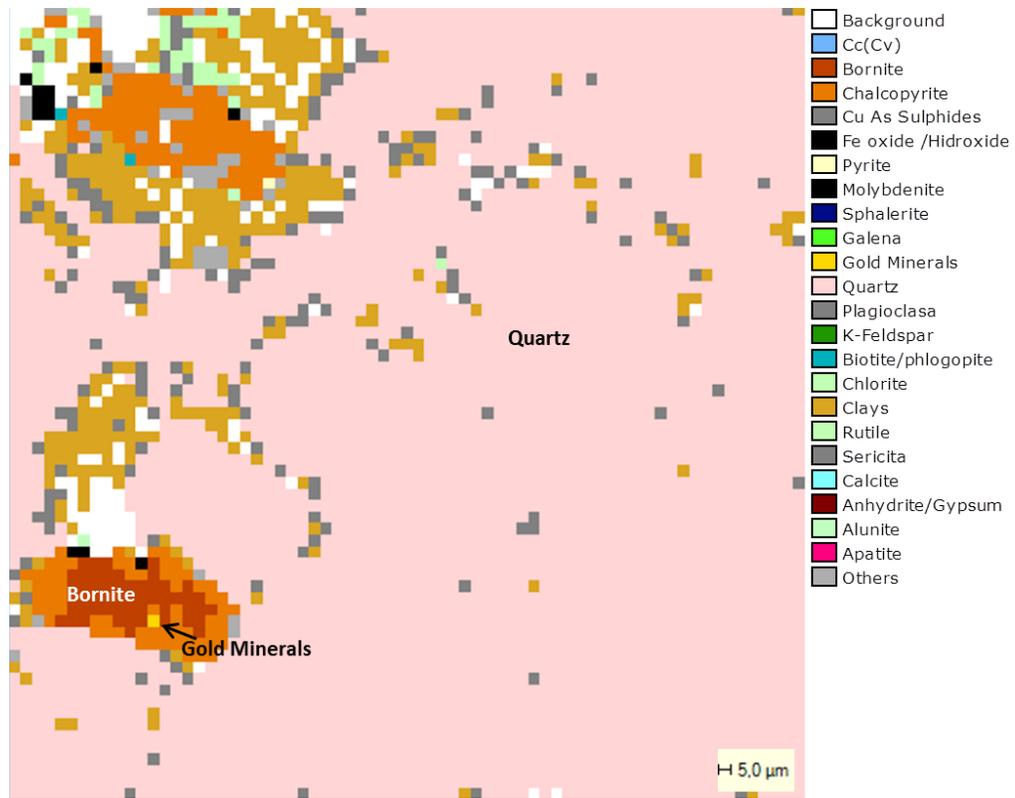




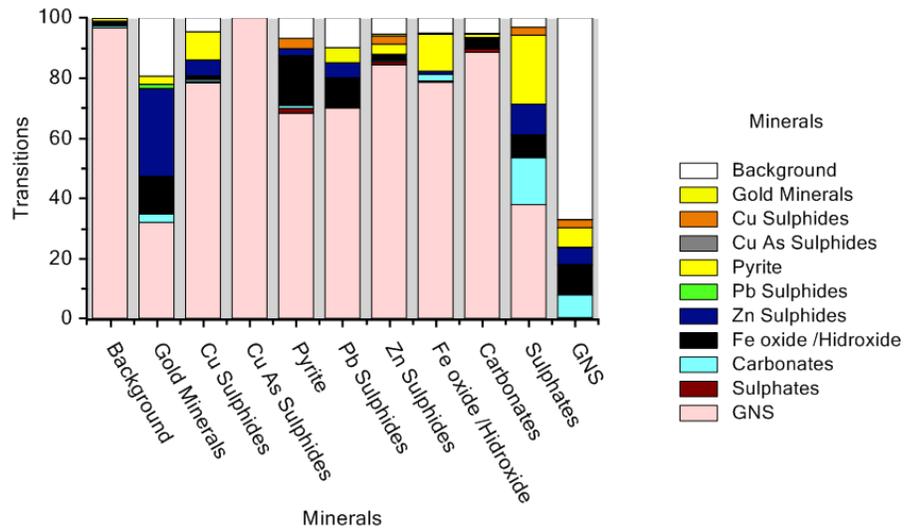
Muestra 560058702: las partículas de oro se encuentran principalmente asociadas a galena, calcopirita, bornita y de forma subordinada a óxidos de hierro. Además parte del oro se encuentra en contacto con ganga silicatada (principalmente arcilla, cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico), sulfatos (yeso/anhidrita) y carbonatos. En esta muestra el oro se encuentra ocluido dentro de calcopirita y bornita.

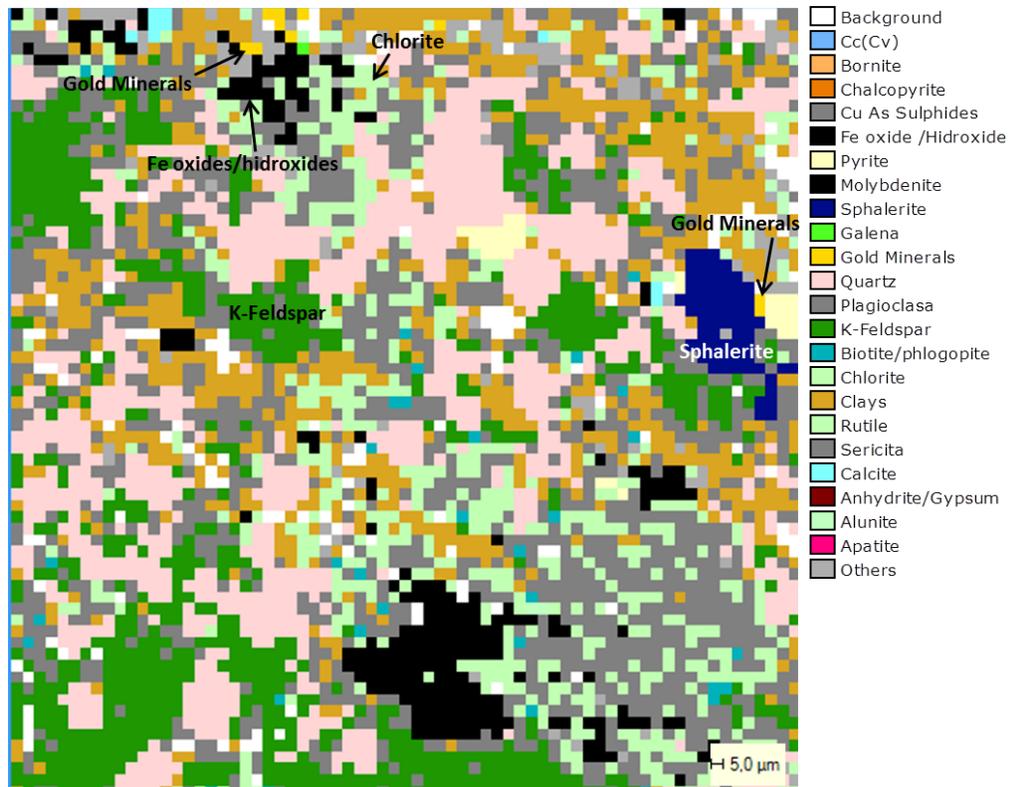
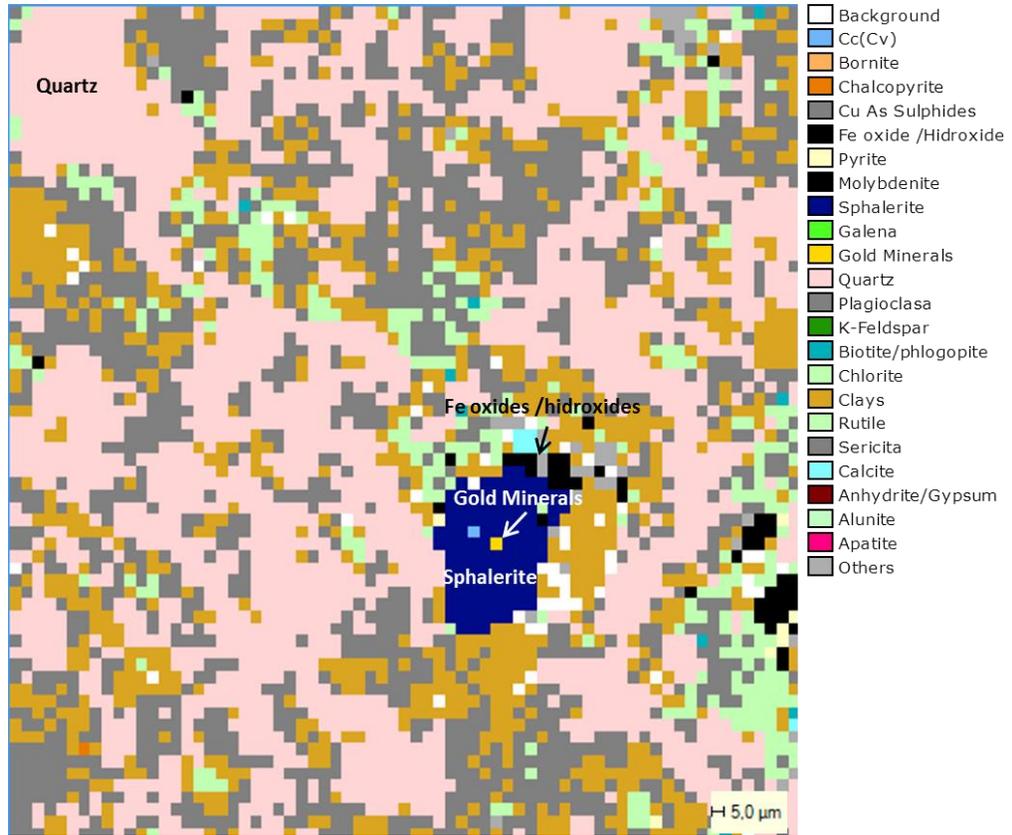




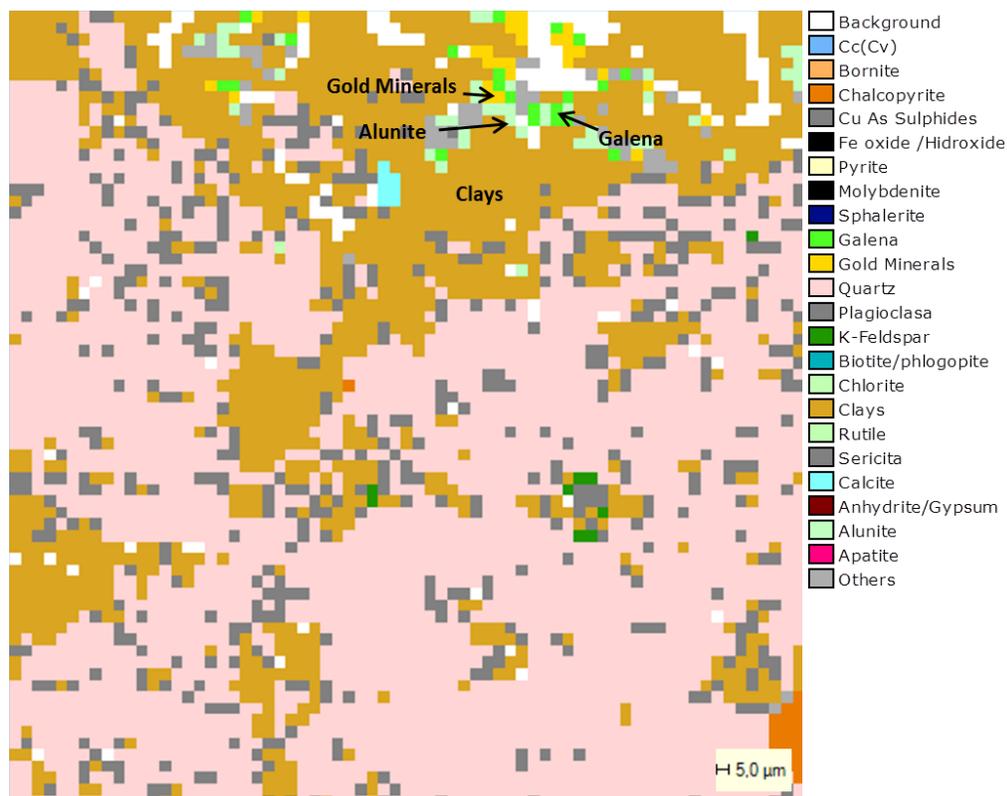
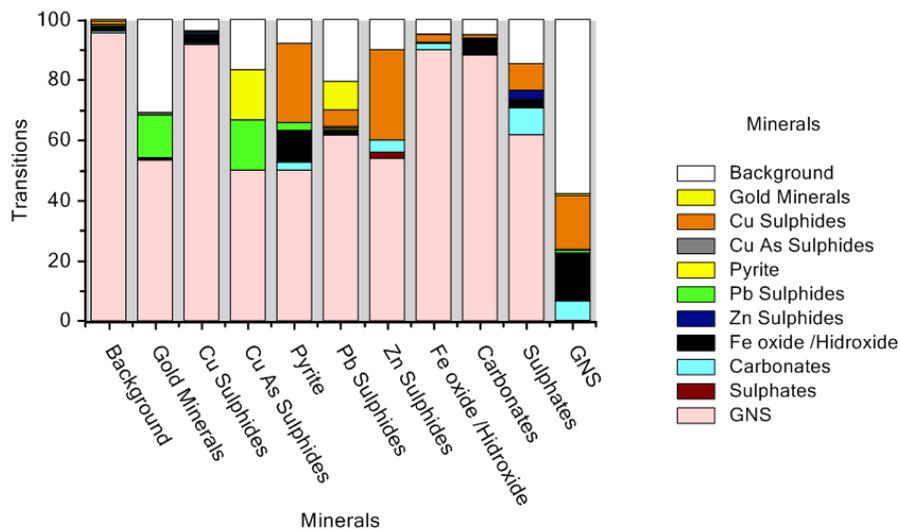


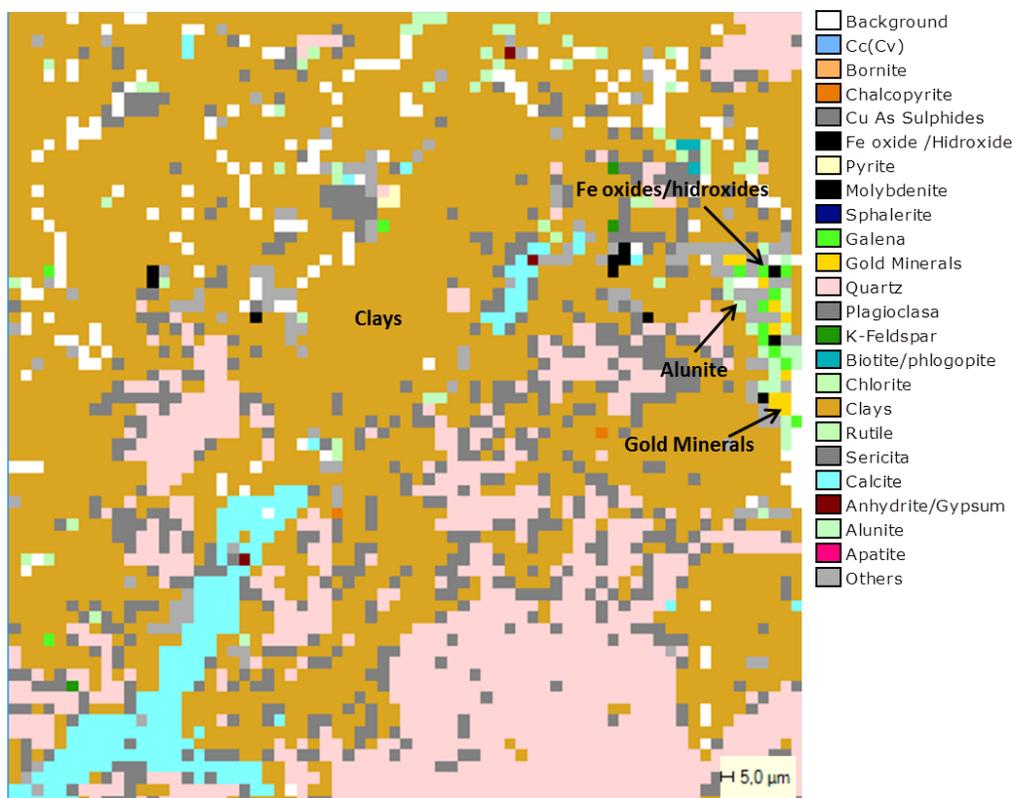
Muestra 560058703: el oro se encuentra asociado principalmente a galena y de manera muy subordinada a sulfosales de *Cu – As*, óxidos de hierro y en contacto con alunita y ganga silicata (principalmente plagioclasa, cuarzo, arcillas y sericita).





Muestra 560058704: el oro se encuentra principalmente ocluido en esfalerita, asociado a óxidos de hierro y de forma muy subordinada asociado a pirita y galena. Además parte de las partículas de oro están en contacto con ganga silicatada (arcillas, cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico).





13.2 ANEXO C

Análisis de cianuración

| Muestra | 560058701 | 560058702 | 560058703 | 560058704 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Sondaje | DDH-URS-001 | DDH-LUC-018 | DDH-LUC-022 | DDH-LUN-003 |
| Desde (m) | 320 | 361 | 296 | 260 |
| Hasta (m) | 322 | 363 | 298 | 262 |
| Au-Bottle Test G907 (ppm) | 1.36 | 0.84 | 2.79 | 1.3 |
| Au-Digestión total (ppm) | 1.719 | 0.958 | 3.343 | 1.517 |
| % Au cianurable | 79.11 | 87.68 | 86.03 | 85.69 |

| | |
|----------------------------|-------|
| Promedio Au cianurable (%) | 84.63 |
|----------------------------|-------|

Resultados análisis cianuración para muestras coincidentes con análisis mineralógico TMS (QEMSCAN).

13.4 ANEXO D

Geoquímica de roca total

Valores Referenciales para estándar *OREAS151a* (*Ore Research & Exploration PTY LTD, 2014*)

| Constituent | wt. % | Constituent | ppm | Constituent | ppm | Constituent | ppm |
|--------------------------------|-------|-------------|------|-------------|-------|-------------|------|
| SiO ₂ | 63.16 | Ag | <0.5 | Hf | 0.3 | Sc | 22 |
| TiO ₂ | 0.63 | As | 35 | Ho | 0.43 | Sm | 1.98 |
| Al ₂ O ₃ | 15.22 | Ba | 81 | In | <0.02 | Sn | 1 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.25 | Be | 0.4 | La | 4.3 | Sr | 120 |
| MgO | 3.44 | Bi | <0.1 | Li | 6.3 | Ta | <0.1 |
| MnO | 0.057 | Cd | <0.5 | Lu | 0.14 | Tb | 0.34 |
| CaO | 2.78 | Ce | 10.0 | Mo | 41 | Te | 0.4 |
| Na ₂ O | 2.35 | Co | 15 | Nb | 1 | Th | 0.9 |
| K ₂ O | 1.31 | Cs | 0.5 | Nd | 7.13 | U | 0.4 |
| P ₂ O ₅ | 0.132 | Cu | 1725 | Ni | 12 | W | 2.8 |
| LOI | 3.97 | Dy | 2.15 | Pb | 12 | Y | 12.7 |
| Total | 101.4 | Er | 1.2 | Pr | 1.52 | Yb | 1.1 |
| C | 0.29 | Eu | 0.68 | Rb | 19.3 | Zn | 81 |
| S | 0.85 | Ga | 16.6 | Re | 0.1 | Zr | 9 |
| | | Gd | 2.2 | Sb | 0.8 | | |

Resultados Análisis Geoquímica de Roca Total *Trace4Lito*research para rocas intrusivas del *cluster* de pórfidos Au – Cu Luciano (ICP-MS): páginas 156-159.

Los análisis coloreados en amarillo corresponden a los estándares *OREAS151a* incorporados.

| Analyte Symbol | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3(T) | MnO | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | LOI | Total | Sc | Be | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Rb |
|-----------------|-------|-------|----------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Unit Symbol | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Detection Limit | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | | 0.01 | 1 | 1 | 5 | 20 | 1 | 20 | 10 | 30 | 1 | 0.5 | 5 | 1 |
| 560058744 | 57.42 | 16.45 | 4.04 | 0.254 | 1.73 | 5.17 | 2.46 | 1.71 | 0.469 | 0.23 | 10.6 | 100.6 | 5 | 2 | 58 | <20 | 5 | <20 | 50 | 1430 | 19 | 16 | <5 | 48 |
| 560058748 | 59.68 | 17.15 | 4.74 | 0.076 | 2.17 | 5.37 | 4.39 | 1.75 | 0.689 | 0.26 | 3.62 | 99.91 | 8 | 2 | 99 | <20 | 9 | <20 | 120 | 130 | 22 | 12 | 31 | 41 |
| 560058749 | 59.45 | 17.93 | 5.07 | 0.145 | 1.37 | 4.77 | 4.69 | 2.27 | 0.511 | 0.24 | 3.79 | 100.2 | 5 | 2 | 68 | <20 | 7 | <20 | 410 | 280 | 21 | 2.3 | 10 | 56 |
| 560058901 | 61.62 | 15.29 | 6.3 | 0.059 | 3.4 | 2.81 | 2.31 | 1.32 | 0.627 | 0.13 | 5.05 | 98.9 | 21 | <1 | 297 | <20 | 13 | <20 | 180 | 80 | 16 | 2.3 | 29 | 19 |
| 560058731 | 58.18 | 18.26 | 5.3 | 0.207 | 2.6 | 4.58 | 5.08 | 1.81 | 0.672 | 0.27 | 3.85 | 100.8 | 9 | 2 | 78 | <20 | 9 | <20 | 30 | 340 | 22 | 15 | 26 | 45 |
| 560058732 | 57.7 | 16.86 | 5.77 | 0.126 | 1.36 | 5.24 | 5.01 | 1.89 | 0.514 | 0.24 | 3.56 | 98.27 | 6 | 2 | 76 | <20 | 8 | <20 | 1110 | 710 | 21 | 3.3 | 8 | 85 |
| 560058733 | 60.39 | 18.39 | 4.69 | 0.116 | 1.34 | 5.5 | 4.66 | 1.72 | 0.528 | 0.26 | 1.62 | 99.21 | 6 | 2 | 72 | <20 | 6 | <20 | 320 | 460 | 22 | 2.5 | <5 | 67 |
| 560058734 | 60.83 | 17.96 | 5.05 | 0.126 | 1.41 | 5.13 | 4.61 | 1.77 | 0.519 | 0.26 | 1.92 | 99.58 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 190 | 680 | 22 | 2.3 | 8 | 57 |
| 560058735 | 63.8 | 15.6 | 5.83 | 0.184 | 1.84 | 4.49 | 3.97 | 2.43 | 0.554 | 0.25 | 1.22 | 100.2 | 7 | 1 | 87 | <20 | 9 | <20 | 1550 | 530 | 19 | 4.5 | 12 | 97 |
| 560058736 | 61.12 | 16.28 | 5.61 | 0.155 | 1.66 | 5.25 | 4.21 | 2.01 | 0.579 | 0.28 | 1.65 | 98.8 | 7 | 2 | 84 | <20 | 9 | <20 | 790 | 460 | 21 | 2.3 | 6 | 61 |
| 560058737 | 61.27 | 16.99 | 5.39 | 0.129 | 1.87 | 5.24 | 4.42 | 2.25 | 0.599 | 0.28 | 1.31 | 99.76 | 7 | 2 | 84 | <20 | 8 | <20 | 550 | 360 | 21 | 2.2 | <5 | 72 |
| 560058738 | 63.67 | 16.42 | 4.74 | 0.116 | 1.6 | 4.21 | 4.61 | 2.39 | 0.563 | 0.24 | 1.24 | 99.81 | 7 | 2 | 85 | <20 | 8 | <20 | 520 | 290 | 20 | 2 | <5 | 67 |
| 560058739 | 59.14 | 15.82 | 6.7 | 0.18 | 2.54 | 5.81 | 4.93 | 2.18 | 0.719 | 0.31 | 2.66 | 101 | 10 | 2 | 122 | <20 | 13 | <20 | 800 | 400 | 21 | 2.6 | 8 | 48 |
| 560058740 | 60.35 | 17.21 | 6.08 | 0.152 | 2.22 | 5.47 | 5.03 | 2.18 | 0.74 | 0.31 | 1.24 | 101 | 9 | 2 | 113 | <20 | 11 | <20 | 1060 | 370 | 22 | 2.6 | <5 | 58 |
| 560058741 | 59.38 | 15.98 | 5.41 | 0.183 | 2.32 | 4.32 | 4.85 | 2.87 | 0.574 | 0.27 | 2.85 | 99 | 7 | 2 | 83 | <20 | 9 | <20 | 930 | 640 | 20 | 3.1 | <5 | 115 |
| 560058742 | 63.2 | 16.8 | 4.68 | 0.129 | 1.3 | 4.68 | 4.68 | 2.34 | 0.496 | 0.22 | 0.88 | 99.41 | 5 | 2 | 69 | <20 | 7 | <20 | 410 | 240 | 21 | 1.7 | 6 | 62 |
| 560058743 | 61.65 | 17.6 | 5.06 | 0.149 | 1.66 | 4.75 | 5.02 | 1.89 | 0.65 | 0.28 | 1.29 | 99.99 | 6 | 2 | 86 | <20 | 8 | <20 | 170 | 1220 | 22 | 2.7 | 17 | 51 |
| 560058745 | 63.63 | 16.89 | 5.2 | 0.166 | 1.52 | 4.22 | 4.84 | 2.2 | 0.518 | 0.22 | 1.36 | 100.8 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 420 | 260 | 21 | 2 | 14 | 49 |
| 560058746 | 62.22 | 14.84 | 6.05 | 0.058 | 3.32 | 2.83 | 2.29 | 1.29 | 0.613 | 0.12 | 5.38 | 99.01 | 21 | <1 | 287 | <20 | 13 | <20 | 1450 | 80 | 16 | 2.2 | 26 | 19 |
| 560058747 | 62.07 | 17.66 | 4.54 | 0.165 | 1.75 | 4.62 | 4.68 | 2.26 | 0.623 | 0.24 | 1.93 | 100.5 | 7 | 2 | 87 | <20 | 7 | <20 | 70 | 350 | 22 | 1.6 | 24 | 53 |
| 560058750 | 61.4 | 17.31 | 4.66 | 0.123 | 1.63 | 4.54 | 4.32 | 2.03 | 0.534 | 0.24 | 1.93 | 98.73 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 40 | 160 | 22 | 1.6 | 7 | 53 |
| 560058705 | 62.27 | 16.85 | 5.68 | 0.204 | 1.14 | 5.49 | 4.36 | 2.52 | 0.588 | 0.27 | 1.48 | 100.9 | 7 | 2 | 90 | 40 | 8 | <20 | 780 | 260 | 22 | 2.3 | 8 | 73 |
| 560058706 | 60.73 | 15.68 | 5.44 | 0.302 | 1.04 | 3.99 | 3.74 | 2.75 | 0.563 | 0.26 | 4.17 | 98.65 | 6 | 2 | 81 | <20 | 9 | <20 | 520 | 510 | 20 | 3.5 | 16 | 98 |
| 560058707 | 56.78 | 15.33 | 6.36 | 0.191 | 2.5 | 5.03 | 4.8 | 2.72 | 0.587 | 0.25 | 4.59 | 99.15 | 7 | 2 | 84 | 30 | 12 | <20 | 1560 | 330 | 20 | 2.5 | 5 | 77 |
| 560058708 | 60.38 | 16.09 | 6.02 | 0.144 | 1.85 | 5.43 | 4.3 | 2.53 | 0.637 | 0.29 | 2.85 | 100.5 | 8 | 2 | 140 | 30 | 10 | <20 | 990 | 520 | 21 | 1.7 | <5 | 66 |
| 560058709 | 60.68 | 16.09 | 6.14 | 0.086 | 1.48 | 4.73 | 4.95 | 2.6 | 0.577 | 0.26 | 2.97 | 100.6 | 6 | 2 | 82 | 40 | 9 | <20 | 670 | 180 | 21 | 2.2 | 8 | 74 |
| 560058710 | 61.92 | 16.21 | 6.05 | 0.069 | 1.36 | 4.46 | 5.13 | 2.71 | 0.562 | 0.23 | 2.05 | 100.7 | 6 | 2 | 81 | 40 | 8 | <20 | 2600 | 190 | 21 | 2 | 10 | 85 |
| 560058711 | 57.81 | 16.39 | 6.06 | 0.11 | 1.42 | 5.03 | 5.47 | 2.48 | 0.566 | 0.28 | 3.18 | 98.79 | 6 | 2 | 78 | 40 | 8 | <20 | 790 | 220 | 21 | 2.4 | 11 | 73 |
| 560058712 | 60.6 | 16.33 | 5.99 | 0.092 | 1.44 | 4.7 | 4.82 | 2.5 | 0.567 | 0.25 | 3.26 | 100.6 | 6 | 1 | 81 | 40 | 8 | <20 | 930 | 200 | 21 | 1.9 | 9 | 59 |
| 560058713 | 60.98 | 16.27 | 6.21 | 0.11 | 1.45 | 4.56 | 4.62 | 2.32 | 0.545 | 0.26 | 2.58 | 99.88 | 6 | 2 | 80 | 60 | 9 | <20 | 190 | 250 | 22 | 1.9 | 9 | 52 |
| 560058714 | 60.96 | 16.78 | 5.69 | 0.195 | 1.59 | 4.92 | 4.77 | 2.15 | 0.564 | 0.23 | 1.87 | 99.72 | 7 | 2 | 78 | 40 | 9 | <20 | 520 | 990 | 21 | 2 | 64 | 71 |
| 560058715 | 62.02 | 16.16 | 5.64 | 0.183 | 1.35 | 4.31 | 5.45 | 2.45 | 0.516 | 0.23 | 1.43 | 99.74 | 5 | 2 | 69 | 60 | 8 | <20 | 860 | 240 | 21 | 2.3 | 20 | 45 |
| 560058716 | 59.97 | 17.79 | 6.05 | 0.117 | 1.57 | 5.4 | 4.8 | 1.93 | 0.639 | 0.3 | 1.97 | 100.5 | 7 | 2 | 87 | 40 | 9 | <20 | 460 | 170 | 23 | 1.9 | 14 | 62 |
| 560058717 | 62.1 | 16.19 | 6.13 | 0.171 | 1.52 | 4.79 | 4.78 | 1.68 | 0.561 | 0.25 | 1.71 | 99.87 | 6 | 2 | 83 | 40 | 8 | <20 | 400 | 520 | 23 | 1.9 | 11 | 49 |

Resultados análisis Trace4Literearch SiO₂-Rb muestra 560058744 – 560058717

| Analyte Symbol | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ (T) | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | LOI | Total | Sc | Be | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Rb |
|-----------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Unit Symbol | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| Detection Limit | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | | 0.01 | 1 | 1 | 5 | 20 | 1 | 20 | 10 | 30 | 1 | 0.5 | 5 | 1 |
| 560058718 | 60.97 | 16.94 | 5.45 | 0.06 | 1.4 | 5.03 | 4.9 | 2.26 | 0.565 | 0.26 | 2.29 | 100.1 | 6 | 2 | 79 | 40 | 6 | <20 | 250 | 10 | 22 | 1.7 | 18 | 71 |
| 560058719 | 62.53 | 16.48 | 5.8 | 0.16 | 1.49 | 4.88 | 4.88 | 2.14 | 0.574 | 0.24 | 1.8 | 101 | 7 | 2 | 84 | 50 | 8 | <20 | 740 | 260 | 21 | 1.8 | 9 | 62 |
| 560058720 | 62.9 | 16.76 | 5.1 | 0.1 | 1.41 | 4.67 | 4.73 | 1.73 | 0.504 | 0.25 | 1.19 | 99.35 | 5 | 2 | 72 | 30 | 7 | <20 | 260 | 310 | 21 | 1.8 | 12 | 49 |
| 560058721 | 62.73 | 16.51 | 5.48 | 0.14 | 1.33 | 4.59 | 5.03 | 2.48 | 0.555 | 0.26 | 1.73 | 100.8 | 6 | 2 | 76 | 50 | 8 | <20 | 510 | 170 | 22 | 1.8 | <5 | 61 |
| 560058722 | 60.84 | 17.11 | 5.43 | 0.13 | 1.68 | 5.34 | 4.73 | 1.99 | 0.656 | 0.27 | 1.85 | 100 | 8 | 2 | 96 | 40 | 9 | <20 | 120 | 350 | 22 | 1.6 | 23 | 52 |
| 560058723 | 60.97 | 16.39 | 6.4 | 0.26 | 1.53 | 4.78 | 5.4 | 2.6 | 0.579 | 0.23 | 1.02 | 100.2 | 6 | 2 | 77 | 40 | 9 | <20 | 1710 | 620 | 22 | 2.7 | 15 | 59 |
| 560058724 | 62.03 | 17.04 | 5.74 | 0.08 | 1.3 | 4.73 | 4.81 | 2.44 | 0.545 | 0.24 | 2 | 100.9 | 5 | 2 | 74 | 50 | 7 | <20 | 360 | 150 | 21 | 1.6 | 14 | 67 |
| 560058725 | 62.95 | 14.84 | 6.19 | 0.06 | 3.33 | 2.8 | 2.28 | 1.31 | 0.627 | 0.13 | 5.09 | 99.59 | 21 | <1 | 302 | 20 | 13 | <20 | 1240 | 80 | 17 | 2.3 | 29 | 19 |
| 560058726 | 60.48 | 16.84 | 5.21 | 0.11 | 0.73 | 5.99 | 4.26 | 3.3 | 0.611 | 0.28 | 2.94 | 100.8 | 7 | 2 | 80 | 50 | 5 | <20 | 300 | 120 | 21 | 2.9 | 8 | 87 |
| 560058727 | 62.52 | 17.74 | 5.34 | 0.11 | 1.48 | 5.03 | 4.69 | 2.01 | 0.605 | 0.24 | 1.19 | 101 | 6 | 2 | 80 | 30 | 8 | <20 | 120 | 180 | 22 | 1.5 | 8 | 47 |
| 560058728 | 61.88 | 16.18 | 5.43 | 0.25 | 1.48 | 4.57 | 5.48 | 2.49 | 0.516 | 0.24 | 1.37 | 99.88 | 6 | 2 | 74 | 40 | 8 | <20 | 1280 | 460 | 22 | 2.8 | 14 | 52 |
| 560058729 | 62.8 | 16.62 | 5.46 | 0.14 | 1.52 | 5.01 | 4.6 | 2 | 0.578 | 0.24 | 0.3 | 99.27 | 7 | 2 | 83 | 40 | 8 | <20 | 110 | 240 | 21 | 1.5 | 11 | 46 |
| 560058730 | 65.63 | 16.86 | 4.65 | 0.11 | 1.27 | 4.95 | 4.52 | 2.16 | 0.514 | 0.23 | 0.06 | 101 | 6 | 2 | 67 | 30 | 6 | <20 | 40 | 120 | 22 | 1.6 | <5 | 38 |
| 560058901 | 61.62 | 15.29 | 6.3 | 0.06 | 3.4 | 2.81 | 2.31 | 1.32 | 0.627 | 0.13 | 5.05 | 98.9 | 21 | <1 | 297 | <20 | 13 | <20 | 1180 | 80 | 16 | 2.3 | 29 | 19 |
| 560058731 | 58.18 | 18.26 | 5.3 | 0.21 | 2.6 | 4.58 | 5.08 | 1.81 | 0.672 | 0.27 | 3.85 | 100.8 | 9 | 2 | 78 | <20 | 9 | <20 | 30 | 340 | 22 | 1.5 | 26 | 45 |
| 560058732 | 57.7 | 16.86 | 5.77 | 0.13 | 1.36 | 5.24 | 5.01 | 1.89 | 0.514 | 0.24 | 3.56 | 98.27 | 6 | 2 | 76 | <20 | 8 | <20 | 110 | 710 | 21 | 3.3 | 8 | 85 |
| 560058733 | 60.39 | 18.39 | 4.69 | 0.12 | 1.34 | 5.5 | 4.66 | 1.72 | 0.528 | 0.26 | 1.62 | 99.21 | 6 | 2 | 72 | <20 | 6 | <20 | 320 | 460 | 22 | 2.5 | <5 | 67 |
| 560058734 | 60.83 | 17.96 | 5.05 | 0.13 | 1.41 | 5.13 | 4.61 | 1.77 | 0.519 | 0.26 | 1.92 | 99.58 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 190 | 680 | 22 | 2.3 | 8 | 57 |
| 560058735 | 63.8 | 15.6 | 5.83 | 0.18 | 1.84 | 4.49 | 3.97 | 2.43 | 0.554 | 0.25 | 1.22 | 100.2 | 7 | 1 | 87 | <20 | 9 | <20 | 1550 | 530 | 19 | 4.5 | 12 | 97 |
| 560058736 | 61.12 | 16.28 | 5.61 | 0.16 | 1.66 | 5.25 | 4.21 | 2.01 | 0.579 | 0.28 | 1.65 | 98.8 | 7 | 2 | 84 | <20 | 9 | <20 | 790 | 460 | 21 | 2.3 | 6 | 61 |
| 560058737 | 61.27 | 16.99 | 5.39 | 0.13 | 1.87 | 5.24 | 4.42 | 2.25 | 0.599 | 0.28 | 1.31 | 99.76 | 7 | 2 | 84 | <20 | 8 | <20 | 550 | 360 | 21 | 2.2 | <5 | 72 |
| 560058738 | 63.67 | 16.42 | 4.74 | 0.12 | 1.6 | 4.21 | 4.61 | 2.39 | 0.563 | 0.24 | 1.24 | 99.81 | 7 | 2 | 85 | <20 | 8 | <20 | 520 | 290 | 20 | 2 | <5 | 67 |
| 560058739 | 59.14 | 15.82 | 6.7 | 0.18 | 2.54 | 5.81 | 4.93 | 2.18 | 0.719 | 0.31 | 2.66 | 101 | 10 | 2 | 122 | <20 | 13 | <20 | 800 | 400 | 21 | 2.6 | 8 | 48 |
| 560058740 | 60.35 | 17.21 | 6.08 | 0.15 | 2.22 | 5.47 | 5.03 | 2.18 | 0.74 | 0.31 | 1.24 | 101 | 9 | 2 | 113 | <20 | 11 | <20 | 1060 | 370 | 22 | 2.6 | <5 | 58 |
| 560058741 | 59.38 | 15.98 | 5.41 | 0.18 | 2.32 | 4.32 | 4.85 | 2.87 | 0.574 | 0.27 | 2.85 | 99 | 7 | 2 | 83 | <20 | 9 | <20 | 930 | 640 | 20 | 3.1 | <5 | 115 |
| 560058742 | 63.2 | 16.8 | 4.68 | 0.13 | 1.3 | 4.68 | 4.68 | 2.34 | 0.496 | 0.22 | 0.88 | 99.41 | 5 | 2 | 69 | <20 | 7 | <20 | 410 | 240 | 21 | 1.7 | 6 | 62 |
| 560058743 | 61.65 | 17.6 | 5.06 | 0.15 | 1.66 | 4.75 | 5.02 | 1.89 | 0.65 | 0.28 | 1.29 | 99.99 | 6 | 2 | 86 | <20 | 8 | <20 | 170 | 1220 | 22 | 2.7 | 17 | 51 |
| 560058745 | 63.63 | 16.89 | 5.2 | 0.17 | 1.52 | 4.22 | 4.84 | 2.2 | 0.518 | 0.22 | 1.36 | 100.8 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 420 | 260 | 21 | 2 | 14 | 49 |
| 560058746 | 62.22 | 14.84 | 6.05 | 0.06 | 3.32 | 2.83 | 2.29 | 1.29 | 0.613 | 0.12 | 5.38 | 99.01 | 21 | <1 | 287 | <20 | 13 | <20 | 1450 | 80 | 16 | 2.2 | 26 | 19 |
| 560058747 | 62.07 | 17.66 | 4.54 | 0.17 | 1.75 | 4.62 | 4.68 | 2.26 | 0.623 | 0.24 | 1.93 | 100.5 | 7 | 2 | 87 | <20 | 7 | <20 | 70 | 350 | 22 | 1.6 | 24 | 53 |
| 560058750 | 61.4 | 17.31 | 4.66 | 0.12 | 1.63 | 4.54 | 4.32 | 2.03 | 0.534 | 0.24 | 1.93 | 98.73 | 6 | 2 | 71 | <20 | 7 | <20 | 40 | 160 | 22 | 1.6 | 7 | 53 |
| 560058744 | 57.42 | 16.45 | 4.04 | 0.25 | 1.73 | 5.17 | 2.46 | 1.71 | 0.469 | 0.23 | 10.62 | 100.6 | 5 | 2 | 58 | <20 | 5 | <20 | 50 | 1430 | 19 | 1.6 | <5 | 48 |
| 560058748 | 59.68 | 17.15 | 4.74 | 0.08 | 2.17 | 5.37 | 4.39 | 1.75 | 0.689 | 0.26 | 3.62 | 99.91 | 8 | 2 | 99 | <20 | 9 | <20 | 120 | 130 | 22 | 1.2 | 31 | 41 |
| 560058749 | 59.45 | 17.93 | 5.07 | 0.15 | 1.37 | 4.77 | 4.69 | 2.27 | 0.511 | 0.24 | 3.79 | 100.2 | 5 | 2 | 68 | <20 | 7 | <20 | 410 | 280 | 21 | 2.3 | 10 | 56 |

Resultados análisis Trace4LitoResearch SiO₂ – Rb muestra 560058718 – 560058749

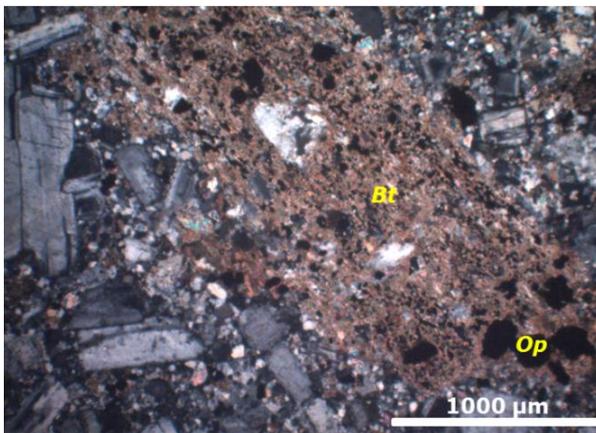
13.4 ANEXO E

Petrografía y Calcografía

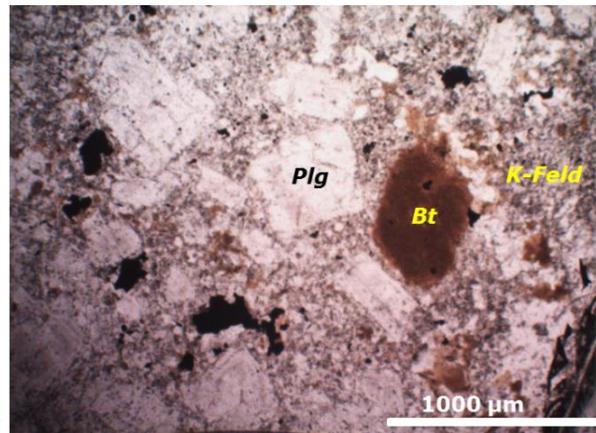
Abreviaciones Minerales opacos: *Cp*= calcopirita, *Bn*= bornita, *CC-Dg*= calcosina-digenita, *Py*= pirita, *Gl*= galena, *Esf*= esfalerita, *Tht*= tenantita, *Mt*= magnetita, *Ilm-Tmt-(Tht)*= ilmenita-titanomagnetita-(titanohematita), *Ht*= hematita; *Fxx*= fenocristales, *Mf*= masa fundamental.

| | | | |
|--|-----------------|---|--|
| Nº Muestra | | 560053902 | |
| DDH-LUC-018 410.6 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido diorítico con alteración a albita y biotita (Intermineral temprano) | |
| Fxx: 49 % | Mf: 51 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 49% | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 47 | Albitización y débil alteración a sericita (local). | Plagioclasas con impregnación de cristales de anhidrita muy finos. Textura seriada: poblaciones 0.2-0.4 mm y 0.6-0.9 mm. Plagioclasas zonadas. |
| Máficos | 2 | Fuerte reemplazo por biotita hidrotermal | Relictos de fenocristales máficos, con texturas de reemplazo a biotita hidrotermal. Bordes de descomposición. Tamaño de hasta 1.2 mm. |
| Masa fundamental: 51 % (Tamaño promedio cristales: 0.08 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cuarzo | 10 | Cuarzo recristalizado | Cristales de hasta 0.2 mm inmersos en la masa fundamental. |
| Plagioclasa | 12 | Moderada a feldespato potásico | Finos cristales de hasta 0.3 mm en la masa fundamental. Se conservan algunas maclas. |
| Feldespato potásico/albита | 19 | Mineral producto de alteración de las plagioclasas. | Intercrecido entre cristales finos de la masa fundamental y como granos anhedrales de hasta 1 mm. Se observa la formación de feldespato potásico intercrecido en la masa fundamental y albита como reemplazo de las plagioclasas. Predominancia de albита sobre feldespato potásico. |
| Opacos | 4 | | Forman parte de la masa fundamental y como reemplazo en minerales máficos y biotita hidrotermal. Cristales anhedrales de hasta 1 mm. |
| Biotita hidrotermal | 7 | Alterada débil a clorita. | Finos cristales anhedrales a subhedrales diseminados y en cúmulos, en equilibrio con minerales opacos. Tamaño hasta 0.4 mm |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Apatito | 0.5 | Cristales finos subhedrales de hasta 0.2 mm | |

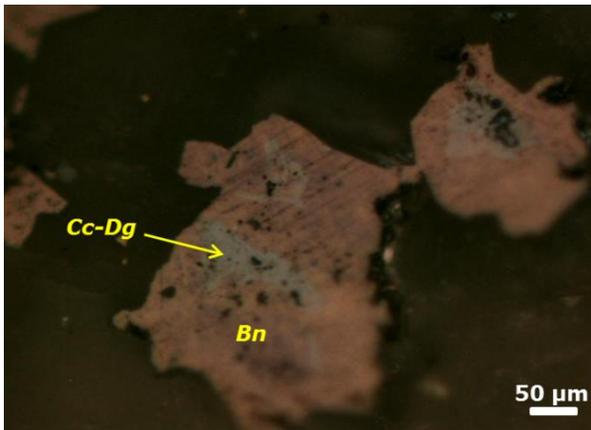
| Minerales Alteración: 21 % | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---|-------|----------------|----------|-----|---|----|---------------|----|
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Turmalina | 2 | Hábito acicular radial. En vetillas y de forma local diseminada en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Anhidrita | 3 | Granos anhedral en masa fundamental e impregnados en fenocristales de plagioclasa. | | | | | | | | |
| Feldespato potásico | 5 | Finos cristales anhedral intercrecidos entre la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Biotita hidrotermal | 7 | Finos cristales de hasta 0.4 mm inmersos en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Sericita | 2 | Altera débilmente a plagioclasas. | | | | | | | | |
| Clorita | 1.5 | En masa fundamental como reemplazo débil a total de cristales finos de biotita hidrotermal. | | | | | | | | |
| Albita | M-I | (M-I= Moderada- Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Calcita | 0.5 | En masa fundamental asociada a máficos, cristales de 0.1-0.2 mm. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 4% | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | <0.5 | <0.5 | <0.5 | | Traza | | | 2 | 1 | 1 |
| Asociaciones Paragenéticas | Cp-Bn-Cc | | Bn-Gl | | Mt-Bn-Cp | | Mt-Ilm-Tmt-(tht)-Ht | | | |
| Comentarios | Exsolución de Bn-Cc-Dg (textura reticulado). | | | | | | | | | |
| | Cp diseminada y en vetilla de cuarzo B. | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tht (textura de laminillas). | | | | | | | | | |
| | Ht reemplazando a Mt. | | | | | | | | | |
| Estructuras: 15 % | | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | | | | Espesor | | | Características | | | |
| Vetilla | | | | 0.5 mm | | | Vetilla con un 10 % cuarzo, 1 % opacos y 4 % turmalina. Halo con biotita cloritizada y sericita. Los cristales de cuarzo se hacen más finos hacia el borde de la vetilla. | | | |



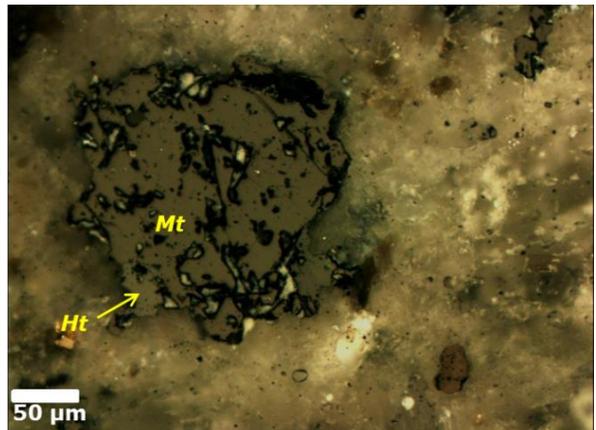
Pseudomorfo de fenocristal máfico reemplazado por biotita hidrotermal (Bt) y minerales opacos (op). Bordes de descomposición. Aumento 4X, NX.



Aspecto general de la roca con fenocristales de plagioclasa (Plg) albitizados, feldespato potásico (K-Feld) intercrecido en la masa fundamental y fenocristales máficos reemplazados por biotita secundaria (Bt). Aumento 40x; NP.



Exsolución de bornita (Bn) y calcosinadigenita (Cc-Dg). Aumento 50X.

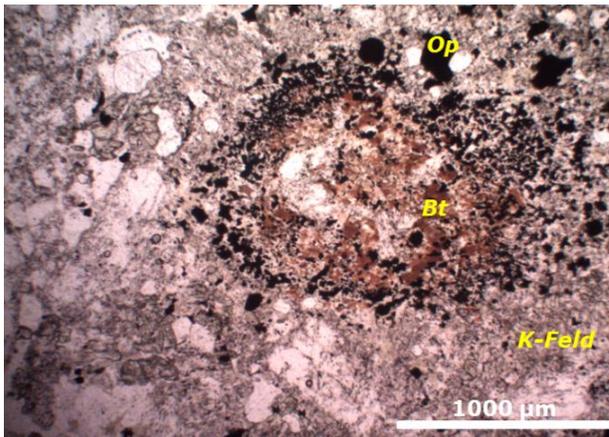


Cristal de magnetita (Mt) con reemplazo a hematita (Ht). Aumento 50X.

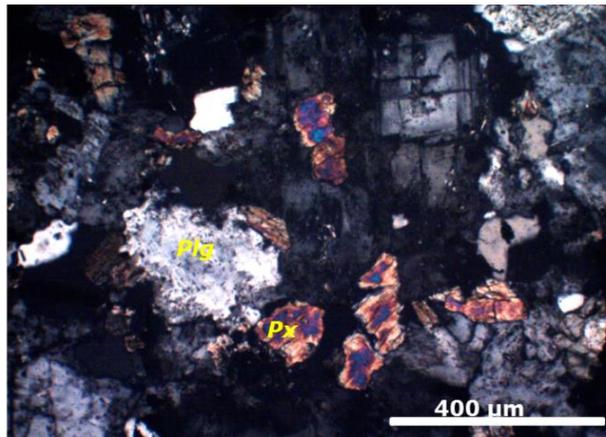
| | | | |
|------------------------------------|----------|--|--|
| Nº Muestra | | 560053907 | |
| DDH-LUC-025 268.9 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico con alteración a biotita, feldespato potásico, albita y actinolita (Intermineral temprano) | |
| Fxx: 47 % | | Mf:53 % | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 47 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 45 | Albitización | Textura seriada: cristales con tamaños mayores a 1 mm, hasta 2.4 mm; algunos menores a 1 mm. Se observan cristales de plagioclasa reemplazados por albita a partir de los bordes y microfracturas. |

| | | | |
|--|----------|---|---|
| Máficos | 2 | Biotita hidrotermal | Relicto de fenocristales máficos con textura de reemplazo a biotita hidrotermal y minerales opacos. Bordes de descomposición. |
| Masa fundamental: 53 % (Tamaño promedio cristales: 0.06 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxeno | 5 | Actinolitización | Cristales de diópsido (extinción oblicua y colores de interferencia de 2° orden); cristales subhedrales de tamaños entre 0.05-0.2 mm, producto de metasomatismo hidrotermal; en equilibrio con cristales de albita y feldespato potásico. |
| Cuarzo | 7 | Producto de recristalización. | Cristales finos en masa fundamental y rellenos en la matriz de hasta 0.5 mm formado por cristales de hasta 0.1-0.2 mm |
| Plagioclasa | 17 | Albitización | Cristales anhedrales de tamaños <1 mm intercrecidos en la masa fundamental. |
| Feldespato potásico/albita | 16 | Producto de alteración. | Cristales de feldespato potásico intercrecido en masa fundamental producto de alteración de la plagioclasa. Se observan fenocristales de plagioclasa reemplazados a albita a partir de los bordes y microfracturas. |
| Opacos | 4 | | Anhedrales |
| Biotita hidrotermal | 3 | Alterados a clorita | Finos cristales diseminados de hasta 0.4 mm, asociados a minerales opacos, anhedrales, alterados a clorita. |
| Minerales Alteración: 12.5 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Yeso | 0.5 | Rellenando espacios entre masa fundamental | |
| Anhidrita | 0.5 | Como relleno de espacios abiertos entre la masa fundamental y finos cristales incrustados en otros minerales como plagioclasa. | |
| Calcita | 0.5 | Cristales anhedrales <1mm intercrecidos en la masa fundamental. | |
| Sericita | 1 | Alterando a fenocristales de plagioclasa. | |
| Actinolita | 3 | Alterando a los piroxenos. | |
| Feldespato potásico | 5 | Cristales anhedrales <1 mm intercrecidos en la masa fundamental. | |
| Albita | M-I | (M-I= moderada a intensa); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | |
| Clorita | 2 | Alterando a biotita 2°. En paragénesis con opacos y piroxenos. | |
| Minerales Opacos: 4% | | | |

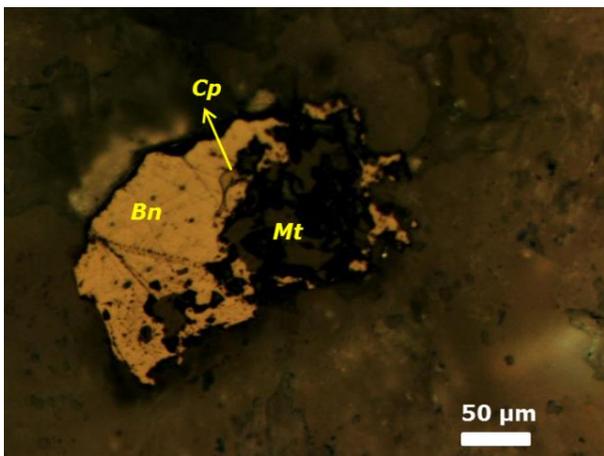
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
|--------------------------------|--|-------|------------|--|--------|-------|-----------|----|---------------|----|
| % | <1 | Traza | | 1 | | Traza | | 2 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Py-Cp-Mt | | Mt-Ilm-Tht | | Esf-Py | | Esf-Cp-Mt | | | |
| Comentarios | Esf reemplazando a Py | | | | | | | | | |
| | Cp reemplazando a Py a lo largo de fracturas | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tht (textura de laminillas). | | | | | | | | | |
| | Exsolución Esf en Cp | | | | | | | | | |
| Estructuras: 30% | | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | Espesor | | | Características | | | | | | |
| Cuarzo-opacos-yeso (anhidrita) | < 0.5 mm | | | 27 % cuarzo y 3 % de opacos . Al centro de la vetilla de cuarzo ocurre una fina vetilla de yeso de 0.2 mm con trazas de anhidrita. | | | | | | |



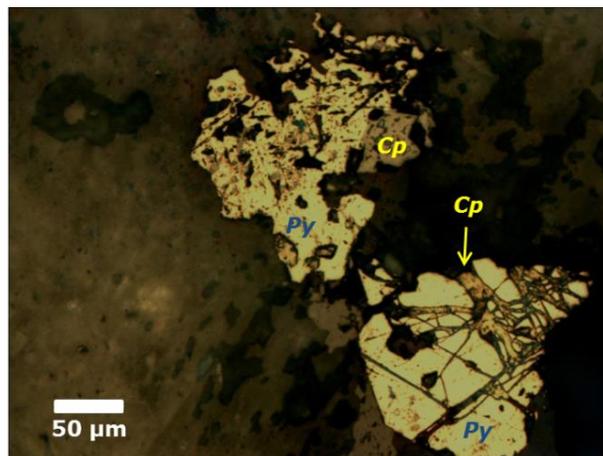
Pseudomorfo de fenocristal máfico con desarrollo de bordes de descomposición de minerales opacos (Op); (óxidos Fe-Ti) y alteración a biotita (Bt) hidrotermal. Aumento 4x, NP. La masa fundamental se encuentra alterada a feldespato potásico hidrotermal (K-Feld) y albitización.



Finos cristales de diópsido (Px) actinolitizados en equilibrio con cristales de plagioclasa (Plg) albitizados. Aumento 10X.



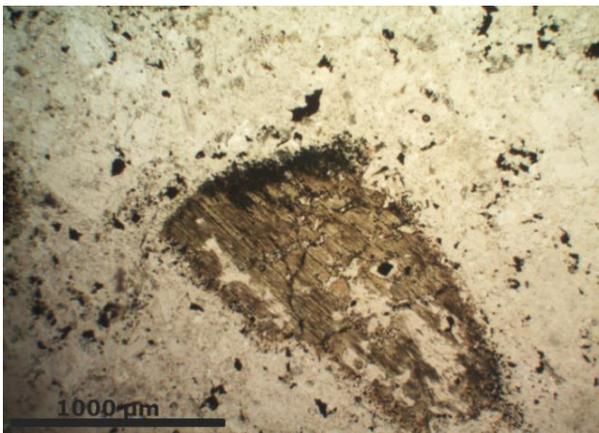
Cristal de bornita (Bn) en equilibrio con calcopirita (cp) y magnetita (Mt). Aumento: 20X.



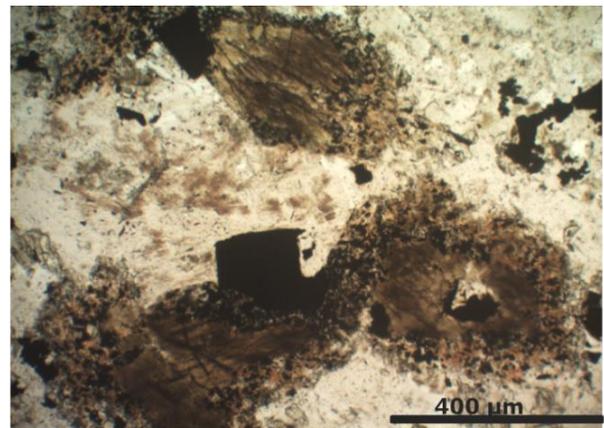
Cristales de pirita (Py) siendo reemplazados por calcopirita (Cp) a través de microfracturas. Aumento: 20X.

| | | | |
|------------------------------------|-----------------|---|---|
| Nº Muestra | | 560053017 | |
| DDH-LUN-001 277.6 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico de hornblenda y biotita con alteración a feldespato potásico, albita, clorita-esmectita (Intermineral temprano) | |
| Fxx: 42 % | Mf: 58 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 42 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 40 | Albitización | Cristales de tamaño entre 0.2 y 0.5 mm. |
| Hornblenda | 1 | Biotita 2° | Cristales < 1mm |
| Biotita | 0.5 | Clorita | Fenocristales de biotita primaria alterados levemente a clorita de 0.9 mm |
| Máficos | 0.5 | | Relicto de fenocristales máficos de hasta 0.6mm con reemplazo de biotita hidrotermal y minerales opacos. Bordes de descomposición |
| Masa fundamental: 58 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxeno | 2 | Débilmente actinolitizados | Cristales de hasta 0.1 mm. |
| Plagioclasa | 29 | Albitización. | Plagioclasas de hasta 0.4 mm |
| Cuarzo | 10 | | Cristales de media 0.05 mm |
| Opacos | 4 | | Anhedrales |
| Clorita-smectita | 7 | | Cristales finos anhedrales menores a 0.1 mm. |
| Feldespato potásico | <5 | Producto de alteración de las plagioclasas. | Cristales anhedrales de alrededor de 1 mm inmersos en la masa fundamental. |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | |

| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|---|-------|-------|----|-----|-----|----|---------------|----|
| Apatito | 0.5 | Finos cristales impregnados en fenocristales de plagioclasa. | | | | | | | | |
| Minerales Alteración: 11 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Clorita-smectita | 4 | Alterando parcialmente a cristales finos de biotita hidrotermal en la masa fundamental | | | | | | | | |
| Titanita | <0.5 | En equilibrio con clorita, <0.1 mm | | | | | | | | |
| Feldespato potásico | <5 | Producto de alteración de las plagioclasas de la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Albitización | D-M | (D-M: Débil-Moderado); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Calcita | 1 | Cristales anhedrales <0.01 mm diseminados en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 4 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | <0.5 | | | 1.5 | | | | 2 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Py-Mt | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | Cp-Mt | | | | | | |
| Comentarios | Py-Cp diseminada y en vetilla de cuarzo B | | | | | | | | | |
| | Cp reemplazando a Py a lo largo de fracturas | | | | | | | | | |



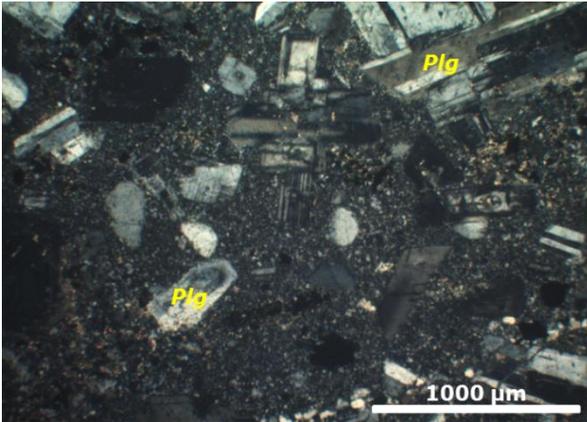
Cristal de biotita primario con desarrollo de bordes de descomposición. Aumento: 4X.



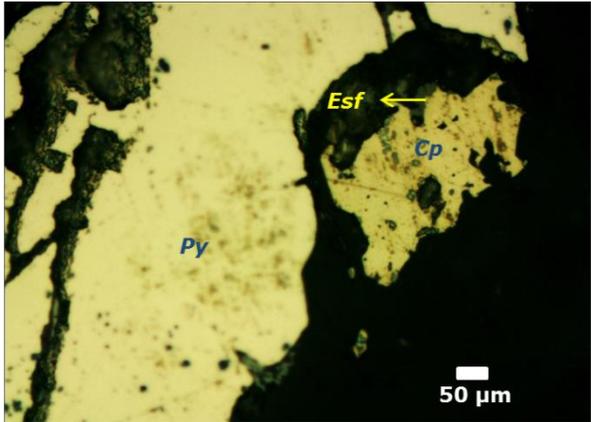
Cristales de hornblenda primarios con alteración a biotita hidrotermal y desarrollo de bordes de descomposición con óxidos de hierro y finos cristales de epidota. Aumento: 10X.

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|------------------|-----|---|-----|-------|----|---------------|
| Nº Muestra | 560053919 | | | | | | | | |
| DDH-LUN-003 302 m | | | | | | | | | |
| Clasificación petrográfica | | | | | Pórfido andesítico con alteración a clorita (Intermineral temprano) | | | | |
| Fxx: 49 % | Mf:5 | | | | | | | | |
| | 1 % | | | | | | | | |
| Textura porfídica | | | | | | | | | |
| Observaciones microscópicas | | | | | | | | | |
| Fenocristales: 49 % | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Alteración | | | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | |
| Plagioclasa | 45 | | | | Textura seriada. Cristales de tamaño de 0.3-0.5 mm y 1.2-1.8 mm. Cristales de hasta 2.6 mm | | | | |
| Máficos | 4 | Clorítica | | | Fenocristales de minerales máficos principalmente con texturas de reemplazo por clorita, opacos y biotita hidrotermal de forma local. | | | | |
| Masa fundamental: 49 % (Masa fundamental afanítica de cristales de hasta 0.02 mm) | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Alteración | | | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | |
| Opacos | 7 | | | | Anhedral, diseminados, asociado con clorita. | | | | |
| Piroxenos | 1 | Débilmente actinolíticos | | | Cristales subhedral de hasta 0.1 mm | | | | |
| Plagioclasa | 26 | | | | Cristales de hasta 0.02 mm | | | | |
| Cuarzo | 7 | | | | Finos cristales de cuarzo < 0.05 mm | | | | |
| Biotita 2° | <1 | Clorita | | | Finos cristales diseminados, producto de alteración de minerales máficos. | | | | |
| Clorita | 9 | Producto de alteración de biotita. | | | Diseminada y alterando selectivamente a biotita hidrotermal. | | | | |
| Minerales Alteración: 7 % | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | |
| Calcita | 3 | Diseminado en masa fundamental y finos cristales anhedral impregnados en fenocristales de plagioclasa. | | | | | | | |
| Yeso | <1 | Cristales anhedral diseminados en masa fundamental. | | | | | | | |
| Arcillas | 3 | Producto de alteración de la plagioclasa. | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 7% | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) |
| % | 1 | | | 0.5 | | 0.5 | | 4 | 1 |
| Asociaciones Paragenéticas | Cp-Esf-Mt | | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | Cp-Mt | | Mt-Py | | |
| Comentarios | Exsolución de Cp y Esf | | | | | | | | |
| | Cp y Py diseminadas | | | | | | | | |

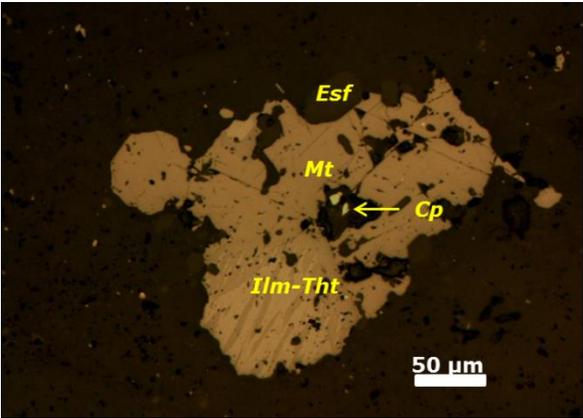
Exsolución Ilm-(Tmt)-Tht (textura de laminillas).



Aspecto general de masa fundamental afanítica y fenocristales de plagioclasa (plg). Aumento 40x, NC.



Cristal pirita (Py) y calcopirita (Cp) en equilibrio con esfalerita (Esf); (reemplazo). Aumento: 20X

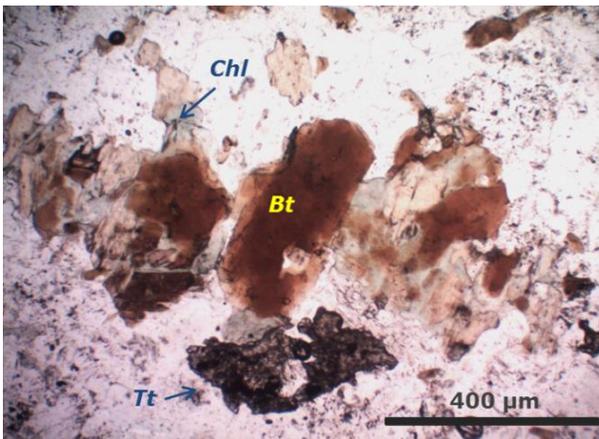


Cristal de magnetita (Mt) con cristal de ilmenita (Ilm) en exsolución con titánhematita (Tht); en paragénesis a esfalerita (Esf), la cual presenta exsolución con calcopirita (Cp). Aumento: 20X.

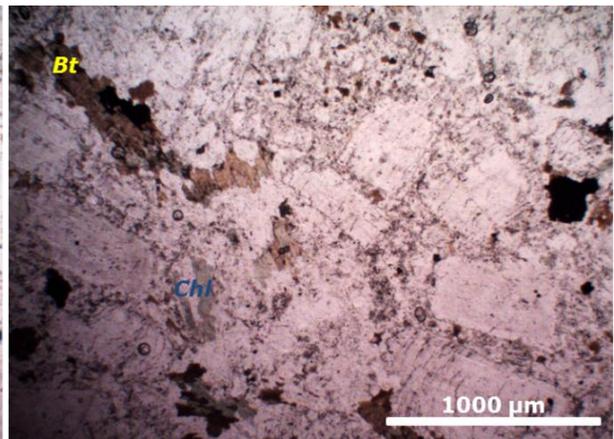
| | | | |
|------------------------------------|----------------|--|---|
| Nº Muestra | | 560053903 | |
| DDH-LUC-018, 538.5 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido diorítico de biotita (Intermineral) con alteración a feldespato potásico, biotita hidrotermal y albita | |
| Fxx: 56 % | Mf: 44% | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 56% | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 50 | Albitización | Textura serida: poblaciones entre 0.3-0.5 y 1.0-1.5 mm. Plagioclasa zonadas. |
| Máficos | 4 | Alterados parcialmente a biotita-titanita y clorita. | Relictos de fenocristales máficos de hasta 1.8 mm reemplazados total a parcialmente por biotita hidrotermal, clorita y titanita. Inclusiones de minerales opacos. |

| | | | |
|--|----------|--|---|
| Biotita | 2 | Clorita y titanita hidrotermal | Cristales de hasta 1.6 mm. |
| Masa fundamental: 44 % (Tamaño promedio cristales: 0.06mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cuarzo | 9 | | Cristales de hasta 0.1 mm |
| Plagioclasa | 19 | | Textura seriada: poblaciones 0.3-0.5 y 1.0-1.5 mm |
| Feldespató potásico/albita | 8 | Producto de alteración | Cristales anhedrales <1mm intercrecidos en la masa fundamental. |
| Biotita hidrotermal | 3 | Alterada parcialmente a clorita y a titanita hidrotermal | Finos cristales anhedrales a subhedrales de hasta 0.5 mm disseminados y en cúmulos. |
| Titanita hidrotermal | 1 | Producto de alteración. | Mineral producto de la alteración de biotita, de hasta 0.3 mm. |
| Opacos | 3 | | Cristales inmersos en la masa fundamental, anhedral a subhedral. Mayoritariamente asociados a minerales máficos e incluidos en ellos. |
| Minerales accesorios: <1% | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Zircón | Traza | 0.05 mm | |
| Apatito | 0.5 | Impregnación de cristales muy finos en plagioclasa. Finos cristales subhedrales de hasta 0.6mm. | |
| Minerales Alteración :% | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Turmalina | <0.5 | Pequeños cristales aciculares radiales de 0.1mm disseminados en la masa fundamental. | |
| Clorita | 3 | Alterando a finos cristales de biotita disseminados. | |
| Sericita | 1 | Alterando a plagioclasas | |
| Titanita hidrotermal | 1 | Mineral de alto relieve, anhedral, birrefringencia extrema (mantiene el color al aplicar la placa de yeso). Producto de alteración de la biotita, inmerso en la masa fundamental asociado a minerales máficos. | |
| Anhidrita | 3 | Granos anhedrales presentes en forma local en masa fundamental. | |
| Yeso | <1 | Granos anhedrales presentes en forma local en masa fundamental. Granos aislados y algunos bordeando a cristales de anhidrita. | |
| Biotita hidrotermal | 7 | Finos cristales anhedrales a subhedrales de hasta 0.5mm disseminados y en cúmulos. | |
| Calcita | <1 | Granos anhedrales presentes de forma local en masa fundamental. | |

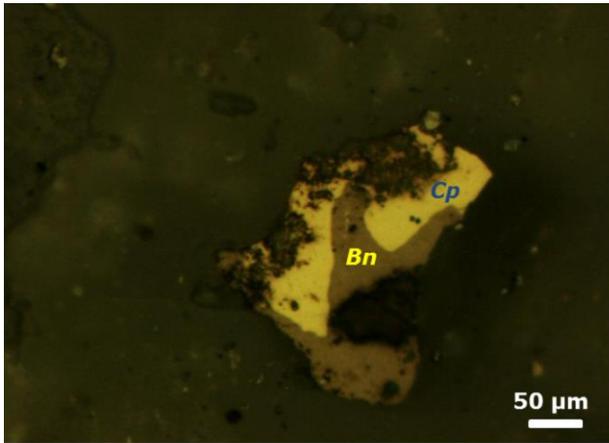
| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|---|-------|----|-----------|------|-----|----|---------------|------|
| Albita | M-I | (M-I= Moderada-Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Feldespato Potásico | 7 | Alterando de manera masiva a la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 3% | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | <0.5 | Traza | Traza | | | <0.5 | | 2 | | <0.5 |
| Asociaciones Paragenéticas | Bn-Cc-Dg-Cp | | Mt-Ht | | Esf-Cp-Mt | | | | | |
| Comentarios | Exsolución de Bn-Cc-Dg | | | | | | | | | |
| | Ht reemplazando a Mt | | | | | | | | | |



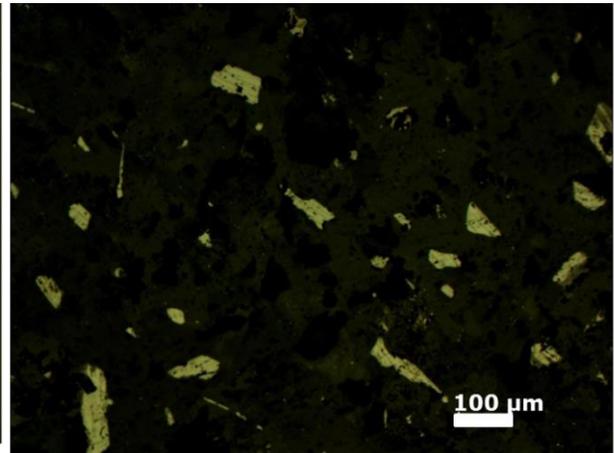
Cristales de biotita hidrotermal (Bt) reemplazados débilmente por clorita (Chl). Además de cristal de titanita (Tt), producto de alteración de la biotita.. Aumento 10x. NP.



Aspecto general de la roca con abundante biotita hidrotermal (Bt) y clorita (Chl) producto de alteración de minerales máficos. Aumento: 4X, NP.



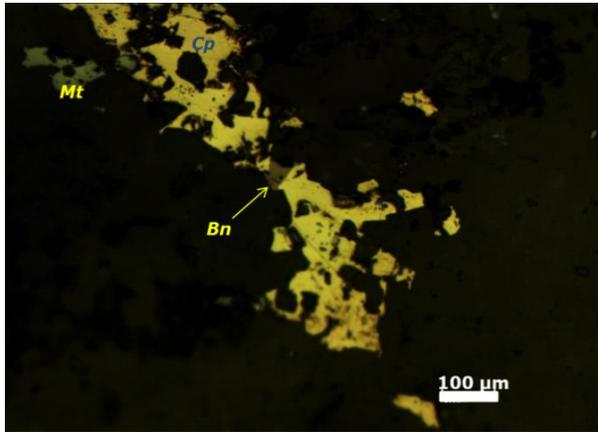
Cristal de bornita (Bn) y calcopirita (Cp). Aumento 50X.



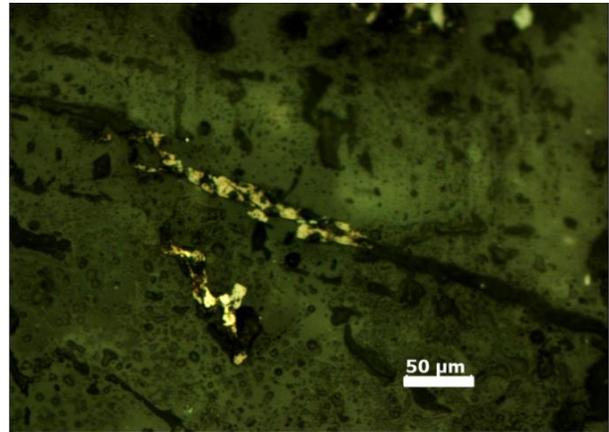
Granos anhedrales de magnetita, exsolución de ilmenita-tetanhematita y hematita como inclusiones en mineral máfico. Aumento: 10X.

| | | | |
|---|------------------|--|---|
| Nº Muestra | 560053904 | | |
| DDH-LUC-023 550.3m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzo diorítico de biotita con alteración a albita y feldespato potásico (Intermineral) | |
| Fxx: 44% | Mf: 56% | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 44 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 41 | Albitización | Textura seriada: poblaciones 0.5-0.7 y 0.8-1.1 mm |
| Máficos | <2 | Textura de reemplazo por biotita hidrotermal | Relictos de fenocristales máficos alterados a biotita hidrotermal e inclusiones de opacos. Relictos de hasta 2.4 mm |
| Biotita | <2 | | Fenocristales de biotita fresca de 0.3 hasta 1.4 mm |
| Masa fundamental: 56% (Tamaño promedio cristales: 0.04 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 27 | Albitización y feldespato potásico | Cristales intercrecidos en masa fundamental de hasta 0.08 mm. |
| Cuarzo | 10 | Cuarzo recristalizado | Cristales recristalizados de hasta 0.06 mm. |
| Feldespato potásico | 9 | | Granos anhedrales <0.5 mm en la masa fundamental. |
| Biotita hidrotermal | 5 | | Cristales finos anhedrales de hasta 0.3 mm. |
| Opacos | 7 | | Anhedrales a subhedrales. |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Zircón | Trazas | < 0.05mm | |
| Apatito | 0.5 | Incrustado en plagioclasas. 0.05 mm | |

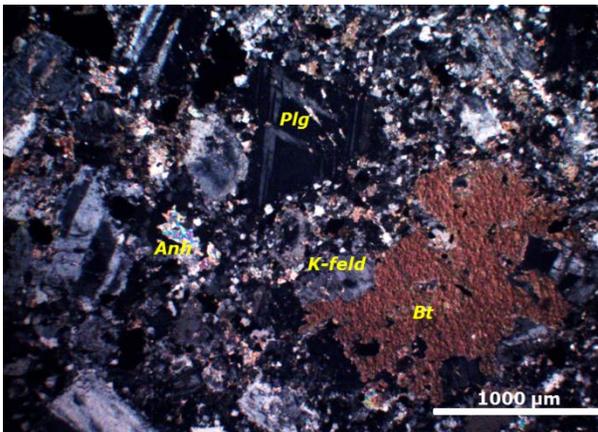
| Minerales Alteración : 19.5 % | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---|-------|--|----|-------|------------------|----|---------------|----|
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Anhidrita | 3.5 | Granos anhedrales presentes en forma local en masa fundamental. | | | | | | | | |
| Clorita | 5 | Producto de alteración de la biotita. | | | | | | | | |
| Turmalina | 0.5 | Fino cristal acicular radial de 0.1 mm inmerso en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Feldespato potásico | 9 | Como granos anhedrales <0.2mm en la masa fundamental | | | | | | | | |
| Albita | M-I | (M-I= Moderado-Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Sericita | 1.5 | Alterando a plagioclasa. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 7 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | 1 | 1 | Traza | | | Traza | | 3 | 0.5 | 1 |
| Asociaciones Paragenéticas | Bn-Cc-Dg-Cp | | Mt-Ht | Esf-Cp | | | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | | |
| Comentarios | Exsolución de Bn-Cc-Dg | | | | | | | | | |
| | Ht reemplazando a Mt | | | | | | | | | |
| | Bn y Cp en vetillas finas de cuarzo | | | | | | | | | |
| | Exsolución de Cp y Esf | | | | | | | | | |
| Estructuras: 1.3 % | | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | | Espesor | | Características | | | | | | |
| Cuarzo | | 0.15 mm | | Fina vetilla de cuarzo (0.8 %), anhidrita-calcita (0.1 %), opacos (0.1 %) y turmalina (traza). | | | | | | |



Calcopirita (Cp), bornita (Bn) y magnetita (Mt) en vetilla fina de cuarzo. Aumento 20X.



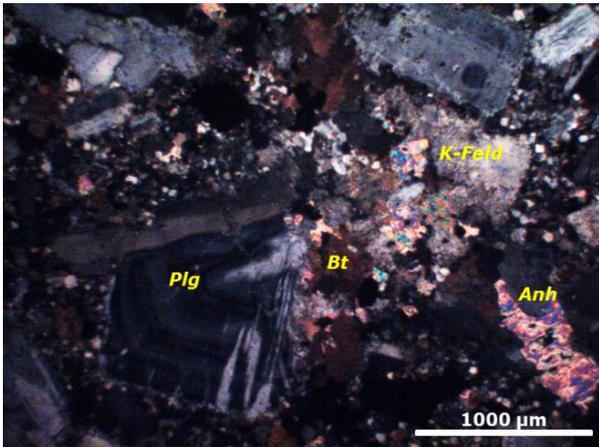
Calcopirita y bornita (exsolución con calcosinadigenita) en vetilla de cuarzo fino. Aumento: 20X.



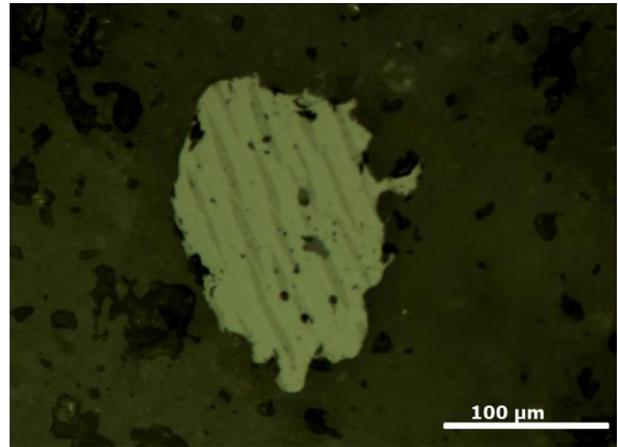
Cristal de biotita primario (Bt) anhedral y fenocristales de plagioclasa (Plg) en masa fundamental con feldespato potásico (K-Feld), biotita secundaria y anhidrita (Anh). Aumento 4X, NP.

| Nº Muestra | 560053910 | | |
|--|--|---|--|
| DDH-LUC-008 632.5m | | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido diorítico de biotita con alteración a biotita hidrotermal, feldespato potásico y albita (Intermineral) | | |
| Fxx: 46% | Mf: 54 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 46 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Máficos | 2 | Alterados parcial a totalmente a biotita hidrotermal y clorita. | Fenocristales máficos reemplazados a biotita hidrotermal y minerales opacos de hasta 1.2 mm. Relictos de minerales máficos de hasta 2.3 mm |
| Plagioclasa | 43 | Albitización | Textura seriada: poblaciones: 1.4-1.8, 0.4-0.8 mm. Cristales de hasta 1.8 mm. Albitización de las plagioclasas a partir de los bordes. |
| Biotita | 1 | Biotita hidrotermal | Relicto de fenocristales de biotita 1° de hasta 0.8 mm. |
| Masa fundamental: 54 % (Tamaño promedio cristales: 0.02 mm) | | | |

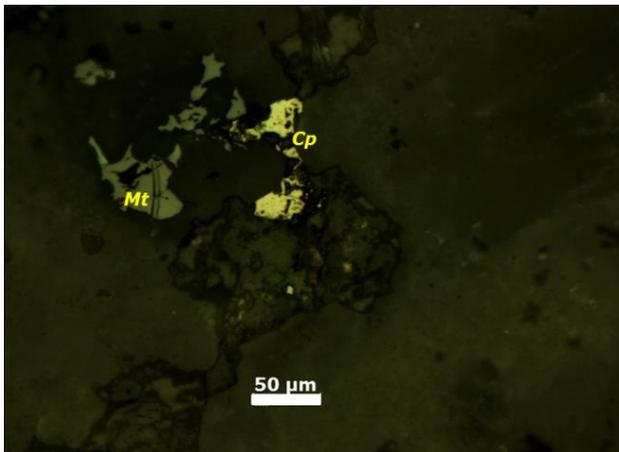
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | |
|------------------------------------|---|---|---|----|-------|-----|-----|----|---------------|----|
| Biotita hidrotermal | 12 | Producto de alteración | Pequeños cristales finos anhedrales, diseminados y en cúmulos de hasta 0.8 mm | | | | | | | |
| Cuarzo | 9 | | Cristales de hasta 0.3 mm | | | | | | | |
| Plagioclasa | 20 | | Finos cristales < 0.5 mm | | | | | | | |
| Feldespatopotásico | 9 | Producto de alteración | Intercrecido en la masa fundamental como cristales anhedrales <1 mm. | | | | | | | |
| Opacos | 4 | | Cristales anhedrales a subhedrales | | | | | | | |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Apatito | 0.5 | Cristales subhedrales <0.1 mm | | | | | | | | |
| Minerales Alteración: 13 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Anhidrita | 2 | Cristales anhedrales impregnados en la masa fundamental de hasta 0.3 mm. | | | | | | | | |
| Yeso | 0.5 | Cristales anhedrales impregnados en la masa fundamental de hasta 0.1 mm. Asociado a anhidrita. | | | | | | | | |
| Feldespatopotásico | 9 | Intercrecido en la masa fundamental como cristales anhedrales <1 mm. | | | | | | | | |
| Albita | M-I | (M-I= moderada a intensa); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Clorita | 1.5 | Alterando débilmente a biotita. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 4% | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | 1.5 | <0.5 | | | | | | 2 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Bn-Cp | | Mt-Ilm-Tht | | Cp-Mt | | | | | |
| Comentarios | Bn y Cp diseminadas y en vetillas finas de cuarzo | | | | | | | | | |
| | Exsolución de Ilm-Tmt-(Tht) (textura de laminillas) | | | | | | | | | |



Aspecto general de la roca, con fenocristales de plagioclasa (plg) albitizados y masa fundamental con feldespato potásico (K-Feld), biotita (Bt) v anhidrita intersticial (Anh).



Grano de ilmenita en exsolución con titanhematita. Aumento: 20X.

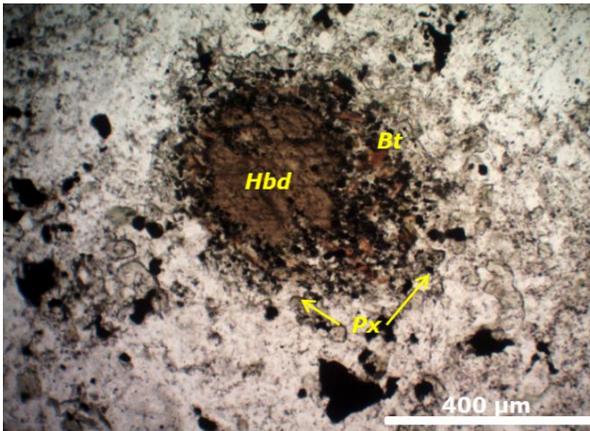


Calcopirita (Cp) y magnetita (Mt) en vetilla de cuarzo. Aumento: 20X.

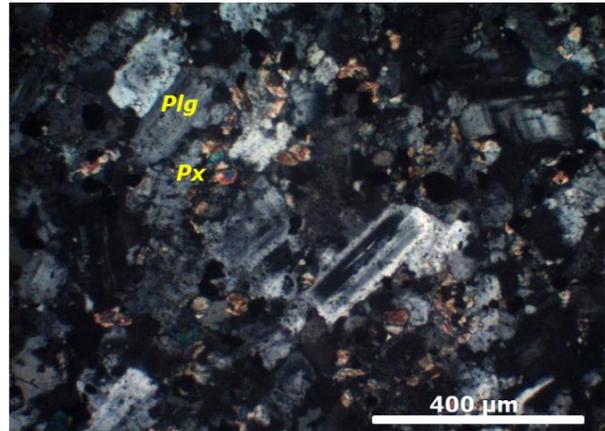
| | | | |
|------------------------------------|--|--|---|
| Nº Muestra | 560053909 | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido cuarzodiorítico de hornblenda y biotita con alteración a clorita y albita (Intermineral) | | |
| Fxx: 49% | Mf: | | |
| | 51% | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 49% | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Máficos | 1 | Alterados total a parcialmente a biotita y clorita hidrotermal | Relictos de fenocristales máficos |
| Hornblenda | 2 | Actinolitización | Cristales de hornblenda de hasta 0.06 mm |

| | | | |
|--|----------|--|---|
| Biotita | 1 | Alterados total a parcialmente a clorita | Relicto de biotita primaria de hasta 0.6 mm |
| Plagioclasa | 45 | Albitización | Textura seriada: poblaciones: 0.6-0.8 mm, 1-1.2 mm y >2-2.8 mm. Albitización a partir de los bordes de las plagioclasas. |
| Masa fundamental: 51 % (Tamaño promedio cristales: 0.06 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxenos | 2 | Actinolitización | Cristales subhedrales de hasta 0.3 mm, en cúmulos y diseminados. Asociados a minerales máficos. |
| Biotita hidrotemal | <1 | Alteradas parcial a totalmente a clorita | Finos cristales anhedrales de hasta 0.4 mm, diseminados en la masa fundamental y alterando fenocristales máficos. |
| Clorita | 14 | Producto de alteración. | Producto de la alteración de biotita formando cúmulos anhedrales de hasta 0.4 mm. |
| Actinolita | 5 | | Cristales inmersos en la masa fundamental producto de la alteración de piroxenos y hornblendas. Cristales subhedrales a prismáticos de hasta 1.6 mm |
| Clorita | 1 | Producto de recristalización. | Conjunto de cristales de hábito acicular radial de hasta 1.3 mm, en equilibrio con actinolita, clorita y piroxenos. |
| Plagioclasa | 16 | | Finos cristales < 0.1 mm |
| Feldespatos potásico | 2 | Producto de alteración de las plagioclasas | Alterando de forma masiva la masa fundamental. |
| Cuarzo | 7 | | Cristales de hasta 0.1 mm |
| Opacos | 3 | | Cristales anhedrales de hasta 0.7 mm |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Zircón | Traza | Cristales de tamaño <0.1 mm | |
| Apatito | 0.5 | Cristales de tamaño <0.1 mm | |
| Minerales Alteración: 23 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Albita | M-I | (M-I= moderada a intensa); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de | |

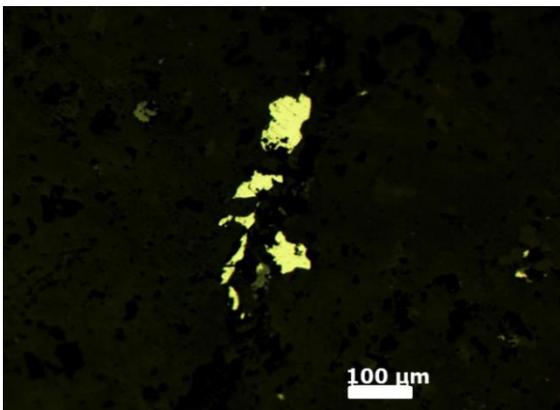
| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|-------|----|--------------|-------|------------------|----|-----------------------|-------|--|
| | | microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | | |
| Biotita hidrotermal | <1 | Diseminada y alterando de forma selectiva. | | | | | | | | | |
| Clorita | 16 | Finos cristales inmersos en la masa fundamental producto de alteración de minerales máficos. | | | | | | | | | |
| Yeso | 1 | Inmersa en la masa fundamental como cristales anhedrales. | | | | | | | | | |
| Calcita | <1 | Granos anhedrales asociados a minerales máficos. | | | | | | | | | |
| Actinolita | 5 | Cristales inmersos en la masa fundamental producto de la alteración de piroxenos y hornblendas. Cristales subhedrales a prismáticos de hasta 1.6 mm | | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 3 % | | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tn t | Mt | Ilm- Tmt- (Tht) | Ht | |
| % | 0.5 | <0.5 | Traza | | | Traza | | 2 | 0.5 | Traza | |
| Asociaciones Paragenéticas | Bn-Cc-Dg | | Bn-Cp | | Esf-Cp-Mt-Ht | | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | | | |
| Comentarios | Exsolución de Bn-Cc-Dg | | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tht (textura de laminillas). | | | | | | | | | | |



Cristales de Hornblenda (Hbd) con desarrollo de bordes de descomposición (piroxenos (Px) y óxidos Fe-Ti) y alteración a biotita secundaria (Bt). Aumento 10X, NP.



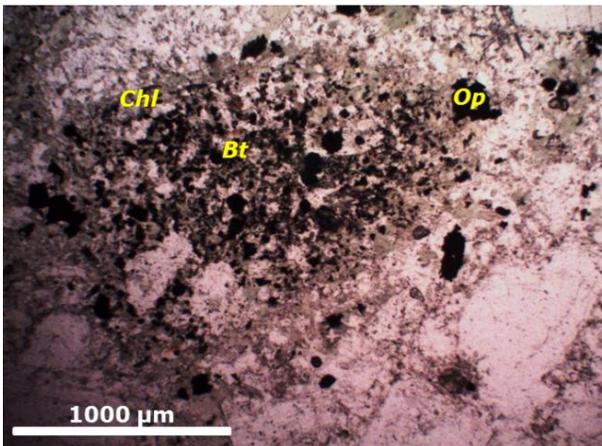
Fenocristales de plagioclasa (Plg) fuertemente albitizados en masa fundamental con abundantes cristales de diópsido actinolitizados (Px). Aumento 10X, NP.



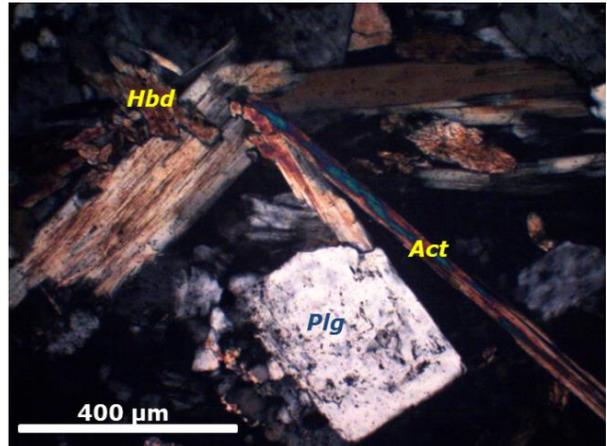
Pirita (Py) y magnetita (Mt) en vetilla de cuarzo. Aumento 10X.

| | | | |
|---|----------|---|---|
| Nº Muestra | | 560053914 | |
| DDH-LUN-003 496.1 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido diorítico de hornblenda con alteración a albita, feldespatos potásico y piroxenos (Intermineral) | |
| Fxx: 48 % | | Mf: 52 % | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 48 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 45 | | Textura seriada: poblaciones: 1-1.4 mm y 0.6 mm. Cristales de hasta 2.1 mm. |
| Hornblenda | 1 | Biotita y clorita hidrotermal | Fenocristales subhedrales de hasta 1.2 mm, alterados a biotita 2° y menor clorita. |
| Máficos | 2 | Biotita, clorita y opacos | Fenocristales relictos de minerales máficos de hasta 1 mm. Posiblemente biotita primaria. |
| Masa fundamental: 52 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxeno (diópsido) | 7 | Actinolitización moderada | Piroxenos producto de metasomatismo hidrotermal subhedrales de hasta 0.5mm, diseminados en la masa fundamental. Asociados a feldespatos potásico y albita; formando cúmulos con minerales opacos y máficos. |
| Plagioclasa | 24 | Albitización | Cristales de hasta 0.2 mm |
| Clorita | 7 | | Finos cristales menores a 0.1 mm diseminados, producto de la alteración de biotita. |
| Feldespatos potásico | 5 | Producto de alteración de la plagioclasa | Agregados de hasta 0.1-0.2 mm. Se observa plagioclasa siendo alterada a feldespatos. |
| Opacos | 5 | | Diseminados en la masa fundamental y en cúmulos junto a minerales máficos y relictos de fenocristales máficos. Anhedrales a subhedrales. |
| Cuarzo | 4 | | Cristales inmersos en la masa fundamental de hasta 0.2 mm |
| Minerales accesorios: % | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Apatito | Traza | Impregnados en cristales de plagioclasa <0.1 mm | |
| Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos): 8% | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Anhidrita | 3 | Cristales anhedrales en la masa fundamental < 0.2 mm. | |
| Actinolita | 5 | Producto de alteración de piroxenos y fenocristales máficos. | |
| Albita | 1 | (I= Intenso) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa | |

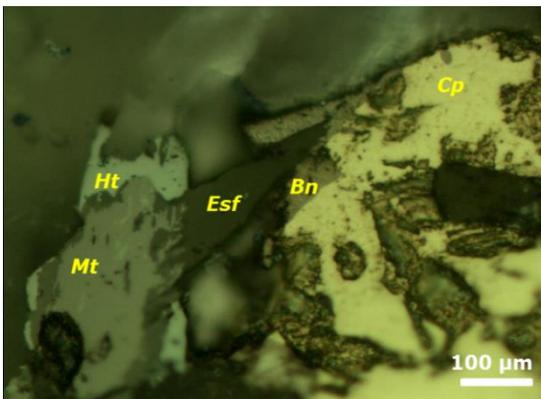
| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|-----------------------|-------|-----|--|-----|-------|------------------|---------------|-----|--|
| | original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 5 % | | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht | |
| % | 1 | | Traza | 0.5 | | | Traza | 3 | <0.5 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Py-Cp | | Mt-Cp | | Cp-Tnt | | Mt-Ht | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | | |
| Comentarios | Exsolución de Cp-Tnt | | | | | | | | | | |
| | Exsolución de Ilm-Tmt-(Tht) (textura de laminillas) | | | | | | | | | | |
| | Ht reemplazando a Mt | | | | | | | | | | |
| | Py y Cp diseminadas y en vetillas finas de cuarzo | | | | | | | | | | |
| | Py siendo reemplazada por Cp en fracturas | | | | | | | | | | |
| Estructuras: % | | | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | | Espesor/Tamaño | | | Características | | | | | | |
| Vetilla | | 1.3 mm | | | Vetilla de cuarzo con sutura central de yeso y anhidrita | | | | | | |



Relicto de fenocristal máfico alterado por bitotita secundaria (Bt), posteriormente por clorita (Chl) y minerales opacos. Aumento 4X, NP.



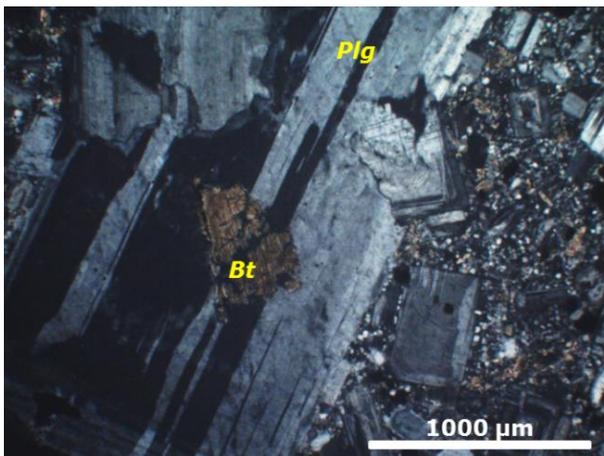
Cristales de actinolita (Act), hornblenda actinolitiizada (Hbd) en paragénesis a cristal de plagioclasa albitizado (Plg). Aumento: 10X, NX



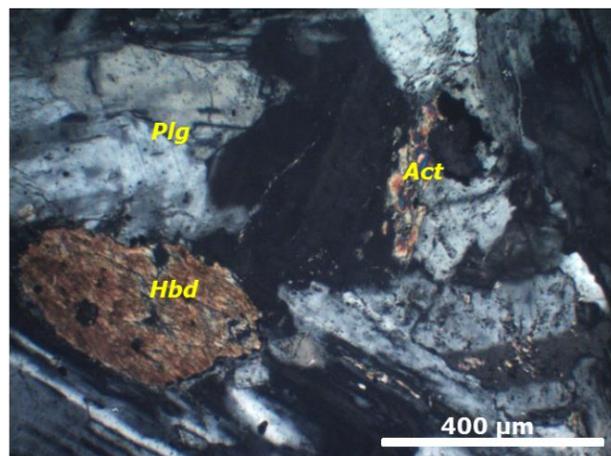
Cristal de calcopirita (Cp) en equilibrio con bornita (Bn)-esfalerita (Esf), junto a cristal de magnetita (Mt) siendo reemplazado por hematita (Ht) asociada con esfalerita (Esf). Aumento: 10X.

| | | | |
|--|-----------------|--|--|
| Nº Muestra | | 560053908 | |
| DDH-LUC-025 146m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico de hornblenda con alteración a clorita y albita (Intermineral) | |
| Fxx: 44 % | Mf: 56 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 44 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Biotita | 2 | Débilmente alterados a clorita | Cristales frescos de biotita primaria |
| Hornblenda | <1 | | Hornblenda de aspecto fresco. Débil alteración a clorita. |
| Plagioclasa | 42 | Albitización | Textura seriada. Cristales de 0.1-0.4 mm hasta 2 mm. Incrustación de finos cristales de biotita y apatito. |
| Masa fundamental: 56 % (Tamaño promedio cristales: 0.01 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxenos | 3 | Levemente actinolitizados | Finos cristales < 0.05 mm |
| Feldespato potásico | 5 | Producto de alteración de las plagioclasas | Cristales <1 mm intercrecidos en la masa fundamental. |
| Opacos | 3 | | Anhedrales a subhedrales. |
| Plagioclasa | 23 | Albita y feldespato potásico. | |
| Cuarzo | 8 | | Finos cristales en la masa fundamental <0.05mm |
| Clorita-smectita | 11 | | Asociado a cristales de calcita, producto de alteración. |
| Biotita 2° | 3 | Alterados parcialmente a clorita-smectita | Finos cristales diseminados |
| Minerales accesorios: traza | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Apatito | traza | Incrustado en masa fundamental y dentro de fenocristales de plagioclasa <0.01 mm | |
| Minerales Alteración: 20 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Clorita-smectita | 11 | Producto de alteración de minerales máficos. | |
| Yeso | <2 | Inmerso como cristales anhedrales en masa fundamental. Asociado a anhidrita. | |
| Actinolita | 2 | Alterando débilmente a los piroxenos | |
| Anhidrita | 1 | Inmerso en masa fundamental como cristales anhedrales < 0.2 mm | |

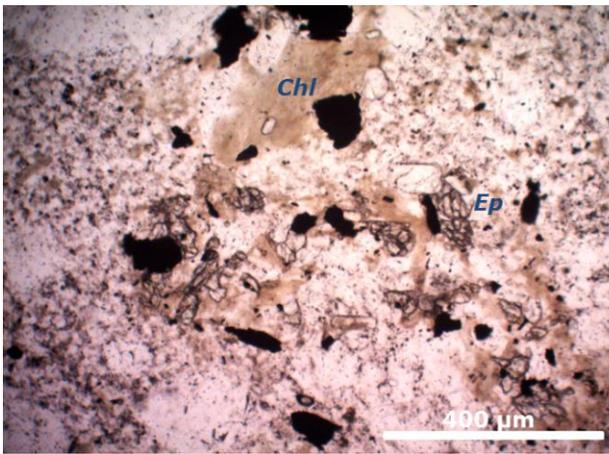
| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---|-------|----|--------|------|------------|----|---------------|----|
| Albita | M-I | (M-I= Moderado –Intenso) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Epidota | 3 | Finos cristales diseminados en la masa fundamental, en paragénesis con clorita <0.5 mm. | | | | | | | | |
| Calcita | 4 | Cristales anhedrales desarrollados entre la masa fundamental asociado a cristales de clorita y yeso. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 3% | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | <0.5 | Traza | | 1 | | <0.5 | Traza | 1 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Py-Cp | | Cp-Bn | | Py-Esf | | Mt-Ilm-Tht | | Tnt-Bn-Cp | |
| Comentarios | Py siendo reemplazada por Esf en fracturas | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tmt-(Tht) (textura de laminillas). | | | | | | | | | |



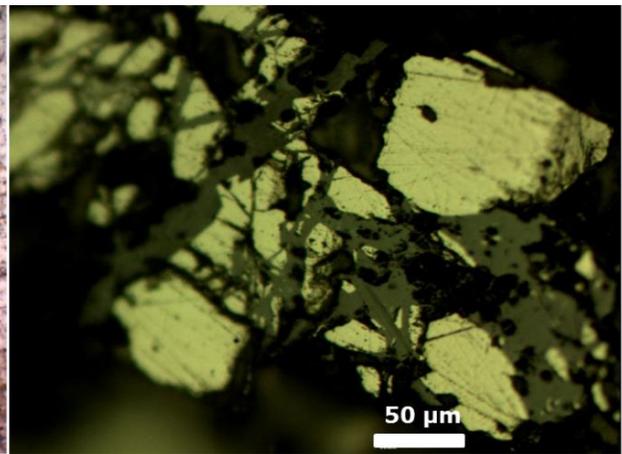
Textura poikilítica con cristales de plagioclasa (Plg) englobando a cristal de hornblenda (Hbd). Aumento: 4X, NX.



Textura poikilítica con cristales de plagioclasa (Plg) englobando a cristal de hornblenda (Hbd). Aumento 10X, NP.



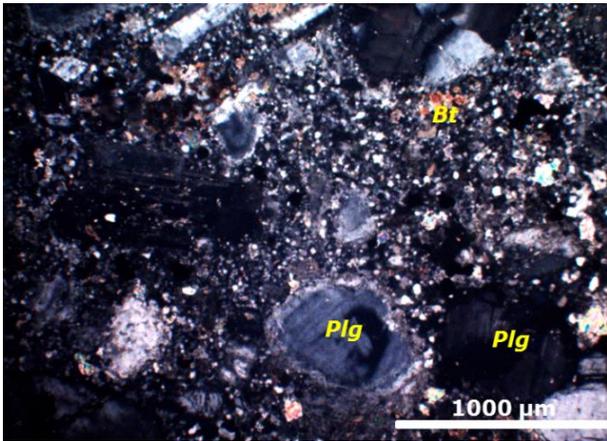
Cristales de epidota (Ep) inmersos en masa fundamental, en equilibrio con clorita-esmectita. Aumento 10X, NP.



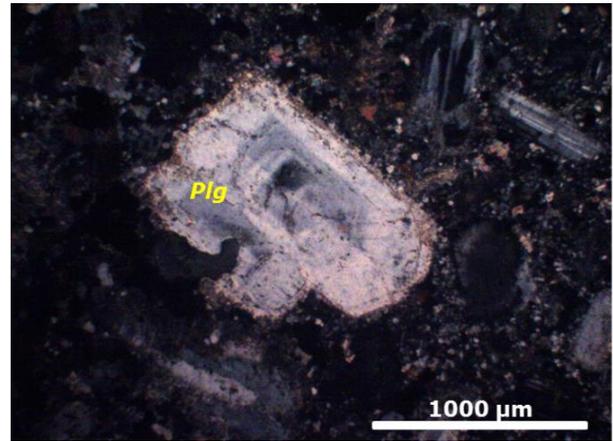
Cristales de pirita (Py) y esfalerita asociados, probablemente producto del reemplazo de pirita por esfalerita o exsolución entre ambas fases. Aumento 20X.

| | | | |
|--|---|---|---|
| Nº Muestra | 560053905 | | |
| DDH-LUC-017 721m | | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido cuarzodiorítico de biotita con alteración a feldespato potásico, biotita y albita (Intermineral tardío) | | |
| Fxx: 36 % | Mf: 64 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 36 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 35 | Albita y a sericita | Textura seriada: poblaciones de 0.3-0.7 mm y cristales de hasta 2.2 mm. Cristales finos de biotita incrustados de forma local. |
| Biotita | 1 | | Cristales subhedrales de apariencia fresca de hasta 0.8 mm. |
| Masa fundamental: 64 % (Tamaño promedio cristales: 0.01 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 16 | Albitización | Albitización a partir de los bordes y microfracturas. |
| Feldespato potásico-albita | 20 | Producto de alteración de las plagioclasas | Intercrecida en masa fundamental como producto de alteración de plagioclasa. Se observan fenocristales de plagioclasa siendo alterados a feldespato potásico hacia los bordes y reemplazados por albita . |
| Cuarzo | 17 | | Cristales finos en promedio de 0.01mm |
| Opacos | 5 | | Minerales opacos anhedrales de hasta 0.9 mm. |
| Biotita 2° | 6 | | Anhedral hasta 0.7 mm diseminada y en cúmulos. |
| Minerales accesorios: 1 % | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | |
| Zircón | Traza | Cristales subhedrales de hasta 0.1 mm | |

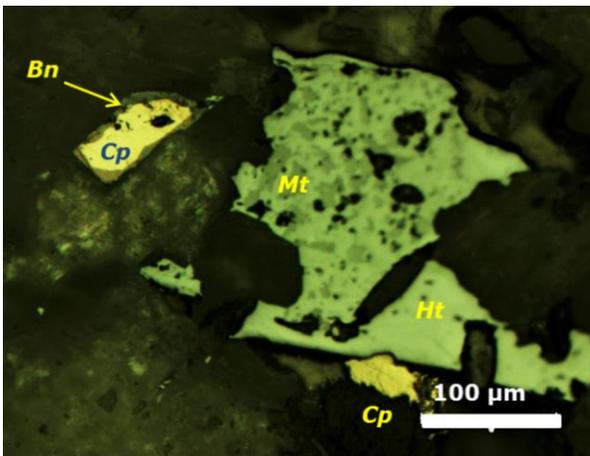
| | | | | | | | | | | |
|---|--|---|----------------|----|--------|---|-------|----|---------------|-------|
| Apatito | <1 | Cristales subhedrales de hasta 0.1 mm | | | | | | | | |
| Minerales Alteración (incluye minerales introducidos por hidrotermalismo y supérgenos): 24.3 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Clorita | 2 | Producto de alteración de biotita. | | | | | | | | |
| Yeso-Anhidrita | 3 | Granos anhedrales en masa fundamental. Se observa yeso en bordes de los cristales de anhidrita (yeso= 2 %, anhidrita= 1 %). | | | | | | | | |
| Turmalina | 0.5 | Finos cristales <0.2 mm diseminados. | | | | | | | | |
| Actinolita | 1 | Desarrollado junto a epidota en cúmulos, en el borde de vetilla de cuarzo. Cristales de hasta 0.4 mm | | | | | | | | |
| Epidota | 0.3 | Asociada a actinolita. Cristales anhedrales de hasta 0.1 mm | | | | | | | | |
| Calcita | 0.5 | Desarrollada en la masa fundamental asociada a biotita. | | | | | | | | |
| Feldespatopotásico | 10 | Producto de alteración de las plagioclasas. | | | | | | | | |
| Albita | I | (I= Intenso) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Sericita | 7 | Alterando a las plagioclasas y como halos de vetilla. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 5 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | 1 | <1 | Traza | 1 | | Traza | | 2 | 0.5 | 0.5 |
| Asociaciones Paragenéticas | Cp-Mt | | Cp-Bn-Cc-Dg | | Cp-Esf | | Cp-Py | | | Mt-Ht |
| Comentarios | Exsolución de Bn-Cc-Dg | | | | | | | | | |
| | Bn diseminada y en vetillas finas de cuarzo. Bn reemplazando a cristales de Cp | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tmt-(Tht) (textura de laminillas). | | | | | | | | | |
| | Cp diseminada. Cp reemplazando a cristales de Py por fracturas y bordes | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | | | Espesor | | | Características | | | | |
| Cuarzo | | | <1 cm | | | Cuarzo, anhidrita, biotita y menor turmalina. El margen de la vetilla presenta feldespatopotásico, yeso-anhidrita y además presenta un halo sericítico. | | | | |



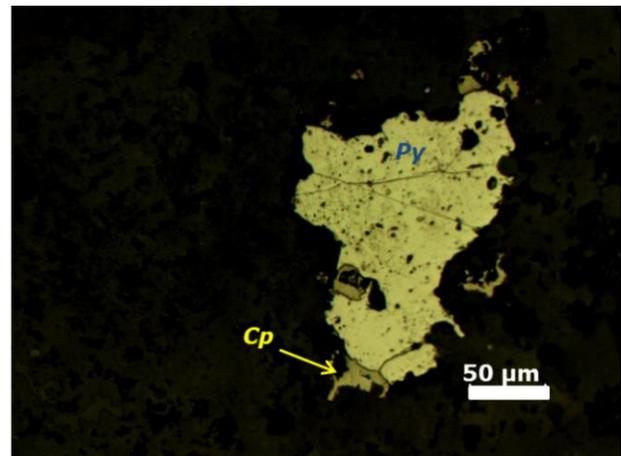
Aspecto general de la roca con fenocristales de plagioclasa (Plg) con fuerte alteración a albita a partir de los bordes y biotita secundaria (Bt) diseminada en la masa fundamental. Aumento: 4X, NX.



Fenocristal de plagioclasa zonado (Plg) con fuerte reemplazo por albita a partir de los bordes. Aumento: 4X, NX.



Cristal de calcopirita (Cp) siendo reemplazado por bornita (Bn) y cristal de magnetita (Mt) fuertemente reemplazado por hematita (Ht) en equilibrio con calcopirita (Cp). Aumento: 20X.

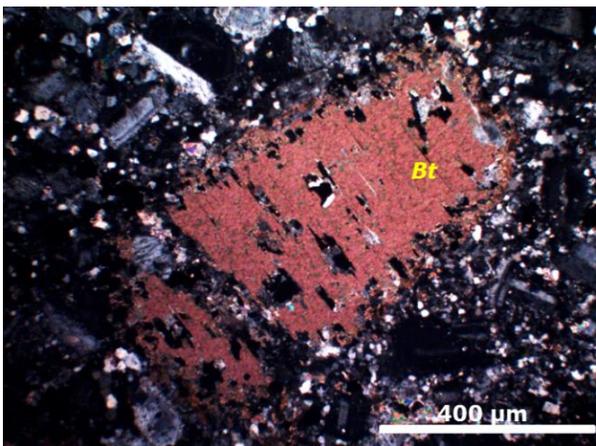


Cristal de pirita (Py) asociado con calcopirita (Cp); posible reemplazo. Aumento: 10X.

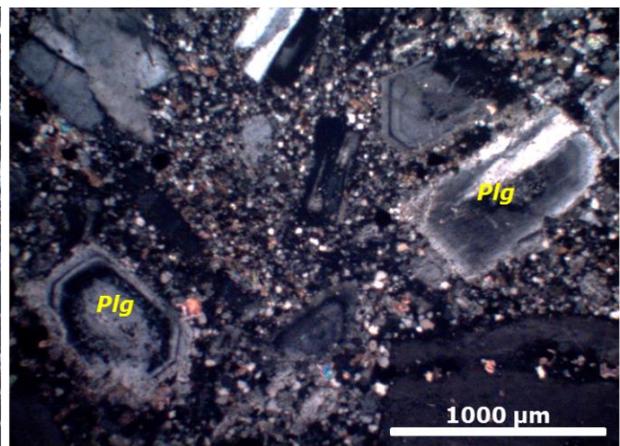
| | | | |
|------------------------------------|------------|--|--|
| Nº Muestra | 560053906 | | |
| DDH-LUC-017 446.1m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzo diorítico de biotita con alteración de feldespato potásico y albita débil (Intermineral tardío) | |
| Fxx: 43 % | Mf: | | |
| | 57 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 43 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 40 | Albitización | Textura seriada: poblaciones de 1-1.7 mm y 0.4-0.8 mm. Incrustaciones de cristales finos de apatito y biotita de hasta 0.1 mm. |
| Biotita | 3 | Alteración débil a | Fenocristales de aspecto fresco de hasta 2.3 mm |

| | | | | | | | | | | |
|--|--------------|---|---|------|-------|-------|-----|-----|---------------|----|
| | | clorita | | | | | | | | |
| Masa fundamental: 57 % (Tamaño promedio cristales: 0.04 mm) | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | |
| Plagioclasa | 14 | | Finos cristales <0.05 mm | | | | | | | |
| Biotita 2° | 7 | Clorita | Tamaño: 0.02-1 mm, anhedral. | | | | | | | |
| Feldespato potásico/albita | 18 | Producto de alteración de las plagioclasas | Intercrecido en la masa fundamental como producto de alteración de plagioclasas. Cristales de feldespato potásico posteriormente albitizados. | | | | | | | |
| Cuarzo | 15 | | Cristales de 0.02 mm producto de recristalización (bordes poligonales), y en cúmulos de pequeños cristales de hasta 0.03-0.05 mm | | | | | | | |
| Opacos | 3 | | Anhedrales a subhedrales | | | | | | | |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | 0.5 % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Apatito | 0.5 | Incrustado en fenocristales de plagioclasa de hasta 0.2 mm. | | | | | | | | |
| Minerales Alteración : 20 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Actinolita | 1 | Producto de alteración de minerales máficos. | | | | | | | | |
| Yeso/anhidrita | 3 | En masa fundamental rellenando espacios. Yeso rodeando cristales de anhidrita (<0.05 mm). | | | | | | | | |
| Calcita | 0.5 | Rellenando espacios, formando cavidades de hasta 0.2 mm | | | | | | | | |
| Sericita | 1.5 | Productode alteración de las plagioclasas. | | | | | | | | |
| Feldespato potásico | <10 | Producto de alteración de las plagioclasas. Inmerso en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Albita | M-I | (M-I= Moderado-Intenso) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Cuarzo | 5-10 | Producto de recristalización, en cúmulos en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Clorita | 4 | En masa fundamental y alterando parcialmente a cristales de biotita. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 2 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | 0.5 | Traza | Traza | <0.5 | Traza | Traza | | 0.5 | 0.5 | |

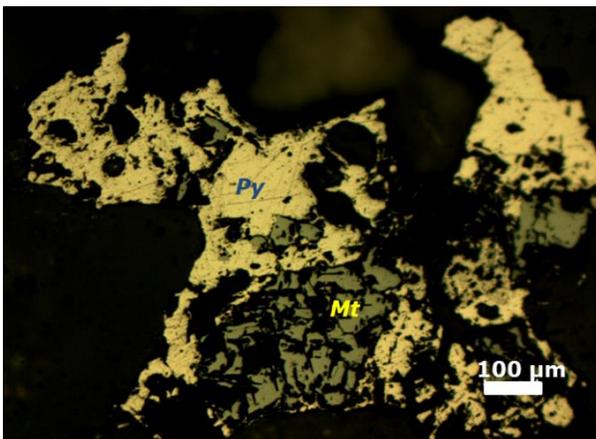
| | | | | | |
|-----------------------------|---|------------|--|--------|-------|
| Asociaciones Paragenéticas | Py-Mt | Mt-Ilm-Tht | Bn-Cc-Dg-Cp-Mt | Cp-Esf | Gl-Bn |
| Comentarios | Py y Mt en vetillas y diseminadas | | | | |
| | Bn y Cp diseminadas | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tmt-(Tht) (textura de laminillas). | | | | |
| | Exsolución de Bn-Cc-Dg | | | | |
| Estructuras: 7 % | | | | | |
| Vetillas / Agregados | Espesor | | Características | | |
| Cuarzo, yeso- anhidrita | < 0.5 mm | | Cuarzo 6.5 %. Menor turmalina en sutura de la vetilla, anhidrita y yeso (0.5 %) Halo de feldespato potásico. | | |



Fenocristal de biotita primario de aspecto fresco. Aumento: 10X, NX.



Aspecto general de la roca, con fenocristales de plagioclasa (el de la izquierda zonado) en masa fundamental de aspecto fino. Aumento: 4X, NX.

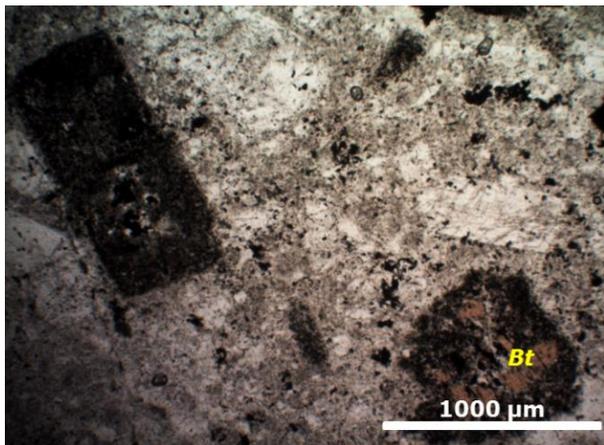


Pirita (Py) y magnetita (Mt) en paragénesis en vetilla de cuarzo transicional bandeada. Aumento: 10X

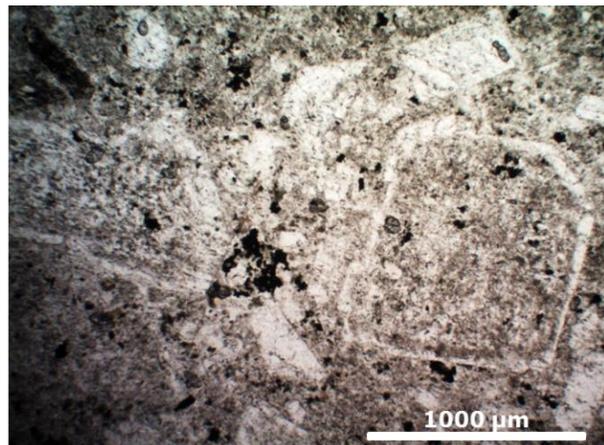
| | | | | | |
|----------------------------|---|--|--|--|--|
| Nº Muestra | 560053912 | | | | |
| DDH-LUN-003 44.95m | | | | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido andesítico con débil alteración a arcillas (Tardío) | | | | |
| Fxx: 42% | Mf: 58% | | | | |
| Textura porfídica | | | | | |

| Observaciones microscópicas | | | | | | | | | | |
|---|--------|--|--|-------|----|-------|-----|-----|---------------|-----|
| Fenocristales: 42 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | |
| Plagioclasas | 40 | Alteración débil a moderada a arcillas. Débil albitización. | Textura seriada: poblaciones: 0.2 mm y 0.8-1.2 mm. Cristales de hasta 2.8 mm. | | | | | | | |
| Máficos | 1 | Biotita hidrotetal y óxidos de Fe-Ti. | Pseudomorfos de minerales máficos. | | | | | | | |
| Líticos | 1 | Débilmente alterados a carbonatos. | <0.05 mm | | | | | | | |
| Masa fundamental: 58 % (Tamaño promedio cristales: > 0.01 mm) | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | |
| Ojo de cuarzo | <1 | | Cristales redondeados de cuarzo (ojo de cuarzo) >2 mm de tamaño. | | | | | | | |
| Cuarzo | 5 | | Cristales muy finos en masa fundamental y en cúmulos de agregados recristalizados de cuarzo de hasta 0.5 mm. | | | | | | | |
| Plagioclasa | 46 | Moderadamente alterado a arcilla. | Cristales < 0.03 mm | | | | | | | |
| Opacos | 7 | | | | | | | | | |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | >0.5 % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Apatito | <0.5 | Finos cristales incrustado en plagioclasas, <0.1 mm | | | | | | | | |
| Minerales Alteración: 9.5 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Arcilla | 8 | Alterando de manera moderada a la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Clorita | <1 | Reemplazando finos cristales de biotita. | | | | | | | | |
| Calcita | 1 | Alterando a líticos y como granos muy finos anhedrales en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Albita | D | (D=Débil) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Anhidrita | <0.5 | Cristales muy finos anhedrales inmersos en la masa fundamental. | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 7 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | <0.5 | | | | | Traza | | 5.5 | 0.5 | 0.5 |
| Asociaciones Paragenéticas | Mt-Cp | Mt-Ilm-Tht | Esf-Cp | Mt-Ht | | | | | | |

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| Comentarios | Exsolución Esf-Cp | |
| | Ht reemplazando a Mt | |
| | Exsolución Ilm-Tht (textura de laminillas). | |
| Estructuras: 1.5 % | | |
| Vetillas / Agregados | Espesor | Características |
| Cuarzo-anhidrita | 0.2 mm | Vetilla fina de 0.2 mm de cuarzo y anhidrita. Cuarzo (1%) y anhidrita (0.5%). |



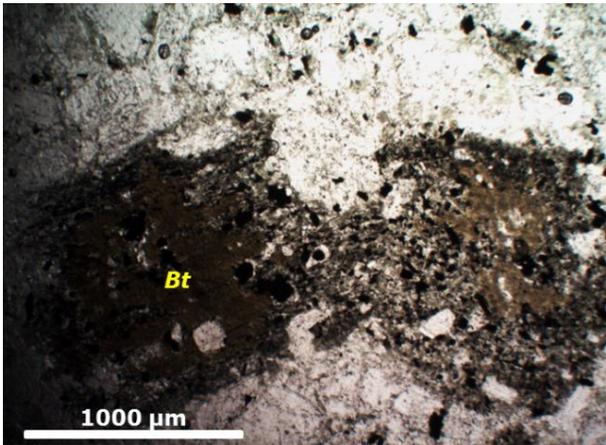
Fenocristales máficos con fuerte reemplazo por opacos (óxidos de hierro y titanio) y débil biotita secundaria (Bt). Aumento: 4X, NP.



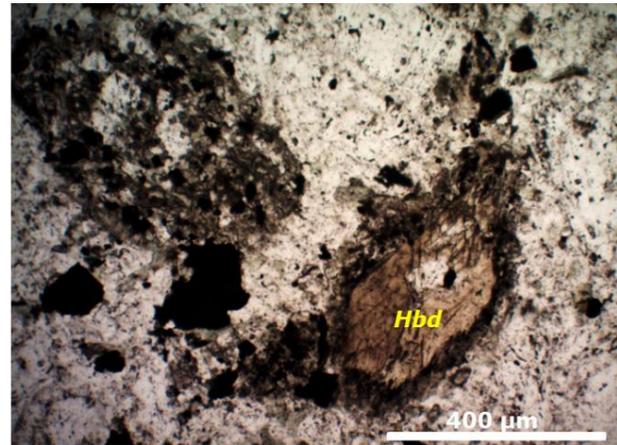
Aspecto general de la roca fuertemente argilizada. Aumento: 4X, NP.

| | | | |
|---|---|--|--|
| Nº Muestra | 560053913 | | |
| DDH-LUN-003 335 m | | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido diorítico de hornblenda y biotita con alteración de clorita | | |
| Fxx: 52 % | Mf: 48 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 52 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 48 | Albitización débil | Textura seriada: poblaciones de 0.4 y 0.8 mm. Cristales de hasta 2.6 mm. |
| Máficos | 1 | Clorita y opacos | Relictos de minerales máficos alterados a clorita y con inclusiones de minerales opacos. Posiblemente biotita primaria. Tamaño de hasta 0.8 mm |
| Hornblenda | 2 | Débilmente a biotita y clorita hidrotermal | Fenocristales subhedrales de hasta 0.9 mm. Textura de bordes de descomposición. |
| Biotita | 1 | Débil cloritización | Cristales de hasta 1 mm. |
| Masa fundamental: 48 % (Tamaño promedio cristales: 0.02-0.03 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|--|---|------|-------|-----|--------|-----|--------------|----|
| Piroxeno (Diópsido) | 1 | Parcialmente actinolitizados | Cristales subhedrales de piroxeno producto de metasomatismo hidrotermal de hasta 0.18 mm. Asociados a minerales máficos, formando cúmulos de minerales. | | | | | | | |
| Plagioclasa | 16 | Feldespatos potásico y albita | Finos cristales como parte de la masa fundamental <0.03 mm | | | | | | | |
| Feldespatos potásico/albita | 4 | Producto de alteración de las plagioclasas | Granos anhedrales en la masa fundamental y alterando a partir de los bordes de fenocristales de plagioclasa, <0.05 mm | | | | | | | |
| Cuarzo | 18 | | Cristales de hasta 0.2 mm | | | | | | | |
| Clorita | 7 | | Producto de la alteración de biotita, en cúmulos y diseminados como cristales anhedrales de hasta 0.3 mm. | | | | | | | |
| Opacos | 5 | | Anhedrales a subhedrales | | | | | | | |
| Epidota | <1 | | Granos anhedrales inmersos en la masa fundamental de hasta 0.25 mm. | | | | | | | |
| Minerales accesorios: traza | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Apatito | Traza | Cristales subhedrales impregnados en plagioclasa menores a 0.1 mm | | | | | | | | |
| Minerales Alteración : 14% | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Yeso | 0.5 | Finos cristales anhedrales incluidos en algunos fenocristales e inmersos en la masa fundamental, <0.05 mm | | | | | | | | |
| Clorita | 12 | Producto de alteración de la biotita. | | | | | | | | |
| Calcita | 1.5 | Cristales inmersos dentro de la masa fundamental, asociado a minerales máficos. Granos anhedrales de hasta 0.2mm. | | | | | | | | |
| Albita | D | (D=Débil) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Feldespatos potásico | < 4% | Producto de alteración de las plagioclasas | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 5 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | C p | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Th) | Ht |
| % | 1 | | | <0.5 | | | Traza | 3.5 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Mt-Cp | | Mt-Ilm-Tmt-(Th) | | Py-Cp | | Tnt-Cp | | | |
| Comentarios | Cp diseminada y reemplazando a Py | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Th (textura de laminillas). | | | | | | | | | |



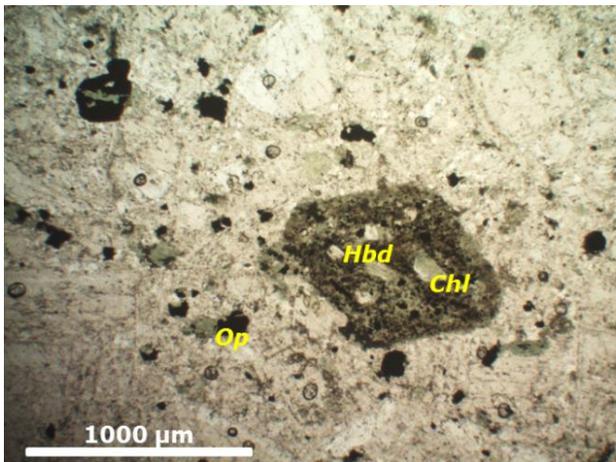
Fenocristal de biotita (Bt) con desarrollo de bordes de descomposición con opacos (óxidos Fe-Ti), finos y débil alteración a biotita hidrotermal. Aumento: 4X, NP.



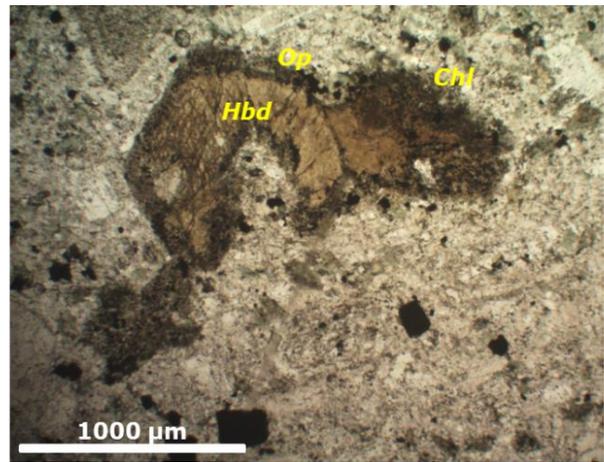
Fenocristal de hornblenda (Hbd) con desarrollo de bordes de descomposición con opacos (óxidos Fe-Ti), finos cristales de epidota y débil alteración a biotita hidrotermal hacia los bordes. Aumento: 4X, NP.

| | | | |
|---|-----------------|---|---|
| Nº Muestra | | 560053916 | |
| DDH-LUN-005 737.5m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico de hornblenda con alteración débil a clorita, feldespato potásico y albita (Tardío) | |
| Fxx: 54 % | Mf: 46 % | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 54 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 48 | Albitización débil | Textura seriada: 0.6-0.8 mm y 1.2-2.0 mm |
| Biotita | 1 | Clorita y opacos | Cristales subhedrales muy alterados a clorita con inclusiones de minerales opacos de hasta 0.6 mm. |
| Hornblenda | 4 | Clorita, opacos y biotita hidrotemal | Relicto de mineral máfico hexagonal (pseudomorfos). Alteración a biotita hacia el centro, casi totalmente a clorita e inclusiones de opacos. Cristales de hasta 1 mm. |
| Masa fundamental: 46 % (Tamaño promedio cristales: 0.2 mm) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Piroxenos (Diópsido) | 3 | Actinolitización moderada a total. | Cristales producto del metasomatismo hidrotermal, alterados de forma moderada a total a actinolita. Cristales subhedrales de hasta 0.15 mm. |
| Plagioclasa | 13 | | Cristales < 0.5 mm |
| Cuarzo | 12 | | Cristales insertos en masa fundamental <0.05 mm |
| Clorita | 7 | | Cristales muy finos y anhedrales diseminados, en equilibrio con actinolita, producto de la alteración de biotita. |
| Feldespato | 5 | Producto de | Cristales <0.5mm. Plagioclasas albitizadas y |

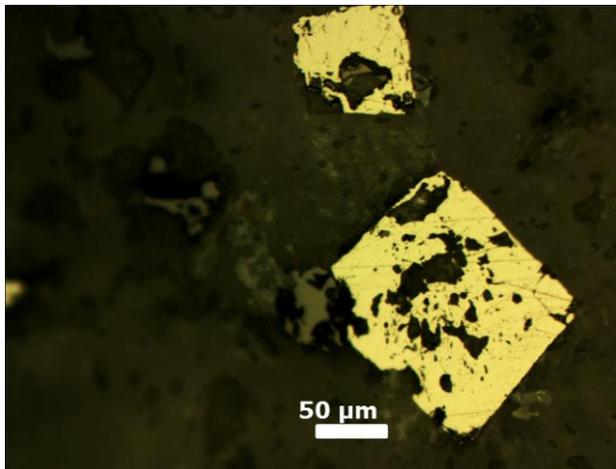
| | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|---|--|----|-------|-----|-----|----|---------------|----|
| potásico/albita | | alteración de las plagioclasas. | cristales de feldespato potásico producto de alteración de las plagioclasas albitizados. | | | | | | | |
| Actinolita | 1 | | Cristales subhedrales de hasta 0.2 mm, posiblemente producto de la alteración retrograda de piroxenos. | | | | | | | |
| Opacos | 5 | | Cristales subhedrales a euhedrales de hasta 0.3 mm | | | | | | | |
| Minerales accesorios: 0.5 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Apatito | 0.5 | Incrustados en fenocristales de plagioclasa, <0.02 mm | | | | | | | | |
| Minerales Alteración : 12 % | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | |
| Sericita | 10 | Alterando a los fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico. | | | | | | | | |
| Actinolita | <2 | Cristales diseminado en masa fundamental < 0.5mm | | | | | | | | |
| Anhidrita | 1 | Dentro de la masa fundamental como cristales anhedrales >0.1 mm. | | | | | | | | |
| Calcita | <1 | Dentro de la masa fundamental como cristales anhedrales >0.1 mm. Asociado a minerales máficos y en plagioclasas. | | | | | | | | |
| Feldespato potásico | <5 | Producto de alteración de las plagioclasas. | | | | | | | | |
| Albita | D | (D= Débil) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 5 % | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tmt-(Tht) | Ht |
| % | 0.5 | Traza | | 2 | | | | 2 | 0.5 | |
| Asociaciones Paragenéticas | Cp-Bn | | Mt-Ilm-Tmt-(Tht) | | Py-Mt | | | | | |
| Comentarios | Bn diseminada y reemplazando a Cp | | | | | | | | | |
| | Py euhedral (cúbica) en vetillas de cuarzo y diseminada | | | | | | | | | |
| | Exsolución Ilm-Tht (textura de laminillas). | | | | | | | | | |



Fenocristal de hornblenda (Hbd) euhedral débilmente reemplazado por opacos (Op) y clorita (Chl). Aumento: 4X, NP.



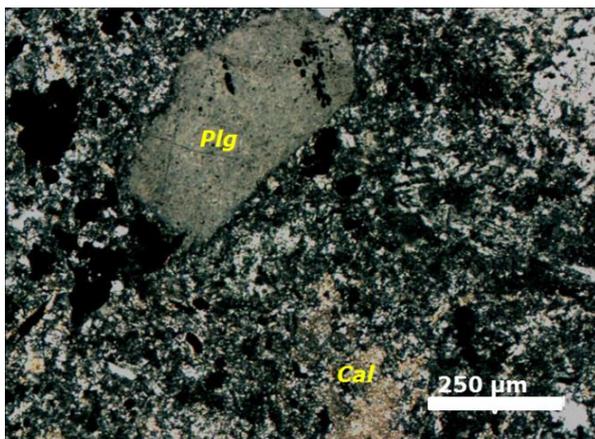
Fenocristal de hornblenda (Hbd) euhedral débilmente reemplazado por opacos (Op) y clorita (Chl). Hacia los bordes Aumento: 4X, NP.



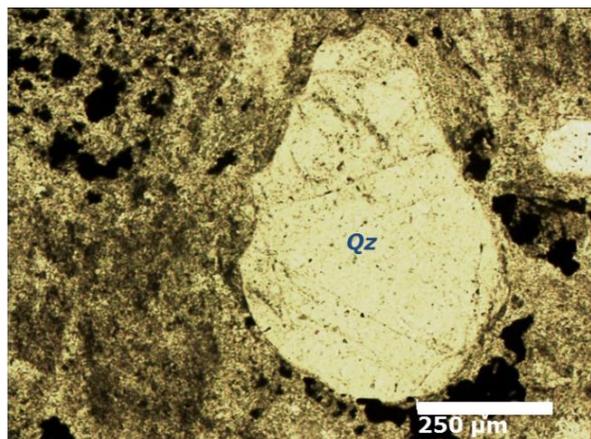
Piritas euhedrales (cúbicas). Aumento: 20X.

| | | | |
|---|--|---------------------------------|---|
| Nº Muestra | | 5600 5391 5 | |
| DDH-LUN-005 390.82m | | | |
| Clasificación petrográfica | Matriz de brecha de polvo de roca (Brecha Freatomagmática) | | |
| Fragmentos: 15 % | Matriz/Cemento: 85 % | | |
| Textura fragmental con matriz de polvo de roca | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fragmentos: 15 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 10 | Carbonatos, sericita y arcillas | Fragmentos de cristales de plagioclasa de hasta 1.5 mm los cuales se encuentran reemplazados de forma parcial a total (pseudomorfos). |
| Cuarzo | 5 | | Fragmentos de cristales de cuarzo de hasta 0.5 mm. |

| Matriz/cemento: 85 % | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---------|--|--|-------|-----|-----|---------|----|--|
| Mineral | % | Alteración | | | Características especiales/ Modo de ocurrencia | | | | | | |
| Polvo de roca | 80 | Carbonatos y sericita. | | | Fragmentos menores a 0.5 mm, con fuerte reemplazo a carbonatos y sericita. | | | | | | |
| Opacos | 5 | | | | Subhaciales a euaciales. | | | | | | |
| Clorita | <1 | | | | Diseminada en la matriz | | | | | | |
| Minerales Alteración: 32 % | | | | | | | | | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | | | | | | | | | |
| Sericita | 10 | Producto de alteración del polvo de roca. | | | | | | | | | |
| Calcita | 15 | Producto de alteración del polvo de roca y como reemplazo parcial a total de algunos fragmentos. | | | | | | | | | |
| Arcillas | 7 | Producto de alteración del polvo de roca. | | | | | | | | | |
| Minerales Opacos: 5 % | | | | | | | | | | | |
| Minerales | Cp | Bn | Cc-Dg | Py | Gl | Esf | Tnt | Mt | Ilm-Tht | Ht | |
| % | 0.5 | Traza | | 4 | | Traza | | 0.5 | | | |
| Asociaciones Paragenéticas | Mt-Cp-Py | | Cp-Bn | | Cp-Esf-Py | | | | | | |
| Comentarios | Cp en vetillas transicionales bandeadas de cuarzo | | | | | | | | | | |
| | Py en vetillas transicionales bandeadas de cuarzo y diseminada | | | | | | | | | | |
| | Mt diseminada y en vetillas transicionales bandeadas de cuarzo | | | | | | | | | | |
| Estructuras: 20 % | | | | | | | | | | | |
| Vetillas / Agregados | | | Espesor | Características | | | | | | | |
| Cuarzo-opacos-yeso-anhidrita-calcita | | | 0.5 cm | Vetilla transicional bandeada de cuarzo-opacos y menor yeso-calcita-anhidrita. | | | | | | | |



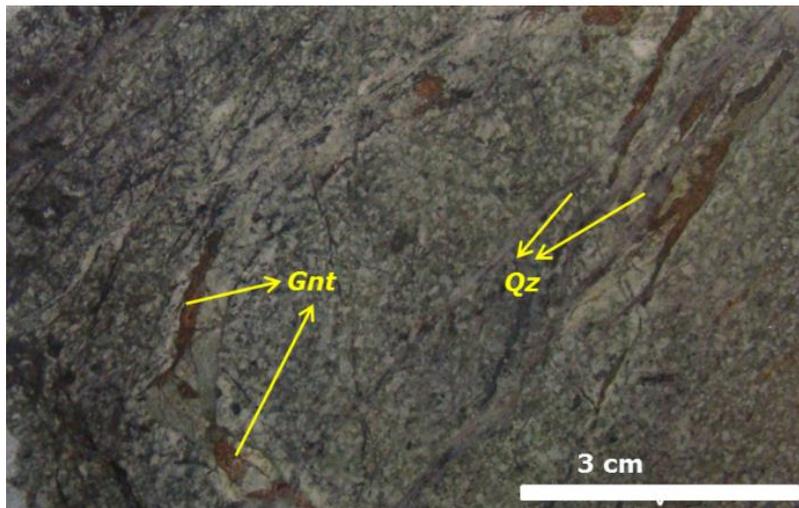
Aspecto general de la matriz de polvo de roca de brecha freatomagmática con abundante calcita (Cal), sericitización y fragmento de cristal de plagioclasa (Plg). Aumento: 4X, NX.



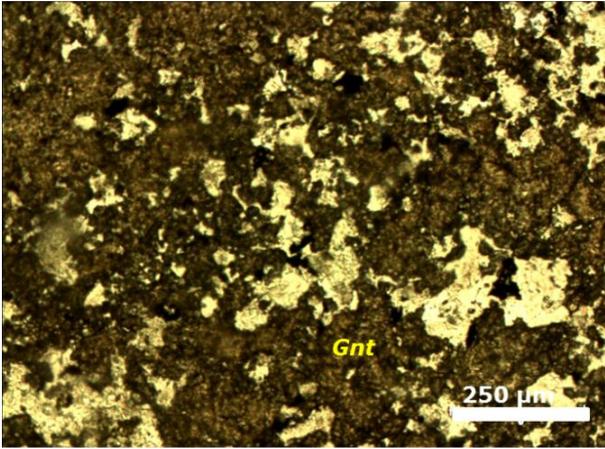
Ojo de cuarzo (Qz) en matriz de polvo de roca. Aumento: 4X, NP.

| | |
|------------------------------------|--------------------|
| Nº Muestra | 560053918 |
| Clasificación petrográfica | Vetilla de granate |
| Observaciones microscópicas | |
| Minerales Alteración | 100 % |

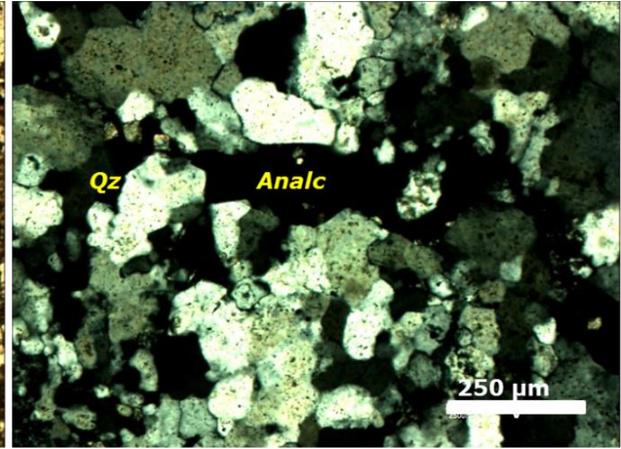
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia |
|---|---|---|
| Granate | 70 | Cúmulos de cristales granulares de hasta 0.4 mm. Color de interferencia amarillo. |
| Piroxeno (diópsido) | 1 | Finos cristales <0.3 mm. |
| Actinolita | 1 | Levemente cloritizadas. Forma tabulares y granulares, Finos cristales <0.5 mm. |
| Clorita | 5 | Finos cristales diseminados en paragénesis a actinolita de hasta 0.2 mm. |
| Epidota | 15 | Cristales de epidota de hasta 0.2 mm hacia los bordes de la vetilla. |
| Opacos | 1 | Finos cristales diseminados <0.5 mm |
| Calcita | 2 | Cristales anhedrales finos dispuestos de forma local. |
| Albita | 5 | Halo de alteración. Albita asociada con actinolita y epidota. |
| Estructuras: 100% | | |
| Vetillas / Agregados | Características | |
| Granate- epidota-diópsido-actinolita-clorita-opacos-cacita-albita | Vetillas de 0.5-1 mm de espesor, rellena por un agregado de cristales de granate (andradita). Hacia los bordes de la vetilla se observan cristales de epidota, calcita y piroxenos de forma local, opacos y actinolita. La vetilla presenta un halo de alteración compuesto de albita que se superpone a biotita hidrotermal. | |
| Cuarzo-ceolitas-calcita | Vetilla de cuarzo que cortan a las vetilla de granate <0.5 mm. Las vetilla están compuestas <80% por cuarzo, además de ceolitas (analcima: ceolita isótropa) y calcita hacia el centro de la vetilla de cuarzo. | |



Vetillas de granate (Gnt) siendo cortadas por vetillas de cuarzo tempranas (Qz). Aumento: 10X, NP.



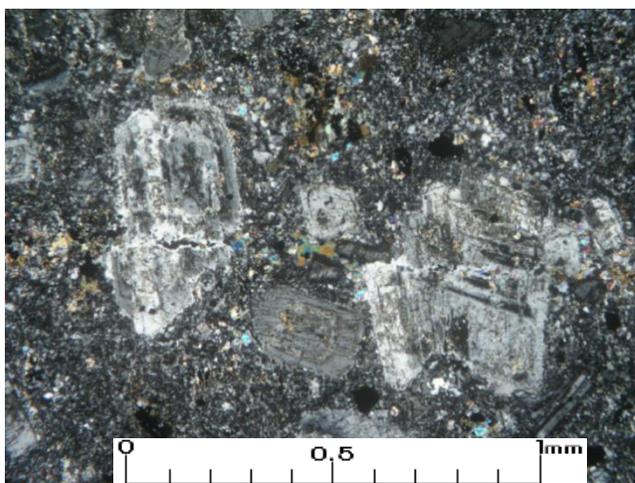
Aspecto general de granate (Gnt) en vetilla de granate. Aumento: 10X, NP.



Analcima (Analc; ceolita rica en Ca, isótropa) en el centro de vetilla de cuarzo (Qz) que corta a vetilla de granate. Aumento: 10X, NP.

| | | | |
|---|---|---|--|
| Nº Muestra | 560019105 | | |
| Clasificación petrográfica | Pórfido diorítico de biotita alterado a biotita hidrotermal y sericita (Premineral) | | |
| Textura porfídica con masa fundamental afanítica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 35% | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 30 | Sericita, albita, biotita y cristales de anhidrita impregnados. | Fenocristales alterados a sericita, albita, biotita con impregnación de cristales anhedrales de anhidrita. Algunos conservan sus maclas polisintéticas y presentan zonación. |
| Biotita | 5 | Parcialmente alterados a biotita hidrotermal | Fenocristales subhedrales de aspecto fresco. |
| Masa fundamental: 65 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cuarzo | 16 | Sin alteración | Cristales anhedrales de hasta 1 mm. |
| Feldespato potásico | 5 | Producto de alteración de la plagioclasa. | Cristales anhedrales intercrecidos en la masa fundamental junto a la plagioclasa y cuarzo. |
| Plagioclasa | 35 | | Cristales anhedrales alterados a arcilla <1 mm. |
| Anhidrita | 2 | | Cristales subhedrales de hasta 2 mm inmersos en la masa fundamental. |
| Biotita 2° | 5 | Clorita, óxidos de hierro. | Pseudomorfos de minerales máficos totalmente reemplazados por óxidos de hierro y biotita hidrotermal. |
| Opacos | 2 | | |
| Minerales Alteración : 66 % | | | |

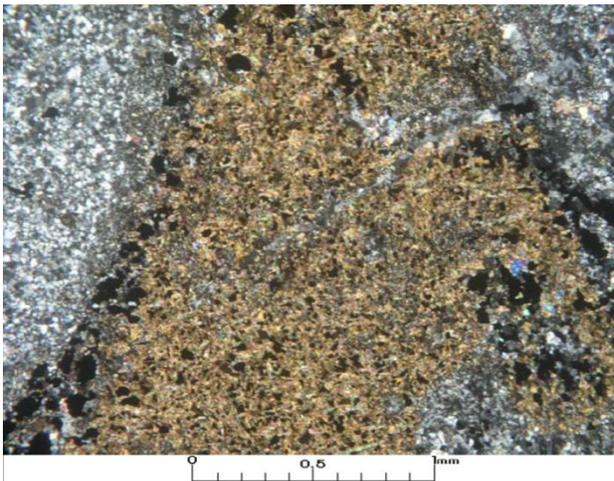
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia |
|---|----------------|---|
| Biotita hidrotermal | 15 | Biotita hidrotermal en forma intersticial en la masa fundamental y en vetillas. |
| Sericita | 15 | Alterando parcialmente a las plagioclasas. |
| Albita | M-I | (M-I= Moderado- Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental, alterando a fenocristales de plagioclasa a partir de los bordes. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). |
| Cuarzo secundario | 8 | Cuarzo hidrotermal rellenando vetillas. |
| Arcillas | 5 | Como alteración de los feldespatos. |
| Clorita | 5 | Alterando a las biotitas. |
| Feldespato potásico | 10 | Producto de alteración de plagioclasas. |
| Anhidrita | 7 | Cristales anhedrales diseminados en la masa fundamental, impregnados en las plagioclasas y en vetilla. |
| Actinolita | 1 | Como reemplazo de minerales máficos, posiblemente hornblenda. |
| Minerales Opacos: 2 % | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia |
| Magnetita, hematita, calcopirita, bornita, digenita/calcosina | 2 | Cristales diseminados. Bornita y digenita/calcosina a nivel de traza. |
| Estructuras: <5% | | |
| Vetillas / Agregados | Espesor/Tamaño | Características |
| Cuarzo-biotita-anhidrita | <0.1 mm | Vetilla continua y sin halos de alteración |



Fenocristales de plagioclasa alterados a albita y sericita con masa fundamental alterada a biotita y con anhidrita intersticial. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.

| | | | |
|---|---------------------|---|---|
| Nº Muestra | 560010109 | | |
| DDH-LUC-010 669.67m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Toba dacítica | |
| Piroclastos: 57 % | Matriz: 43 % | | |
| Textura volcanoclástica, con matriz cinerítica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Componentes piroclásticos mayores 57 % | | | |
| Líticos/cristales | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Andesita | 10 | Plagioclasa albitizadas, impregnación de cristales de anhidrita y desarrollo de biotita hidrotermal en la masa fundamental. | Fragmentos subredondeado de hasta 18 mm, formados por fenocristales de plagioclasa de hasta 2 mm en masa fundamental afanítica. Se observan agregados de biotita hidrotermal y clorita escasa entre microlitos de plagioclasa en forma local. |
| Dacita | 40 | Albita, feldespato potásico biotita secundaria, clorita e impregnación de cristales de anhidrita en fenocristales de plagioclasa. | Fragmentos angulosos de hasta 12 mm, con fenocristales de cuarzo parcialmente reabsorbido de hasta 2 mm, de plagioclasa de hasta 2 mm, de composición andesina y de máficos con reemplazo intenso por biotita y clorita en masa fundamental afanítica, consistentes en granos extremadamente finos de cuarzo y feldespato potásico. |
| Opacos | 1 | | Anhedrales a subhedrales |
| Plagioclasa | 5 | Albita, arcillas e impregnación de cristales anhedrales de anhidrita. | Fragmentos angulosos de hasta 3 mm. |
| Matriz: 43 % | | | |
| Composición | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cinerítica | 42 | Parcial desvitrificación, con desarrollo de biotita secundaria y menor clorita. | Matriz cinerítica con desarrollo de cuarzo granular muy fino producto de la desvitrificación, mostrando agregados de granos muy finos de biotita secundaria y escasa clorita. |
| Opacos | 1 | | Anhedrales a subhedrales |
| Minerales Alteración : 60 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Biotita hidrotermal | 20 | Agregados de finos cristales de biotita hidrotermal como parte de los fragmentos y masa fundamental. | |
| Cuarzo | 15 | Cristales de cuarzo secundario rellenando vetillas y de forma masiva. | |

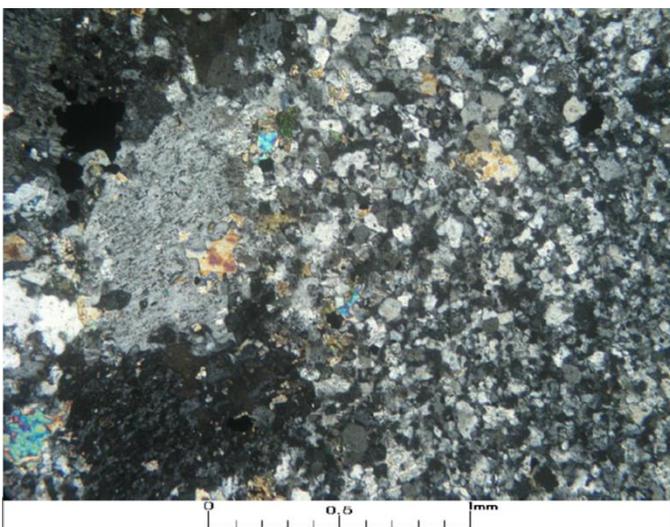
| | | |
|--|----------|--|
| Albita | D-M | (D-M= Débil-Moderado) Como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). |
| Feldespatos potásico | 12 | Como parte de la masa fundamental de los fragmentos dacíticos. Alterando a las plagioclasas. |
| Clorita | 3 | Producto de alteración de la biotita, intersticial en la matriz y en los fragmentos. |
| Anhidrita | 10 | Finos cristales subhedrales impregnados en fenocristales de plagioclasa e inmersos en la masa fundamental de los fragmentos. |
| Minerales Opacos: 2 % | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia |
| Magnetita, hematita, calcopirita, bornita. | 2 | Se encuentran de manera diseminada y en vetillas. |



En el centro se observa alteración masiva de biotita secundaria que afecta a la roca. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.

| | | | |
|--|---------------------|-------------------|---|
| Nº Muestra | 5600019110 | | |
| DDH-LUC-010 695.15 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Toba dacítica | |
| Piroclásticos: 15 % | Matriz: 85 % | | |
| Textura volcanoclástica, con matriz cinerítica. | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Componentes piroclásticos mayores: 15 % | | | |
| Líticos/cristales | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |

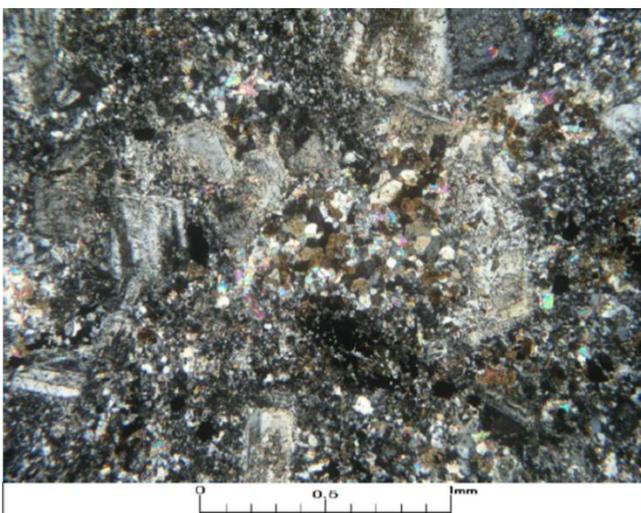
| | | | |
|---|----------|---|--|
| Plagioclasa | 15 | Albitización fuerte a moderadas e impregnación de cristales finos de anhidrita. | Fenocristales alterados a albita y anhidrita. Algunos presentan maclas. |
| Matriz: 85 % | | | |
| Composición | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cinerítica | 50 | | Textura cinerítica con desarrollo de cuarzo granular muy fino producto de la desvitrificación. |
| Feldespatos potásicos | 35 | Producto de alteración | Cristales de feldespatos de forma intersticial en la matriz. Algunos presentan maclas. |
| Opacos | <2 | | |
| Minerales Alteración : 91 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Cuarzo | 22 | Como cristales de cuarzo secundario rellenando vetillas. | |
| Albita | M-I | (M-I= Moderado-intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental, alterando a fenocristales de plagioclasa a partir de los bordes. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | |
| Biotita 2° | 8 | Se encuentra de forma intersticial en vetillas. | |
| Anhidrita | 8 | De forma intersticial en vetillas e impregnadas en los cristales de plagioclasa. | |
| Clorita | 5 | Producto de alteración de la biotita. | |
| Calcita | 4 | Rellenando cavidades en las vetillas. | |
| Turmalina | 4 | Cristales con hábito radial. Se encuentran de forma intersticial en vetillas. | |
| Feldespatos potásicos | 40 | Rellenando cavidades en las vetillas. | |
| Minerales Opacos: 2% | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Magnetita-hematita-calcopirita. | <2 | Se encuentran diseminados y en vetilla. | |
| Estructuras: < 10 % | | | |
| Vetillas / Agregados | | Espesor | Características |
| Cuarzo-(magnetita-calcopirita-turmalina-biotita-clorita-anhidrita-feldespatos potásicos-calcita). | | 1-5 mm | Sinuosa, irregular y sin halo de alteración. |



Cúmulos de plagioclasas alterados a albita y anhidrita con masa fundamental de cuarzo. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.

| | | | |
|--|-----------------|--|--|
| Nº Muestra | | 560019117 | |
| DDH-LUC-013 261.67 m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico con alteración a albita y biotita hidrotermal (Premineral) | |
| Fxx: 40 % | Mf: 60 % | | |
| Textura porfídica, masa fundamental afanítica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 43 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Máficos | 3 | Biotita hidrotermal y reemplazo por óxidos de hierro. | Pseudomorfos de minerales máficos alterados a biotita secundario o reemplazados por óxidos de hierro. |
| Plagioclasa | 40 | Albita, biotita e impregnación de cristales de anhidrita. | Fenocristales subhedrales alterados a albita, biotita e impregnación de cristales anhedrales de anhidrita. Algunos conservan sus maclas polisintéticas y presentan zonación. |
| Masa fundamental: 60 % (Masa fundamental afanítica) | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Cuarzo | 10 | | Cristales anhedrales de aspecto fresco, <0.02 mm |
| Feldespato potásico | 4 | Sin alteración | Mineral producto de alteración de las plagioclasas. |
| Plagioclasa | 40 | Albitización | Finos cristales <0.02 mm |
| Biotita secundaria | 2 | Levemente a clorita | Inmersa en la masa fundamental como pequeños cristales subhedrales a |

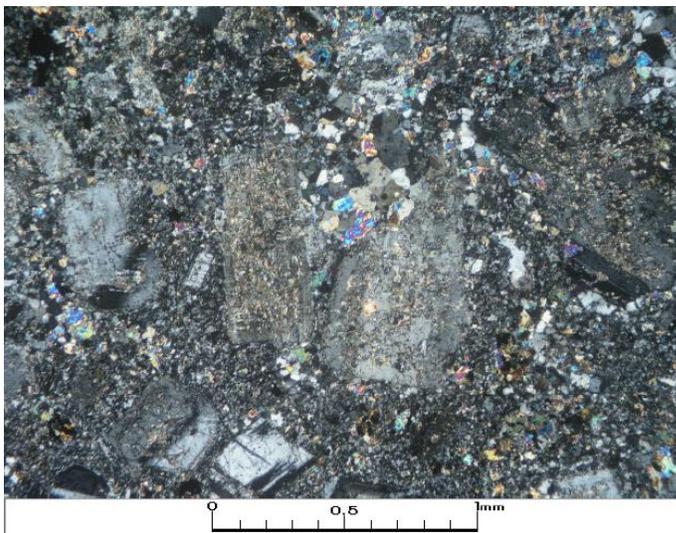
| | | | |
|---|----------|--|--|
| | | | anhedrales asociados a minerales máficos. |
| Opacos | 2 | | Anhedrales a subedrales. |
| Minerales Alteración: 50 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Albita | M-I | (M-I= Moderado-Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental, alterando a fenocristales de plagioclasa a partir de los bordes. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | |
| Biotita secundaria | 16 | Se encuentra alterando a las plagioclasas y de forma diseminada en la masa fundamental. | |
| Cuarzo | 10 | Rellenando vetillas. | |
| Arcillas | 6 | Como alteración de las plagioclasas y feldespatos. | |
| Clorita | 3 | Inmersa en la masa fundamental, junto a la biotita 2° | |
| Anhidrita | 14 | De forma diseminada y alterando a las plagioclasas. | |
| Minerales Opacos: 2 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Magnetita, hematita, calcopirita, bornita, digenita/calcosina | 2 | Se encuentran diseminados y en vetillas. | |
| Estructuras: 10 % | | | |
| Vetillas / Agregados | | Espesor/Tamaño | Características |
| Vetilla de cuarzo | | <0.2 mm | Vetilla continua y regular, sin halo de alteración |



Se observa alteración de albita que afecta a las plagioclasas y biotita diseminada e masa fundamental. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.

| | | | |
|------------------------------------|----------------|---|--|
| Nº Muestra | | 560019118 | |
| DDH-LUC-013 309.23m | | | |
| Clasificación petrográfica | | Pórfido cuarzodiorítico con alteración a albita, sercita y biotita (Premineral) | |
| Fxx: 40% | Mf: 60% | | |
| Textura porfídica | | | |
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fenocristales: 40 % | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 40 | Albita, sercita e impregnación de cristales anhedrales de anhidrita. | Fenocristales alterados a albita, sercita y anhidrita. Algunos conservan sus maclas polisintéticas y presentan zonación. |
| Masa fundamental: 60% | | | |
| Mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Feldespato potásico | 15 | Producto de alteración de las plagioclasas. | Cristales anhedrales diseminados y alterando a partir de los bordes de la plagioclasa. |
| Cuarzo | 15 | | Cristales anhedrales de aspecto fresco. |
| Plagioclasa | 15 | Albitización | |
| Opacos | 2 | | Anhedrales a subhedrales. |
| Anhidrita | 2 | | Cristales anhedrales inmersos en la masa fundamental. |
| Biotia secundaria | 11 | | De forma interticial en masa fundamental. |
| Minerales Alteración : 49 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |

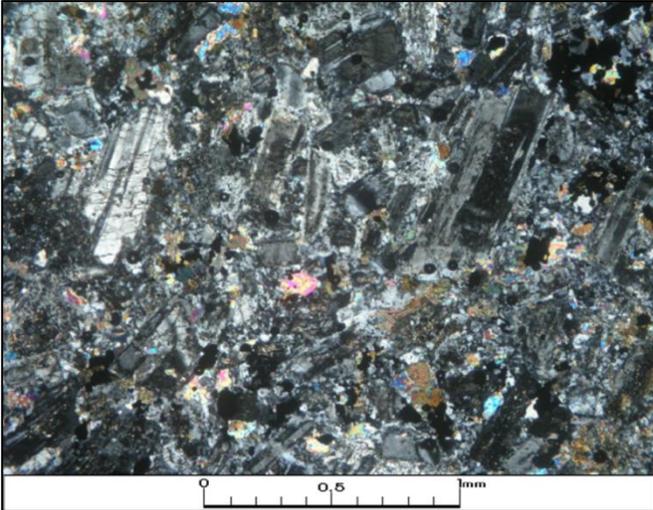
| | | |
|---|---------------------|---|
| Albita | M-I | (M-I= Moderado- Intenso); como reemplazo metasomático parcial a fuerte de plagioclasa en fragmentos y masa fundamental, alterando a fenocristales de plagioclasa a partir de los bordes. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). |
| Cuarzo | 14 | Cristales de cuarzo hidrotermal relleno vetillas. |
| Sericita | 14 | Alterando a las plagioclasas. |
| Anhidrita | 10 | De forma intersticial en vetillas. |
| Biotita | 11 | De forma intersticial en la masa fundamental. |
| Minerales Opacos: 2 % | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia |
| Magnetita, hematita, calcopirita, pirita. | 2 | Se encuentran de forma diseminada y en vetillas. |
| Estructuras:% | | |
| Vetillas / Agregados | Espesor/Tmño | Características |
| Vetilla de cuarzo, calcopirita y anhidrita. | <2 mm | Continuas y regulares. |



Fenocristales de plagioclasa alterados a albita y sericita con masa fundamental de cuarzo con anhidrita intersticial. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nº Muestra | 560019120 |
| DDH-LUC-013 409.75 m | |
| Clasificación petrográfica | Brecha de polvo de roca (Conglomerado) |
| Fragmentos: 58% | Matiz/Cemento: 42 % |

| Textura fragmental, con polvo de roca con componentes de origen hidrotermal. | | | |
|---|----------|--|--|
| Observaciones microscópicas | | | |
| Fragmentos 58 % | | | |
| Líticos/cristales | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Andesita | 28 | Parcial a fuerte desarrollo de albita, localmente biotita. | Fragmentos angulosos |
| Dacita | 30 | Desarrollo parcial a fuerte de albita y localmente biotita. | Corresponde a fragmentos angulosos subangulosos de hasta 1-1.5 cm con fenocristales de plagioclasa parcialmente albitizados y fenocristales de cuarzo con parcial a fuerte reabsorción magmática en masa fundamental afanítica formada por granos muy finos de cuarzo, feldespatos potásicos parciales a fuertemente albitizado y escasa biotita fina. |
| Matriz/cemento 42 % | | | |
| Roca/mineral | % | Alteración | Características especiales/ Modo de ocurrencia |
| Plagioclasa | 10 | Albitización | Cristales subhedrales, algunos tableados, intercrecidos entre cuarzo, biotita secundaria, anhidrita y opacos. |
| Opacos | 2 | | Anhedrales a subhedrales. |
| Polvo de roca | 30 | Biotita 2°, albita y localmente feldespatos potásicos y anhidrita | La matriz consiste en polvo de roca con componentes hidrotermales tardíos formados por fragmentos angulosos de plagioclasa y cuarzo con desarrollo local de biotita hidrotermal fina. |
| Minerales Alteración: 43 % | | | |
| Mineral | % | Características/Modo de ocurrencia | |
| Albita | M | (M: Moderada); como reemplazo metasomático débil de plagioclasa en forma local. NOTA: Para tipificar la intensidad de la albitización se prefiere utilizar los términos subjetivos "débil" (D), "moderada" (M) o "intensa" (I) debido a que como por lo general se trata de un reemplazo metasomático de Ca por Na no se visualizan sectores de albita y otros de remanentes de la plagioclasa original, con el resultado que el cristal se va haciendo cada vez más turbio mientras más intensa es la albitización; el criterio se basa tentativamente en el grado de turbidez de la plagioclasa afectada (solo en algunos casos el reemplazo se produce a través de microfracturas en la plagioclasa). | |
| Anhidrita | 15 | Desarrollada en cristales subhedrales finos de hasta 0.3 mm presentes localmente en parte de la matriz e impregnada en los cristales de plagioclasa. | |
| Feldespatos potásicos | 3 | Agregado granular fino, desarrollado en parte de la matriz de polvo de roca y algunos fragmentos de material hidrotermal. | |
| Biotita | 25 | Desarrollada en agregados de cristales muy finos tanto en los clastos y en la matriz, y en parte impregnada en algunos fenocristales de plagioclasa. | |



Se observa alteración de albita en las plagioclasas a partir de sus bordes, biotita y anhidrita diseminada. Aum.: 5X10; Nic. Cruzados.