

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionadas a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Proyecto de exploración minera Guayabales, Supia-Marmato Caldas

Collective Mining Limited



Laura Lucia Castro Ocampo

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales, 2023

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Proyecto de exploración minera Guayabales, Supia-Marmato Caldas

Collective Mining Limited

Laura Lucía Castro Ocampo

Trabajo de grado modalidad de práctica académica para optar al título de Geóloga.

Collective Mining Limited

Director:

Msc. Mauricio Alvarán Echeverri

Universidad de Caldas.

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Geología

Manizales, 2023

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por darme la fortaleza para seguir adelante; a mis padres José Ismael Castro y María del Carmen Ocampo por su apoyo incondicional y por siempre estar ahí, a mis hermanos Juan Pablo, Lina Mercedes y Ana María por sus consejos y guiarme en todo este proceso.

A la empresa COLLECTIVE MINING por permitirme realizar mi practica académica y culminar exitosamente este proceso.

A mis asesores Henry Ramírez y Oscar Pinilla por brindarme su apoyo y por su incondicional disposición a enseñarme y por compartir su conocimiento para mi formación profesional.

A los geólogos de la compañía que de una u otra manera estuvieron para mí, aportándome y apoyándome en mi proceso.

Al profesor Mauricio Alvarán Echeverri por su tiempo y buena disposición durante todo este proceso.

A mis compañeros Yessenia, Sara, Laura y Daniel por siempre estar ahí.

Al profesor Diego Fernando por su paciencia y buena disposición para enseñar.

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

NOTA DE ACEPTACIÓN



APROBADO

Mauricio Alvarán Echeverri

DIRECTOR

Resumen

Las labores de exploración minera de la compañía Collective Mining Limited, se encuentran enfocadas en la búsqueda y hallazgo de mineralización de metales con interés económico como Au-Ag-Cu-Mo-Zn-Pb, principalmente, relacionados a sistemas hidrotermales (mineralización estilo pórfido, brechas hidrotermales y mineralización polimetálica asociada).

El desarrollo del presente trabajo se concentró principalmente en el conocimiento y aplicación de procesos de exploración geológica siguiendo altos estándares de calidad y control en el tratamiento y adquisición de información durante la ejecución de una campaña de perforación en un determinado blanco o target exploratorio.

Basados en el flujo de trabajo de la compañía y para el desarrollo de la práctica académica se realizó la aplicación de todos los procesos involucrados mediante la utilización de cuatro (4) sondajes de perforación (*LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010*), cuya mineralización se encuentra asociada con el desarrollo y formación de brechas magmático hidrotermales relacionadas a sistemas mineralizantes tipo pórfido; los cuales corresponden y son correlacionables con la parte hipoabisal de la Formación Combia de edad Mioceno (Borrero y Toro, 2016). Así mismo, rocas metamórficas descritas preferencialmente como clastos que corresponden a esquistos grafitosos, esquistos cuarzo – sericíticos, asociados a rocas incluidas en el Complejo Arquía de edad Cretácica (Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003), y regionalmente corresponde a parte del basamento cristalino.

La metodología de trabajo utilizada corresponde a la llevada a cabo por la compañía en sus diferentes blancos o targets de exploración, y esta se enfoca principalmente con la descripción y caracterización geológica detallada que permitan establecer la relación existente entre las diferentes unidades litológicas en términos de alteración hidrotermal, tipo de mineralización, respuesta geoquímica, relaciones de corte y de temporalidad, cuyas características en conjunto están ligadas a los diferentes estilos y eventos mineralizantes (Sillitoe, 2000; Sillitoe 2005; Sillitoe 2010; Tosdal and Richards, 2001).

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

Palabras clave: Exploración, litología, mineralización, alteración hidrotermal, estructuras, sulfuros, sistema hidrotermal, brecha, pórfido.

Abstract

Collective Mining Limited's mineral exploration work is focused on the search and discovery of metal mineralization of economic interest such as Au-Ag-Cu-Mo-Zn-Pb, mainly related to hydrothermal systems (porphyry style mineralization, hydrothermal breccias and associated polymetallic mineralization).

The development of this work focused mainly on the knowledge and application of geological exploration processes following high quality and control standards in the treatment and acquisition of information during the execution of a drilling campaign in a specific target or exploratory target.

Based on the workflow of the company and for the development of the academic practice, the application of all the processes involved was carried out through the use of four (4) drill holes (LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 and LLCO_010), whose mineralization is associated with the development and formation of magmatic hydrothermal breccias related to porphyry type mineralizing systems; which correspond and are correlatable with the hypoabyssal part of the Combia Formation of Miocene age (Borrero, C., and Toro-Toro, L.M. 2016); likewise, metamorphic rocks preferentially described as clasts corresponding to graphitic schists, quartz-sericitic schists, associated to rocks included in the Arquia Complex of Cretaceous age (Moreno-Sánchez and Pardo-Trujillo, 2003), and regionally corresponding to part of the crystalline basement.

The work methodology used corresponds to that carried out by the company in its different exploration targets, and this is mainly focused on the description and detailed geological characterization that allows establishing the existing relationship between the different lithological units in terms of hydrothermal alteration, type of mineralization, geochemical response, shear and temporality relationships, whose characteristics together are linked to the different styles and mineralizing events (Sillitoe, (2000, 2005, 2010); Tosdal and Richards, 2001).

Key words: Exploration, lithology, mineralization, hydrothermal alteration, structures, sulfides, hydrothermal system, breccia, porphyry.

Tabla de contenido

1.	Introducción	14
2.	Objetivos	16
2.1	Objetivo General	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3.	Localización	17
4.	Metodología	19
4.1	Logueo detallado de núcleos de perforación:.....	19
4.2	Elaboración, análisis, correlación e interpretación de secciones geológicas tipo	19
4.3	Correlación litológica, alteraciones hidrotermales, mineralización y estructuras mediante secciones o perfiles geológicos de los pozos LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010 20	
4.4	Geoquímica: análisis geoquímico comparativo empleando elementos traza (Sc, Th, V, Ti, P, S). 20	
5.	Geología Regional.....	22
5.2	Complejo Arquía (Kiea)	22
5.3	Formación Amagá (E3Ama)	22
5.4	Formación Combia (N1c).....	23
6.	Geología Local	26
7.	Actividades y Resultados	27
7.2	Litología	27
7.2.1	Cuarzodiorita.....	27
7.2.2	Diorita	34
7.2.3	Brechas Hidrotermales	37
7.2.4	Esquistos.....	40
7.2.5	Saprolito	42
7.3	Alteraciones Hidrotermales.....	43
7.3.1	Alteración Potásica:.....	45
7.3.2	Alteración clorita - sericita:.....	45
7.3.3	Alteración Fílica:.....	47
7.3.4	Alteración Supergénica	48
7.4	Mineralización.....	50
7.4.1	Óxidos de Hierro (FeOX).....	50
7.4.2	Calcopirita (Cpy).....	51

7.4.3	Galena (Ga)	52
7.4.4	Molibdenita (Mo)	53
7.4.5	Magnetita (Mt)	54
7.4.6	Pirita (Py)	55
7.4.7	Esfalerita (Sph).....	56
7.5	Tipo de estructuras mineralizadas	58
7.5.1	Vetillas de cuarzo – asociadas a mineralización estilo pórfido:	58
7.5.2	Vetillas de pirita con halo de sericita y albita:	60
7.5.3	Vetilla de cuarzo y magnetita:	61
7.5.4	Vetillas de pirita y molibdenita:.....	62
7.5.5	Vetillas de carbonatos.....	63
7.5.6	Fallas	64
8.	Perfiles.....	66
8.2	Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de litología de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010.....	66
8.3	Representación gráfica descripción e interpretación de los perfiles de alteración hidrotermal de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010.....	67
8.4	Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de mineralización de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010.	68
8.4.1	Perfil de mineralización Pirita (Py) - Calcopirita (Cpy).....	68
8.4.2	Perfil de mineralización Magnetita (Mt) – Molibdenita (Mo)	68
8.4.3	Perfil de mineralización Galena (Ga) – Esfalerita (Sph).....	69
8.5	Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de tipo de estructuras mineralizadas de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010	70
9.	Geoquímica	71
9.2	Análisis y comparación geoquímica de elementos traza del pozo LLCO_001	71
9.3	Litogeoquímica Pozo LLCO_005	73
9.4	Litogeoquímica Pozo LLCO_006	75
9.5	Litogeoquímica Pozo LLCO_010	76
9.6	Gráfico y tabla resumen análisis y comparación geoquímica de elementos traza.....	77
10.	Correlación.....	80
10.2	Perfil de litología.....	80
10.3	Perfil de alteración hidrotermal.....	87
10.4	Perfiles de mineralización	91
10.4.1	Perfil de Calcopirita – Pirita (Cpy-Py)	91

10.4.2	Perfil de Esfalerita – Galena (Sph-Ga).....	93
10.4.3	Perfil de Magnetita – Molibdenita (Mt-Mo)	95
11.	Correlación de capas de información geológica: litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas y propuesta de sondajes de perforación.....	97
11.2	Propuesta de sondaje de perforación 1:.....	99
11.3	Propuesta de sondaje de perforación 2:.....	99
11.4	Propuesta de sondaje de perforación 3:.....	100
12.	Conclusiones	102
13.	Recomendaciones.....	103
14.	Referencias Bibliográficas	104

Lista de Figuras

- Figura 1.** Mapa de localización proyecto Guayabales en Colombia (estrella roja). Fuente: IGAC..... 18
- Figura 2.** Mapa de localización del proyecto Guayabales en el departamento de Caldas. Tomado de NI 43-101 Technical Report, Guayabales Project, Redwood (2023)..... 18
- Figura 3.** Geología regional y principales yacimientos de Oro-Cobre del Cinturón Metalogénico del Cauca Medio. Proyecto Guayabales (estrella amarilla). Tomado y modificado de Celada et al., 2016. Mapa Metalogénico de Colombia, Servicio Geológico Colombiano (SGC año 2015). 25
- Figura 4.** Mapa de Geología local del proyecto Guayabales. Fuente: Collective Mining.. 26
- Figura 5.** LLCO_006. Cuarzodiorita de grano grueso (Q1), con alteración epidota (Ep) leve en las plagioclasas (Pl) (profundidad: 212.00m). 28
- Figura 6.** LLCO_005. Cuarzodiorita gruesa (Q1) inalterada (profundidad: 233.30m). 29
- Figura 7.** LLCO_010. Cuarzodiorita gruesa (Q1) con vetillas de Qz, Qz+Py (sutura), alteración sericita (Ser) fuerte (profundidad: 209.00m)..... 29
- Figura 8.** LLCO_006. Cuarzodiorita fina (QF) con alteración epidota (Ep)+clorita (Cl) leve (profundidad: 51.80m). 30
- Figura 9.** LLCO_005. Cuarzodiorita fina (QF) presenta mayor porcentaje de masa fundamental que minerales, epidota (Ep)+clorita (Cl) en vetillas mm (profundidad: 301.50m)..... 30
- Figura 10.** LLCO_006. Cuarzodiorita media (QM) presenta vetillas de Qz+Py+/-Cpy, y sericita (Ser) moderada en plagioclasa (Pl) (profundidad: 31.65m)..... 31
- Figura 11.** LLCO_006. Cuarzodiorita media (QM) con Vetillas de cuarzo con Py en sutura, y Py+Mt en los bordes, presenta Mt en la masa fundamental y sericita (Ser) moderada en plagioclasa (profundidad: 43.50m). 32
- Figura 12.** LLCO_006. Cuarzodiorita gruesa (QG) masa fundamental 70%, minerales (30%), sericita (Ser)+epidota (Ep) en plagioclasa (Pl), y biotita secundaria (SecBt) marrón/rojiza en la masa fundamental en sobreimposición (profundidad: 26.50m). 33
- Figura 13.** LLCO_005. Cuarzodiorita gruesa (QG) con alteración sericítica (Ser) fuerte y epidota (Ep)+/-clorita (Cl) moderada, presenta vetillas mm de sulfuros finos y de (Qz+Py+/-Mt) (profundidad: 106.40m). 33

- Figura 14.** LLCO_001. Diorita fina (DF) con epidota (Ep)+clorita (Cl) en vetillas con halo de sericita (Ser), y biotita secundaria (SecBt) fuerte en la masa fundamental (color rojizo/violeta) (profundidad: 84.00m). 34
- Figura 15.** LLCO_001. Diorita media (DM). Vetillas mm de epidota (Ep)+clorita (Cl)+/- sulfuros finos), sericita (Ser) leve en plagioclasas, y biotita secundaria (SecBt) muy fina en la masa fundamental (profundidad: 86.10m). 35
- Figura 16.** LLCO_001. Diorita media (DM), con alteración sericita (Ser) fuerte, y epidota (Ep)+/-clorita (Cl) moderada (profundidad: 60.00m). 35
- Figura 17.** LLCO_001. Diorita gruesa (DG). Vetilla de cuarzo (Qz)+carbonatos (Cb) con halo de sericita (Ser), biotita secundaria (SecBt) en parches aislados (profundidad: 227.45m). 36
- Figura 18.** LLCO_001. Diorita gruesa (DG). Vetilla irregular de cuarzo con sutura de epidota (Ep)+sulfuros finos cortando vetilla de igual composición y textura, magnetita (Mt) muy fina diseminada en la masa fundamental (profundidad: 225.80m). 36
- Figura 19.** LLCO_010. BAM con pirita (Py) y calcopirita (Cpy) en el cemento, clastos de diorita con epidota (Ep)+clorita (Cl) (profundidad: 71.25m). 38
- Figura 20.** LLCO_006. BAM con pirita (Py) y calcopirita (Cpy) en cemento y relleno de oquedades (carbonato-cuarzo), en contacto con fragmento de diorita con vetillas tipo pórfido de cuarzo con borde de magnetita (Mt) y con sulfuros (Py-Cpy) (profundidad 107.40m). 38
- Figura 21.** LLCO_001 BAM. Fragmentos de diorita y cuarzodiorita, cemento de clorita (Cl)-pirita (Py)-calcopirita (Cpy), alteración sericita moderada (profundidad: 87.65m). . 39
- Figura 22.** LLCO_006. BI, presenta matriz constituida por roca ígnea (diorita muy fina), y clastos de cuarzodiorita y diorita, sulfuros finos con epidota (Ep)+clorita (Cl)+magnetita en parches sobrepuestos (profundidad: 94.85m). 40
- Figura 23.** LLCO_010. Clasto de esquisto (Sch) color marrón oscuro cortado por vetillas mm irregulares de clorita (Cl), se observa sericita pervasiva y biotita secundaria selectiva (profundidad: 137.00m). 41
- Figura 24.** LLCO_006. Clastos subredondeados de esquisto (Sch) color marrón en brecha polimictica BAM (diorita-cuarzodiorita) con alteración sericita (Ser) moderada en plagioclasas y vetillas de cuarzo masivo (profundidad: 178.40m). 41
- Figura 25.** LLCO_010. Saprolito limo-arcilloso, con fragmentos de diorita. Profundidad 08.00m. 42

Figura 26. LLCO_010 Sapolito rocoso, con sericita fuerte (diorita) y FeOX (supergena). Profundidad: 12.50m.....	43
Figura 27. LLCO_010. Biotita secundaria (SecBt-marrón oscuro) selectiva, en parche, sobre diorita, y cortada por vetillas tipo pórfido, de cuarzo (Qz) y magnetita (Mt)+/- sulfuros finos.....	45
Figura 28. LLCO_006. Clorita (Cl) en cemento, con pirita (Py), en brecha hidrotermal polimíctica (diorita y cuarzodiorita). Profundidad 145.60m	46
Figura 29. LLCO_006. Clorita (Cl) en vetillas mm, cortando diorita media con alteración sericita (Ser) moderada-fuerte. Profundidad 120.30m.	47
Figura 30. LLCO_006. Sericita (Ser) reemplazando plgioclasas (verde claro) en cuarzodiorita de grano medio, vetillas de carbonatos (Cb) con pirita (Py) y vetillas irregulares de cuarzo (Qz) con molibdenita (Mo). Profundidad: 90.50m.....	48
Figura 31. LLCO_005. Halo de sericita (Ser) en vetilla de cuarzo (Qz)-carbonato (Cb)-pirita (Py), en brecha hidrotermal con clasto de cuarzodiorita, sericita moderada en clasto de cuarzodiorita media. Profundidad: 110.25m.....	48
Figura 32. LLCO_005. Alteración supergena en sapolito. Profundidad: 02.00m	49
Figura 33. LLCO_005. Alteración supergena en sapolito. Profundidad 03.00m	49
Figura 34. LLCO_005. Óxidos de Hierro (hematita-goetita) en parche, con textura boxwork, en diorita media (QM). Profundidad: 08.50m.....	51
Figura 35. LLCO_005. Óxidos de Hierro en parches sobre sapolito rocoso de diorita media (DM). Profundidad: 08.10m.	51
Figura 36. LLCO_006. Galena (Ga) y calcopirita (Cpy) en parche en diorita fina con sericita pervasiva. Profundidad: 89.20m.	52
Figura 37. LLCO_005. Galena (Ga)+/-esfalerita (Sph) +/- calcopirita (Cpy) en parche, en la parte inferior vetilla con cuarzo y molibdenita, en diorita fina con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 299.90m.....	52
Figura 38. LLCO_010. Venilla irregular de molibdenita (Mo), vetilla de cuarzo (Qz) con sutura de pirita (Py) en cuarzodiorita con sericita verde pervasiva. Profundidad: 79.00m.	53
Figura 39. LLCO_006. Molibdenita (Mo) en vetillas irregulares con cuarzo (Qz) y pirita (Py) fina diseminada en cuarzodiorita. Profundidad: 85.00m.....	53

Figura 40. LLCO_010. Magnetita (Mt) en vetillas con cuarzo (Qz) (borde), diseminada y en parches en Q1. Profundidad: 217.20m.....	54
Figura 41. LLCO_006. Vetilla de cuarzo (Qz) con borde de magnetita (Mt), y magnetita diseminada (parches negros) en Q1. Profundidad: 43.50m.....	54
Figura 42. LLCO_006. Pirita (Py) masiva en cuarzodiorita media con sericita fuerte. Profundidad: 31.25m.....	55
Figura 43. LLCO_001. Pirita (Py) en vetilla cortada en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 59.50m.....	55
Figura 44. LLCO_001. Vetilla mm de pirita (Py) en cuarzodiorita media (QM) con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 49.40m.....	56
Figura 45. LLCO_010. Pirita (Py) gruesa en parche relleno de oquedades en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 80.00m.	56
Figura 46. LLCO_010. Vetilla de Ga+Sph+Cpy+Py+Cb+Qz (CMB=Carbonates Base Metal) en cuarzodiorita media (QM) con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 150.30m.	57
Figura 47. LLCO_006. CBM (Carbonates Base Metal), Ga+Sph+Py+Cb+Qz en cuarzodiorita gruesa (Q1) con sericita (Ser) pervasiva fuerte y Stockwork de vetillas de grueso con sulfuros. Profundidad: 200.10m.	57
Figura 48. LLCO_010. Vetillas de cuarzo alojadas en Q1 con alteración sericitica pervasiva. Profundidad: 207.30m	59
Figura 49. LLCO_006. Vetillas de cuarzo, cuarzo (Qz)+magnetita (Mt) en stockwork sobre clastos de cuarzodiorita media. Profundidad 107.40m.....	59
Figura 50. LLCO_006. Stockwork de vetilla de cuarzo (Qz)+ magnetita (Mt) y sulfuros sobre cuarzodiorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 115.35m.	59
Figura 51. LLCO_010. Vetilla de cuarzo (Qz) con sutura de pirita (Py) cortando vetillas de cuarzo subparalelas en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 206.00m.	60
Figura 52. LLCO_006. Vetilla de pirita (Py) fina con halo de sericita (Ser) y albita, cortada y desplazada por vetilla de cuarzo (Qz) en diorita media con sericita pervasiva moderada. Profundidad: 113.55m.....	60

- Figura 53.** LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) con halo de sericita (Ser) y albita (Izq), y vetillas de cuarzo (Qz) con bordes de magnetita (Mt), subparalelas (sheeted veins), en diorita media con sericita pervasiva media. Profundidad: 80.50m. 61
- Figura 54.** LLCO_006. Vetilla de cuarzo (Qz) con bordes de magnetita (Mt), sobre diorita media con biotita secundaria (SecBt) y magnetita muy fina, presenta vetillas milimétricas de cuarzo y carbonatos (Cb). Profundidad: 95.35m. 62
- Figura 55.** LLCO010. Stockwork de vetillas de cuarzo (Qz)+magnetita (Mt). cuarzo con sulfuros finos y magnetita, sobre diorita media con alteración hidrotermal sericita pervasiva moderada. Profundidad: 70.65m. 62
- Figura 56.** LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) y molibdenita (Mo) +/- recta con halo de sericita (Ser) y albita (Alb) en cuarzodiorita media con sericita pervasiva moderada. Profundidad: 78.80m. 63
- Figura 57.** LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) y molibdenita (Mo) con halo de sericita (Ser), de forma irregular y sinuosa en cuarzodiorita media con clorita (Cl) pervasiva fuerte. Profundidad: 90.20m. 63
- Figura 58.** LLCO_005. Vetilla de carbonatos (Cb) + Py+/-Mo, presenta halo de sericita (Ser), en diorita fina con biotita secundaria pervasiva fuerte en la masa fundamental. Profundidad: 140.85m. 64
- Figura 59.** LLCO_005. Falla (BXT). Roca triturada y molida con sericita pervasiva fuerte controlada por la estructura. Profundidad: 85.30m. 65
- Figura 60.** Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_001 en IoGAS. 72
- Figura 61.** Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_005 en IoGAS. 74
- Figura 62.** Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_006 en IoGAS. 75
- Figura 63.** Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_010 en IoGAS. 76
- Figura 64.** Análisis comparativo de los 4 sondajes de perforación: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010, agrupación de las diferentes unidades litológicas con base en los valores de los elementos químicos (Sc, Th, V, Ti, P y S)..... 78
- Figura 65.** Correlación de unidades litológicas sobre el perfil de litología. Pozos LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010 del target de exploración. 81
- Figura 66.** Contacto entre Q1 (Izq) y QF (Der). Pozo LLCO_005. Prof: 289m. 82

- Figura 67.zq.** Q1 con sericita moderada y vetillas de clorita, pozo LLCO_005. Prof: 153.75m. Der. Q1 con vetillas de cuarzo desplazadas por vetillas de carbonatos, pozo LLCO_00.5 Prof: 154.15m. 82
- Figura 68.** Xenolitos de Q1 en QF con biotita secundaria fuerte en masa fundamental, parte inferior: vetilla de Qz+Mt+/-Mo con halo de sericita. Pozo LLCO005. Prof: 310.10m. 83
- Figura 69.** Izq. DG (Diorita Gruesa) con magnetita en masa fundamental, vetilla de clorita+sericita cortando vetilla de igual composición. Pozo LLCO_001. Prof: 225.80m. Der. QG (Cuarzodiorita Gruesa) con vetillas rectas de Py y vetillas sinuosas de Qz+Cb. Pozo LLCO_005. Prof: 25.15m. 84
- Figura 70.** Contacto intrusivo entre QG (Izq.#1) y QM (Der. #2), ambas unidades cortadas por vetilla de Py con borde de Mt. Pozo LLCO_005. Prof: 129.50m. 84
- Figura 71.** Contacto DM (Izq) y QF (Der). Pozo LLCO_005. Prof: 308.50m. 85
- Figura 72.** Contacto intrusivo entre QM (Izq) y QF (Der) con vetillas mm subparalelas de carbonatos. Pozo LLCO_001. Prof: 83.65m. 85
- Figura 73.** Izq. QF con textura porfirítica (+masa fundamental) y vetillas de clorita. Pozo LLCO_001. Prof: 84.00m. Der. QF con textura equigranular. Pozo LLCO_006. Prof: 51.80m. 86
- Figura 74.** Contacto BAM (Izq) con clastos de DM y vetillas de cuarzo asociadas a mineralización estilo pórfido y QG (Der). Pozo LLCO_006. Prof: 151.00m. 86
- Figura 75.** Contacto BAM (Der) y QM (Izq). Pozo LLCO_006. Prof: 122.10m. 87
- Figura 76.** Correlación de alteración hidrotermal sobre el perfil de litología. Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración. 88
- Figura 77.** Comparativo de Dioritas presentes en el pozo LLCO_001. De izquierda a derecha: DF con biotita secundaria en masa fundamental (Prof: 83.80m), DM con sericita moderada-fuerte (Prof: 48.80m), DG con biotita secundaria en masa fundamental (Prof: 224.10m). 89
- Figura 78.** Alteración hidrotermal pozo LLCO_005. Clorita en vetillas mm y parches (parte superior e intermedia), sericita moderada (parte superior e intermedia) y biotita secundaria en masa fundamental en QF (parte inferior). Intervalo 128m-131m. 89

Figura 79. Alteración hidrotermal pozo LLCO_006. Izq: Clorita en la matriz de la BAM (Prof: 72.40m). Centro: Clorita en matriz de BAM y vetillas de Qz+Cb (Prof: 69.20m). Der: Sericita fuerte pervasiva (Prof: 32.40m). 90

Figura 80. Alteración hidrotermal pozo LLCO_010. Izq. Clorita en cemento de BAM (Prof: 71.25m). Centro: Clorita en cemento de BAM y sericita en clasto de DM (Prof: 72.25m). Der: Sericita pervasiva en BAM con vetillas de cuarzo y clastos de DG. 90

Figura 81. Perfil de mineralización Calcopirita (Cpy) - Pirita (Py). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración. . 92

Figura 82. Perfil de mineralización Esfalerita (Sph) - Galena (Ga). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración. . 94

Figura 83. Perfil de mineralización Magnetita (Mt) - Molibdenita (Mo). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010 (Cen-Izq) del target de exploración. 96

Figura 84. Correlación de capas de información geológica. Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010 (Cen-Izq), del target de exploración. 98

Figura 85. Propuesta sondajes de perforación 1, 2 y 3, correlacionando información geológica de litología y alteración hidrotermal, mineralización y estructuras (Stockwork de cuarzo + sulfuros). 101

1. Introducción

Las labores de exploración llevadas a cabo por parte de la compañía Collective Mining Limited en Colombia, se concentran principalmente en áreas de la zona rural de los municipios de Supía y Marmato (Proyecto Guayabales), en el departamento de Caldas (Figura 1).

Los temas tratados en el presente documento se encuentran enmarcados en el proyecto Guayabales, y concentra los temas relacionados a la aplicación de los procesos de exploración minera llevados a cabo por la compañía Collective Mining Limited en algunos de sus blancos de exploración.

El trabajo se basó principalmente en el conocimiento y aplicación de todas las labores y flujo de trabajo relacionado al área de logueo, el cual incluye descripción geológica detallada de diferentes litologías, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas para cuatro (4) sondajes de perforación localizados dentro de un objetivo de perforación en un área con alto potencial geológico minero; en los sondajes de perforación *LLCO_001*, *LLCO_005*, *LLCO_006* y *LLCO_010* se obtuvo una longitud total perforada de 1085.15m.

El logueo geológico detallado de los núcleos de perforación anteriormente mencionados, fue realizado mediante la aplicación del método de mapeo “*Anaconda*” (Brimhhall et al., 2006), resaltando y detallando los cambios litológicos, de alteración hidrotermal, mapeo en el incremento y/o disminución en la mineralización de sulfuros, y estructuras asociadas.

Se utilizaron diferentes herramientas SIG, como ArcGIS al igual que un software de modelamiento geológico en 3D como Leapfrog y IoGAS la cual es una herramienta de análisis geoquímico, ara el procesamiento de los diferentes datos e información, tanto los recolectados durante la práctica académica, como los suministrados directamente por la compañía.

A partir de la descripción geológica detallada de los núcleos de perforación, se busca correlacionar las diferentes capas de información: litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas de estos pozos, contrastadas a su vez con

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

resultados de información geoquímica (Sc, Th, V, Ti, P y S) ploteada en el software IoGAS para de esta manera proporcionar información que sirva para determinar y delimitar zonas con interés económico, y que a su vez proporcione datos importantes para futuras perforaciones.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Aplicar los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

2.2 Objetivos específicos

- Logueo detallado y caracterización de sección geológica tipo, pozos *LLCO_001*, *LLCO_005*, *LLCO_006* y *LLCO_010*, en términos de litología, alteración hidrotermal, mineralización y tipo de estructuras mineralizadas.
- Correlación de capas de información geológica relacionadas a litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas generadas en la caracterización del perfil tipo, pozos *LLCO_001*, *LLCO_005*, *LLCO_006* y *LLCO_010*.
- Análisis comparativo entre la descripción litológica de los sondajes de perforación *LLCO_001*, *LLCO_005*, *LLCO_006* y *LLCO_010* con valores geoquímicos de elementos traza de Sc, Th, V, Ti, P y S, como insumo de soporte en la caracterización litológica de las unidades.

3. Localización

El proyecto Guayabales está ubicado a 80 km al sur de Medellín, 75 km al norte de Pereira y 50 km al noroeste de Manizales entre los Municipios de Marmato, Supía, departamento de Caldas. El Proyecto Guayabales se encuentra dentro del terreno de Romeral que está limitado por el sistema de fallas de Romeral al este y el sistema de fallas de Cauca-Patía al oeste, y comprende rocas metamórficas de grado medio a alto, secuencias ofiolíticas y sedimentos oceánicos de edad entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano. La mineralización de oro-plata-cobre en el cinturón está relacionada con múltiples grupos de intrusiones de tipo pórfido del Mioceno tardío de composición diorita a cuarzo diorita, y brechas intrusivas. (Redwood, 2023) (Figuras 1 y 2).

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.



Figura 1. Mapa de localización proyecto Guayabales en Colombia (estrella roja). Fuente: IGAC.

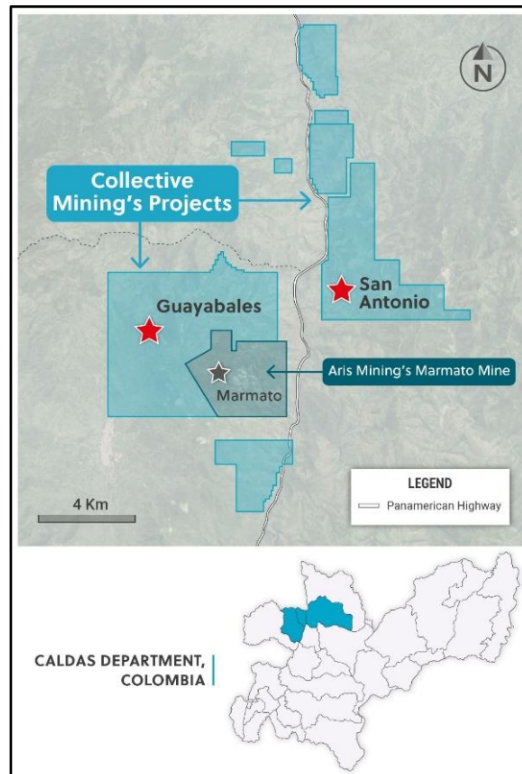


Figura 2. Mapa de localización del proyecto Guayabales en el departamento de Caldas. Tomado de NI 43-101 Technical Report, Guayabales Project, Redwood (2023).

4. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo la empresa Collective Mining Limited proporciono la información y herramientas necesarias para el desarrollo de la práctica académica en donde se realizó un relagueo de los sondajes de perforación *LLCO_001*, *LLCO_005*, *LLCO_006* y *LLCO_010*. El cual consta de una descripción geológica detallada de las diferentes características relacionadas con litología, alteración hidrotermal, mineralización y tipo de estructuras mineralizadas.

4.1 Logueo detallado de núcleos de perforación:

El relagueo de los pozos de perforación fue realizado en 4 etapas, las cuales son mencionadas a continuación:

1. Logueo detallado donde se definió y describió la litología teniendo en cuenta factores composicionales y texturales principalmente.
2. Descripción de las alteraciones hidrotermales presentadas a lo largo de cada pozo.
3. Cuantificación y clasificación de la mineralización (sulfuros), teniendo en cuenta la estimación del porcentaje de ocurrencia del tipo de mineral o sulfuro asociado con la mineralización a lo largo del sondaje de perforación.
4. Descripción de las estructuras presentes según: tipo: veta, vetilla (tipo de vetilla), falla, fractura, composición, porcentaje, espesor y frecuencia.

4.2 Elaboración, análisis, correlación e interpretación de secciones geológicas tipo:

Se llevó a cabo la elaboración de perfiles en Leapfrog, en donde se desplegó la información geológica colectada durante los procesos correspondientes a descripción de litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas de los sondajes de perforación; como insumo principal para realizar el proceso de interpretación y correlación entre las diferentes capas descritas.

Posteriormente, y con ayuda del software IoGAS, se elaboró un análisis comparativo entre las diferentes unidades litológicas caracterizadas en el perfil tipo con los resultados geoquímicos de las muestras correspondientes a los sondajes de perforación trabajados. Para tal fin se utilizaron seis (6) elementos

(Sc, Th, V, Ti, P y S), los cuales en conjunto constituyen un insumo de ayuda adicional para soportar y marcar cambios litológicos contrastado con el logueo o descripción litológica.

4.3 Correlación litológica, alteraciones hidrotermales, mineralización y estructuras mediante secciones o perfiles geológicos de los pozos LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010.

A partir de la interpretación de los perfiles anteriormente mencionados, se realizó la correlación entre los 4 pozos logueados determinando posibles zonas de interés, con base a similitudes litológicas (textura y composición), alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas e información geoquímica, respectivamente. Sirviendo esta parte como insumo importante para las diferentes actualizaciones de los modelos geológicos a partir de la alimentación de datos e información nueva con base al progreso o avance del programa de exploración y la ejecución de los sondajes de perforación.

4.4 Geoquímica: análisis geoquímico comparativo empleando elementos traza (Sc, Th, V, Ti, P, S).

A partir del trabajo realizado con el procesamiento de la información geoquímica disponible (Sc, Th, V, Ti, P y S) mediante el uso del software IoGAS, se determinó la presencia de dos dominios litológicos a nivel general: cuarzodioritas y dioritas, a su vez, cada una de estas litologías presenta variaciones de tipo composicional y textural.

Entre las características identificadas las cuarzodioritas presentan diferente tamaño de grano, desde fino, medio y grueso (ver ítem 7.1.1). Principalmente la variación está marcada por cambios texturales y de tamaño de grano en minerales primarios, tales como cuarzo y la plagioclasa, esta última en ocasiones variando su forma, texturalmente, se presentan variaciones entre textura porfirítica y textura granular (equigranular e inequigranular), algunas variaciones composicionales menores, teniendo en cuenta el porcentaje de anfíboles y biotita,

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

de la misma manera se presentan estas variaciones en las dioritas clasificadas (ver ítem 7.1.2).

5. Geología Regional

5.2 Complejo Arquía (Kiea)

El Complejo Arquía es una faja estrecha de rocas que se extiende como un cinturón metamórfico desde el golfo de Guayaquil en Ecuador hasta el norte de la Cordillera Central de Colombia (Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003; Toussaint, 1996). Petrográficamente corresponden a esquistos cuarzo cloríticos con moscovita, esquistos cloríticos, esquistos de actinolita/hornblenda con clorita y esquistos cuarzo actinolíticos. Los minerales accesorios más comunes son calcita, titanita, hematita, magnetita e ilmenita (Ruiz-Jiménez, et al., 2012). Este complejo se encuentra limitado al occidente por rocas con afinidad geoquímica oceánica por medio de la falla Cauca-Almaguer y al oriente se encuentra limitado por rocas pertenecientes al Complejo Quebradagrande por medio de la falla Silvia-Pijao (Maya y González, 1995) (Figuras 3 y 4). El Complejo Arquía se ha interpretado como el resultado de eventos de colisión-subducción (Avellaneda-Jiménez et al., 2020; Villagómez et al., 2011; Villagómez, 2010; Zapata-Villada et al., 2017), en donde se involucran protolitos volcano-sedimentarios, margosos, ígneos y pelíticos (Dorado, 2007; Ibarra-Bustos, 2017; Rodríguez y Arango, 2013; Valencia, 2010).

5.3 Formación Amagá (E3Ama)

A lo largo del margen occidental de la Cordillera Central durante el Oligoceno-Mioceno se produjeron zonas de hundimiento, donde se depositaron gruesas secuencias de sedimentos continentales que constituyen la Formación Amagá (Gonzales, 1976), la cual fue intruida en el Neógeno tardío y hoy en día se encuentra en depresiones menores limitadas por fallas (Figuras 3 y 4).

Esta formación se ha subdividido en tres miembros de acuerdo con la presencia o ausencia de mantos de carbón, su espesor y la presencia de niveles conglomeráticos.

El Miembro Inferior aflora al norte de Irra y en bloques a lo largo de la Falla de Romeral y se caracteriza por la presencia de conglomerados polimícticos con clastos de rocas metamórficas mal seleccionadas, arenitas conglomeráticas de color gris oscuro y por bancos de arenitas arcillosas de color gris a gris verdoso.

El Miembro Medio aflora en cercanías de Aránzazu y entre Riosucio y El Salado. Se caracteriza por la presencia de mantos de carbón, explotados en la zona de Riosucio, con bancos de arenitas de grano fino hasta grueso que gradualmente pasan a arenitas arcillosas y arcillolitas; en estas últimas ocasionalmente se encuentran restos de plantas fósiles. (Correa, et al., 2001, Cárdenas, et al., 2023).

El Miembro Superior aflora en el área Supía-Riosucio, entre La Felisa e Irra, entre el Río Arquía - Supía y en Filadelfia; está caracterizado por la ausencia de mantos explotables de carbón y de conglomerados y por el predominio de arenitas oscuras y de limolitas y arcillolitas de color ocre deleznales con ocasionales concreciones calcáreas. (Correa y Silva, 1999)

En gran parte, los diferentes miembros están suprayacidos en discordancia por la Formación Combia y son intruidos por pórfidos del Mioceno Tardío. Según Van der Hammen, (1957, 1958) esta formación es del Oligoceno Superior, llegando el Miembro superior hasta el Mioceno inferior.

5.4 Formación Combia (N1c)

La Formación Combia es una unidad que se extiende a lo largo de la parte media y alta del valle interandino del río Cauca entre las Cordilleras Central y Occidental en el noroeste de Colombia (Figuras 3 y 4), denominada inicialmente por Grosse (1926) como "Estratos de Combia" y redefinida estratigráficamente por González (1980) quien la dividió en dos miembros: Inferior o Volcánico y el Superior o Volcaniclástico (Borrero, C., y Toro-Toro, L.M. 2016).

El Miembro Inferior está compuesto por lavas basálticas y andesíticas, aglomerados, brechas volcánicas, tobas, conglomerados con matriz tobácea y areniscas tobáceas, y se incluyen cuerpos de pórfidos andesíticos y dacíticos (Restrepo et al., 1981; Leal-Mejía, 2011). Los productos extrusivos e intrusivos muestran una afinidad geoquímica mezclada entre toleítica y calcoalcalina (e.g. Jaramillo, 1976; Tejada et al., 2007; Leal-Mejía, 2011). El Miembro Superior está constituido esencialmente por niveles gruesos de conglomerados con intercalaciones de areniscas de grano medio a fino con alto contenido de material volcánico y arcillolitas (Grosse, 1926; González, 1980; López et al., 2006). (Borrero, C., y Toro-Toro, L.M. 2016).

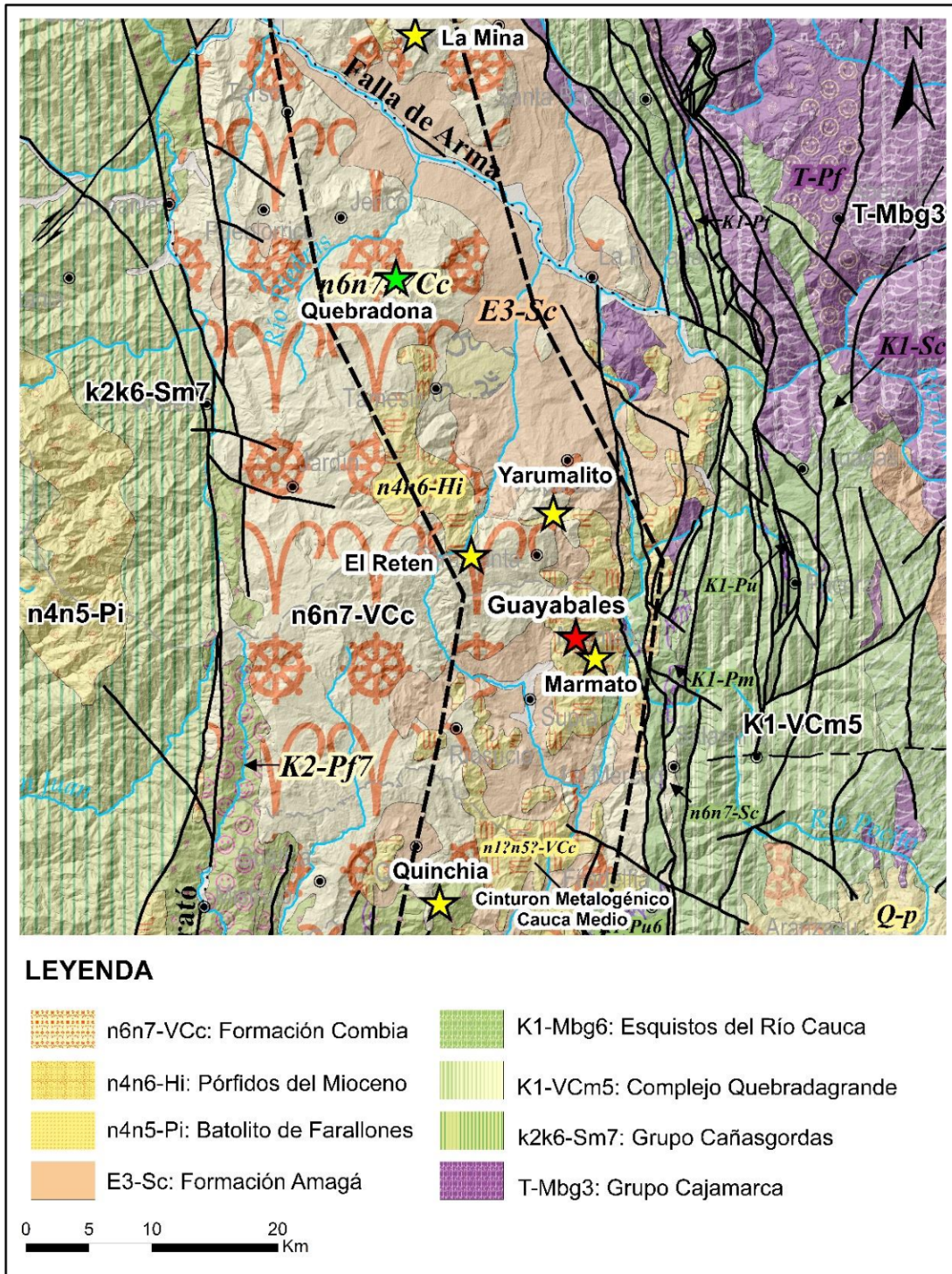


Figura 3. Geología regional y principales yacimientos de Oro-Cobre del Cinturón Metalogénico del Cauca Medio. Proyecto Guayabales (estrella amarilla). Tomado de Celada et al., 2016. Mapa Metalogénico de Colombia, Servicio Geológico Colombiano (SGC año 2015).

6. Geología Local

la geología local está constituida por esquistos de composición cuarzo - sericíticos y esquistos grafitosos, los cuales se presentan a modo de clastos aislados y en bajo porcentaje (<1%) en brecha polimíctica magmático hidrotermal, al igual que se presenta diorita con textura porfírica, generalmente de color gris, gris-verdoso y con fenocristales de plagioclasa de grano fino, medio y grueso al igual que la hornblenda, también se presenta cuarzdiorita con fenocristales de biotita y hornblenda, presentando una masa fundamental compuesta por cuarzo microcristalino, por último se tiene una brecha magmático hidrotermal monomíctica y polimíctica, con clastos de las litologías anteriormente mencionadas (Figura 4).

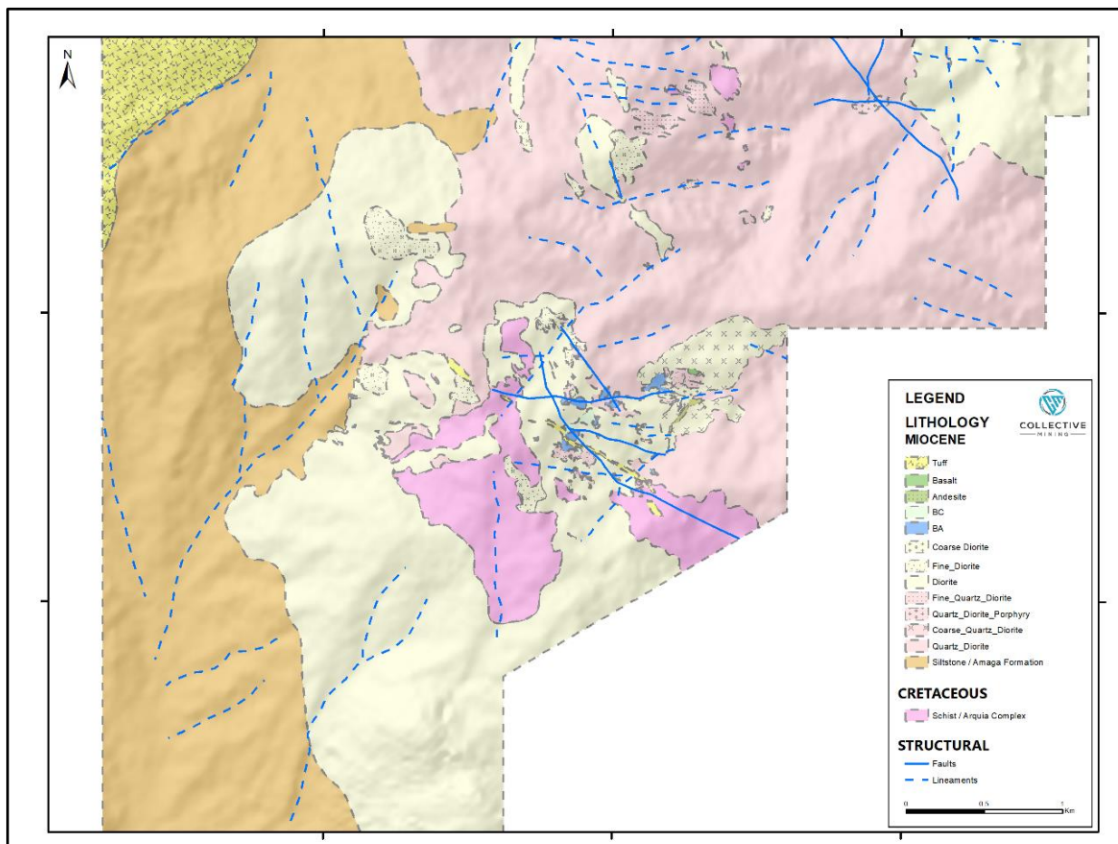


Figura 4. Mapa de Geología local del proyecto Guayabales. Fuente: Collective Mining.

7. Actividades y Resultados

Las actividades realizadas a lo largo de la práctica académica se concentraron en el conocimiento y aprendizaje de todos los procesos relacionados con las labores descriptivas de núcleos de perforación (logueo y relogueo) pertenecientes a los diferentes targets de exploración de la compañía, utilizando la metodología descriptiva del método Anaconda (Brimhall et al., 2006).

Para la elaboración del presente documento, se llevó a cabo el logueo de 4 sondajes de perforación de un target o blanco de exploración del proyecto Guayabales, en donde se realizó la caracterización de diferentes capas de información geológica correspondientes a litología, alteración hidrotermal, mineralización asociada (sulfuros) y tipo de estructuras mineralizadas, para finalmente, realizar un primer acercamiento y entendimiento de las diferentes unidades litológicas asociadas, temporalidad de los eventos magmáticos: precursor, intermineral y postmineral, relacionados con las características de mineralización tipo pórfido y estructuras polimetálicas tardías asociadas al sistema (Sillitoe, 2010).

7.2 Litología

En el logueo detallado realizado a los pozos anteriormente mencionados, se determinaron diez (10) unidades litológicas (entre dioritas, cuarzodioritas, brecha hidrotermal, esquisto), y sus respectivos contactos entre las mismas. Estas litologías varían composicional y texturalmente, constituyendo variaciones principalmente en porcentaje de plagioclasa y cuarzo, contenido de masa fundamental y variaciones en el tamaño de grano. Esta clasificación composicional (minerales primarios y secundarios) y textural, se llevó a cabo de manera macroscópica, con ayuda de lupas marca Iwamoto de aumento 10x y 20x.

7.2.1 Cuarzodiorita

7.2.1.1 Cuarzodiorita Gruesa Porfirítica (Q1):

Cuarzodiorita con textura porfirítica y en menor proporción presentando textura granular, con tamaño y forma de grano equigranular. Como principal característica visual y macroscópica es el tamaño grueso del cuarzo, el cual oscila entre 5mm-6mm, (Figura 5), y con un porcentaje entre 10%-15%. La

plagioclasa varia en porcentaje entre 20%-30%, presenta tamaño de grano medio (3mm-5mm), de formas tabulares irregulares principalmente, algunas de estas varían en forma entre subhedral – anhedral. Los minerales máficos son de tamaño de grano fino, de 1mm aproximadamente, y un porcentaje variable entre el 1%-5%. Esta roca se presenta mayoritariamente fresca, sin alteración alguna o muy leve (Figura 6), y ocasionalmente con vetillas mm de cuarzo con textura masiva (Figura 7).

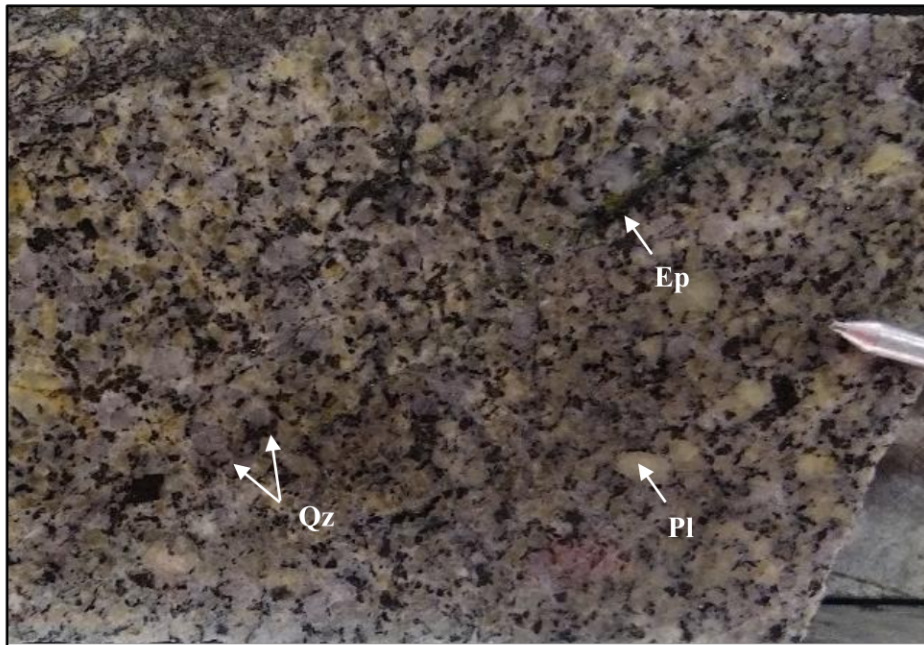


Figura 5. LLCO_006. Cuarzodiorita de grano grueso (Q1), con alteración epidota (Ep) leve en las plagioclasas (Pl) (profundidad: 212.00m).

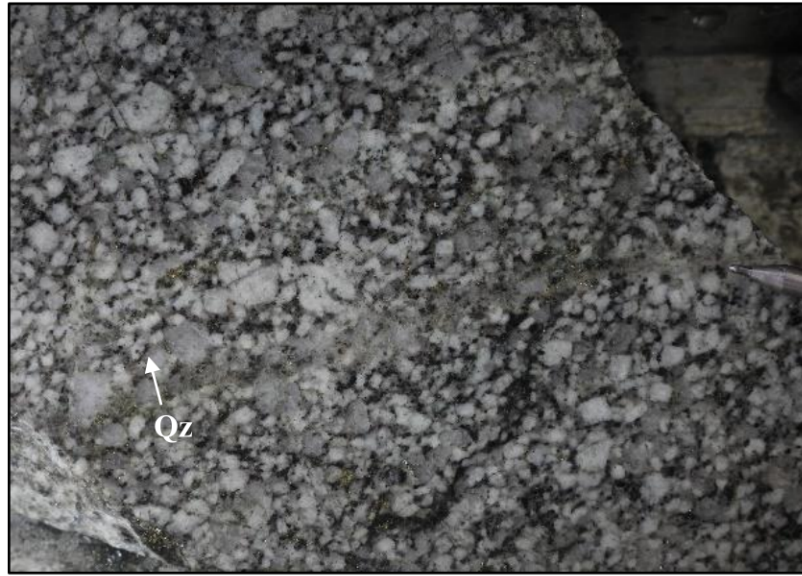


Figura 6. LLCO_005. Cuarzodiorita gruesa (Q1) inalterada (profundidad: 233.30m).

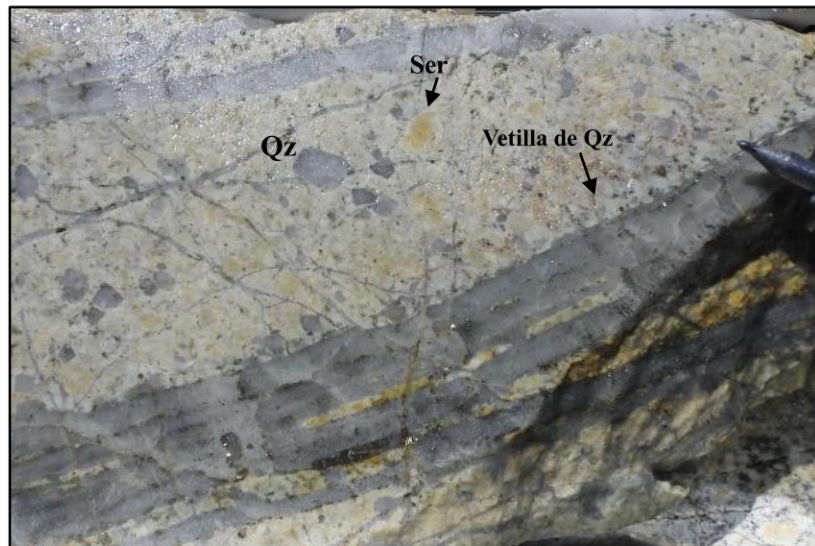


Figura 7. LLCO_010. Cuarzodiorita gruesa (Q1) con vetillas de Qz, Qz+Py (sutura), alteración sericita (Ser) fuerte (profundidad: 209.00m).

7.2.1.2 Cuarzodiorita Fina (QF):

Cuarzodiorita con textura porfírica, equigranular, tamaño de grano fino, aproximadamente 1 mm, (Figura 8). Presenta contenido de plagioclasa entre el 10%-20%, de 1mm a 3mm de diámetro. El cuarzo presenta un tamaño de grano fino (≤ 1 mm), y no superior al 10% en contenido. Presenta un contenido

de minerales máficos entre 5%-10%, principalmente anfíboles y biotita tabulares, siendo estos en su mayoría de tamaño de grano fino ($\leq 1\text{mm}$). Se puede percibir en algunos tramos de los sondajes un mayor porcentaje de masa fundamental. (Figura 9).

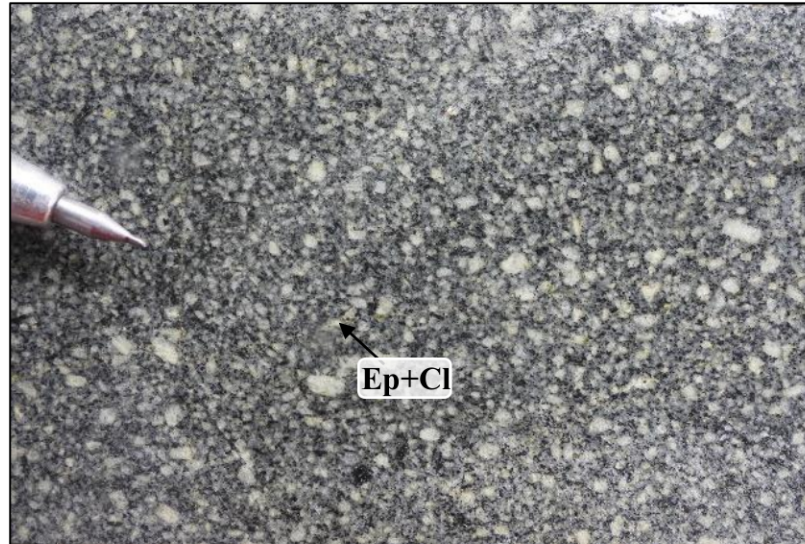


Figura 8. LLCO_006. Cuarzodiorita fina (QF) con alteración epidota (Ep)+clorita (Cl) leve (profundidad: 51.80m).



Figura 9. LLCO_005. Cuarzodiorita fina (QF) presenta mayor porcentaje de masa fundamental que minerales, epidota (Ep)+clorita (Cl) en vetillas mm (profundidad: 301.50m).

7.2.1.3 Cuarzodiorita Media (QM):

Cuarzodiorita con textura porfirítica y en ocasiones se observa textura granular inequigranular, presenta tamaño de grano medio, variando entre 1mm-5mm (Figura 10), presenta entre un 15%-25% de plagioclasa en proporción, que a su vez presenta tamaño de grano medio (3mm-5mm) y en formas tabulares irregulares en ocasiones. El cuarzo es de tamaño de grano fino (<1mm), y variaciones en contenido entre 5%-10%. El contenido de minerales máficos (anfíboles y biotita) está entre 5%-10%, con un tamaño de grano fino (≤ 1 mm). Esta roca presenta un moderado contenido de vetillas de cuarzo (granular +/- masivo) y en proporción (2-3 x metro lineal), algunas de estas vetillas con sutura de sulfuros (Pirita). (Figura 11).

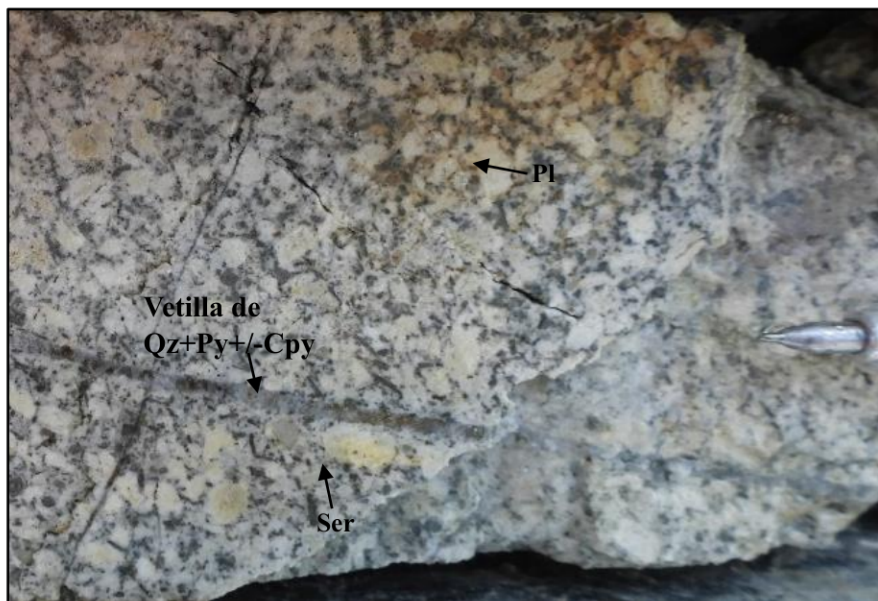


Figura 10. LLCO_006. Cuarzodiorita media (QM) presenta vetillas de Qz+Py+/-Cpy, y sericita (Ser) moderada en plagioclasa (Pl) (profundidad: 31.65m).

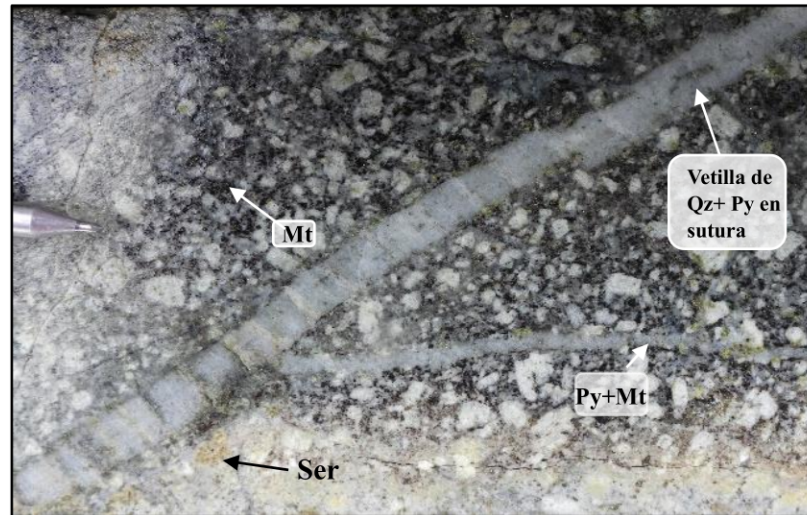


Figura 11. LLCO_006. Cuarzodiorita media (QM) con Vetillas de cuarzo con Py en sutura, y Py+Mt en los bordes, presenta Mt en la masa fundamental y sericita (Ser) moderada en plagioclasa (profundidad: 43.50m).

7.2.1.4 Cuarzodiorita Gruesa (QG):

Cuarzodiorita con textura porfirítica y ocasionalmente textura granular (inequigranular), presenta un contenido entre 25%-35% de plagioclasa, con tamaño de grano grueso 5mm-6mm, forma de los cristales tabular principalmente, el tamaño del cuarzo y de los minerales máficos es fino (<1mm), con un contenido que varía entre 5%-10% de cuarzo y un 1%-5% de minerales máficos (anfíboles+biotita+opacos), El porcentaje de masa fundamental en algunos casos es mayor que de los minerales 70%-30% (Figura 12), y en ocasiones se presenta con alteración sericitica fuerte, pervasiva selectiva (Figura 13).

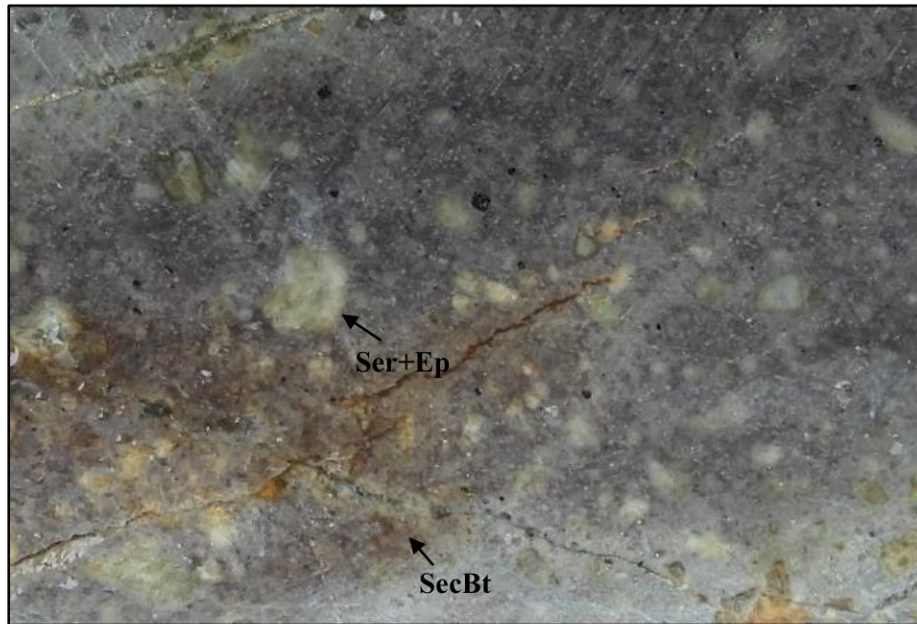


Figura 12. LLCO_006. Cuarzodiorita gruesa (QG) masa fundamental 70%, minerales (30%), sericita (Ser)+epidota (Ep) en plagioclasa (Pl), y biotita secundaria (SecBt) marrón/rojiza en la masa fundamental en sobreimposición (profundidad: 26.50m).

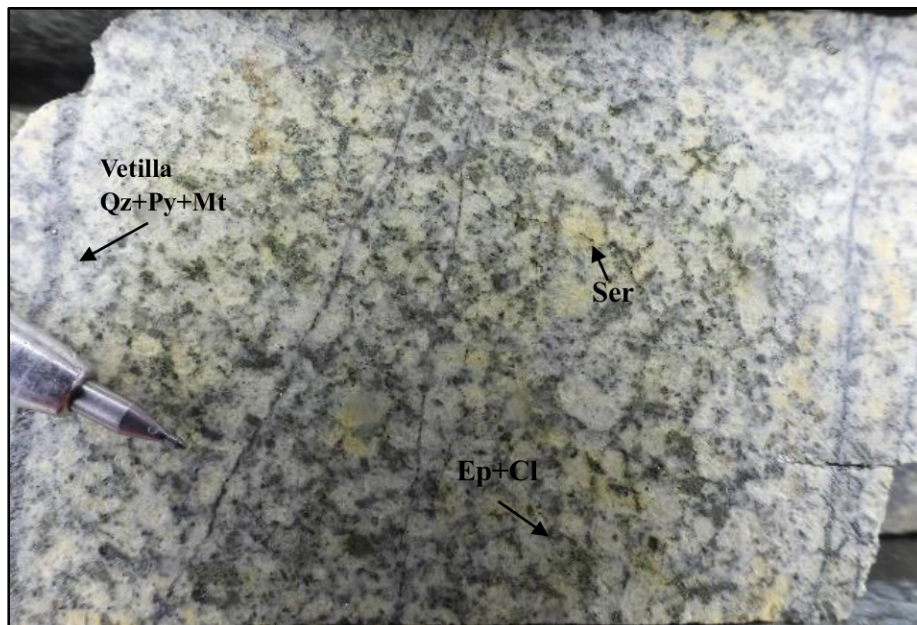


Figura 13. LLCO_005. Cuarzodiorita gruesa (QG) con alteración sericítica (Ser) fuerte y epidota (Ep)+/-clorita (Cl) moderada, presenta vetillas mm de sulfuros finos y de (Qz+Py+/-Mt) (profundidad: 106.40m).

7.2.2 Diorita

7.2.2.1 Diorita Fina (DF):

Diorita con textura porfirítica, equi e inequigranular (Figura 14). Las plagioclasas, los minerales máficos, y el cuarzo son de tamaño de grano fino, de aproximadamente 1mm de diámetro, presenta un porcentaje de plagioclasa mayor al 20%, el cuarzo presenta un porcentaje entre 2%-3%, y los minerales máficos (anfíbol y biotita) presentan un porcentaje menor al 5%.

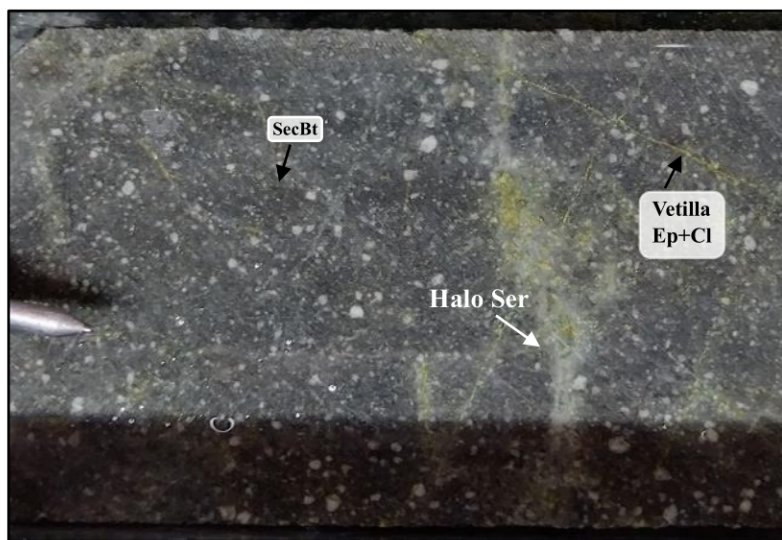


Figura 14. LLCO_001. Diorita fina (DF) con epidota (Ep)+clorita (Cl) en vetillas con halo de sericita (Ser), y biotita secundaria (SecBt) fuerte en la masa fundamental (color rojizo/violeta) (profundidad: 84.00m).

7.2.2.2 Diorita Media (DM):

Diorita con textura porfirítica, tamaño de grano medio, entre 2mm-4mm, formas de los minerales inequigranular, y un contenido de plagioclasa mayor al 20%. Esta última con tamaño de grano medio, de 2mm-5mm. El cuarzo representa un 5% y los minerales máficos ocupan entre 3%-5%, y un tamaño de grano fino de 1mm (Figura 15), en algunas partes de la roca se presenta alteración de sericita, de moderada a fuerte, afectando principalmente las plagioclasas (Figura 16).

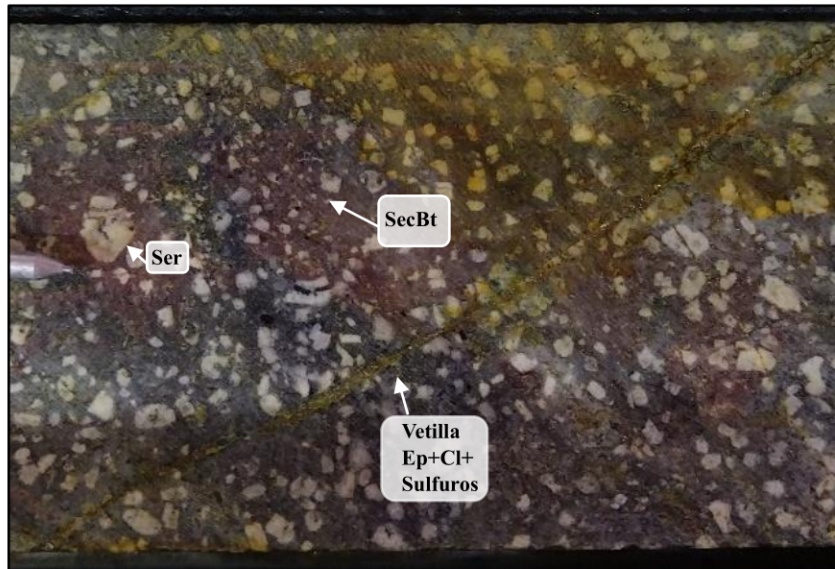


Figura 15. LLCO_001. Diorita media (DM). Vetillas mm de epidota (Ep)+clorita (Cl)+/-sulfuros finos, sericita (Ser) leve en plagioclasas, y biotita secundaria (SecBt) muy fina en la masa fundamental (profundidad: 86.10m).

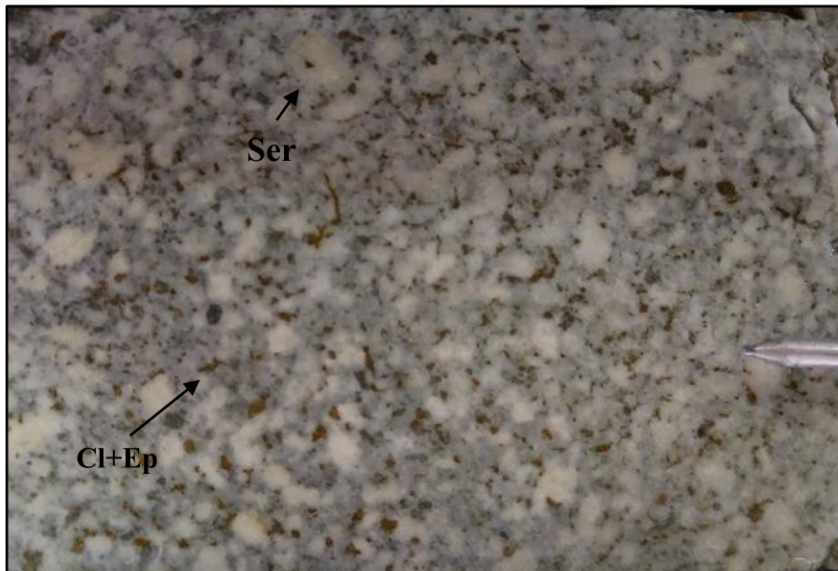


Figura 16. LLCO_001. Diorita media (DM), con alteración sericita (Ser) fuerte, y epidota (Ep)+/-clorita (Cl) moderada (profundidad: 60.00m).

7.2.2.3 Diorita Gruesa (DG):

Diorita con textura porfírica inequigranular, presenta plagioclasas tabulares principalmente (15%-25%), con tamaño de grano grueso (7mm-8mm), el cuarzo

en menor proporción con un 2%-3% de contenido y un tamaño de grano de 1mm aproximadamente. Los minerales máficos (anfíboles – biotita) presentan un tamaño de grano fino $\leq 1\text{mm}$, y un porcentaje del 5%. En esta roca se observó un contenido mayor de masa fundamental respecto a las demás rocas mencionadas anteriormente (60%-40%). (Figura 17), y con un contenido moderado de vetillas, principalmente de cuarzo, y en menor proporción vetillas de cuarzo con sulfuros, algunas de estas cortadas o truncadas entre sí, ayudando esto para determinar temporalidad entre estos eventos representados por las vetillas tipo pórfido (Sillitoe, 2010) (Figura 18).

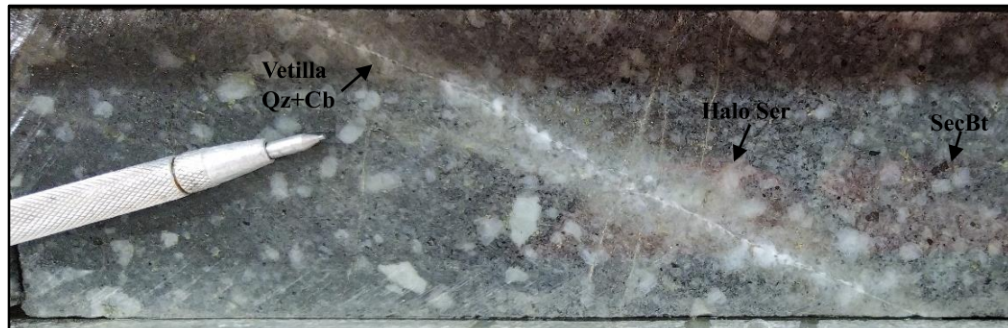


Figura 17. LLCO_001. Diorita gruesa (DG). Vetilla de cuarzo (Qz)+carbonatos (Cb) con halo de sericita (Ser), biotita secundaria (SecBt) en parches aislados (profundidad: 227.45m).

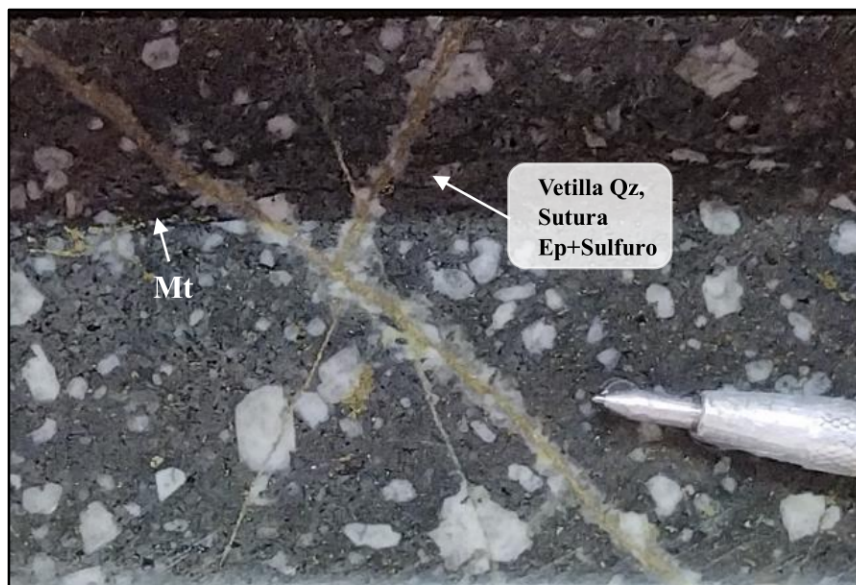


Figura 18. LLCO_001. Diorita gruesa (DG). Vetilla irregular de cuarzo con sutura de epidota (Ep)+sulfuros finos cortando vetilla de igual composición y textura, magnetita (Mt) muy fina diseminada en la masa fundamental (profundidad: 225.80m).

7.2.3 Brechas Hidrotermales

Las brechas hidrotermales descritas a continuación, y que corresponden a las halladas en los 4 pozos de perforación trabajados, presentan diferentes variaciones, tanto composicionales, como texturales. La gran mayoría en varios tramos de los pozos, se presentan polimícticas, con clastos subredondeados básicamente, de diorita y cuarzodiorita, y en menor proporción fragmentos angulares y tabulares de esquistos, y en menor proporción se presentan brechas monomícticas, con clastos de cuarzodiorita en algunas brechas y diorita en otras, pero en muy poca proporción se detallaba esta composición en las brechas descritas. Predominan las brechas clastosoportadas, con fragmentos angulares chocando o tocando sus bordes entre sí, embebidos en una matriz compuesta principalmente por clorita, y en algunas ocasiones harina de roca.

7.2.3.1 Brecha Angular Mineralizada (BAM):

Esta es una clasificación que maneja la compañía, para diferenciar las brechas con mineralización y las que no presentan mineralización. Brecha magmático-hidrotermal con presencia de mineralización de sulfuros, principalmente pirita de tamaño de grano fino, galena y esfalerita, en ocasiones en parches aislados y en muy poca proporción calcopirita (Figura 19). Los minerales de ganga, son carbonatos y cuarzo (Figura 20), mayoritariamente estos sulfuros se presentan en el cemento el cual está compuesto principalmente por sulfuros, sílice y carbonatos; en la matriz, acompañado de clorita, sericita (Figura 21), y algunos minerales máficos de tamaño fino. Clastosoportada, varía composicionalmente en los diferentes pozos de monomíctica principalmente en los tramos más someros de los sondajes (50-80m), con clastos de cuarzodiorita, y polimíctica a mayor profundidad, con clastos subredondeados y subangulares de cuarzodiorita, diorita y esquistos. Los clastos varían en esfericidad de subredondeados a subangulares, en donde predominan los clastos subangulares.

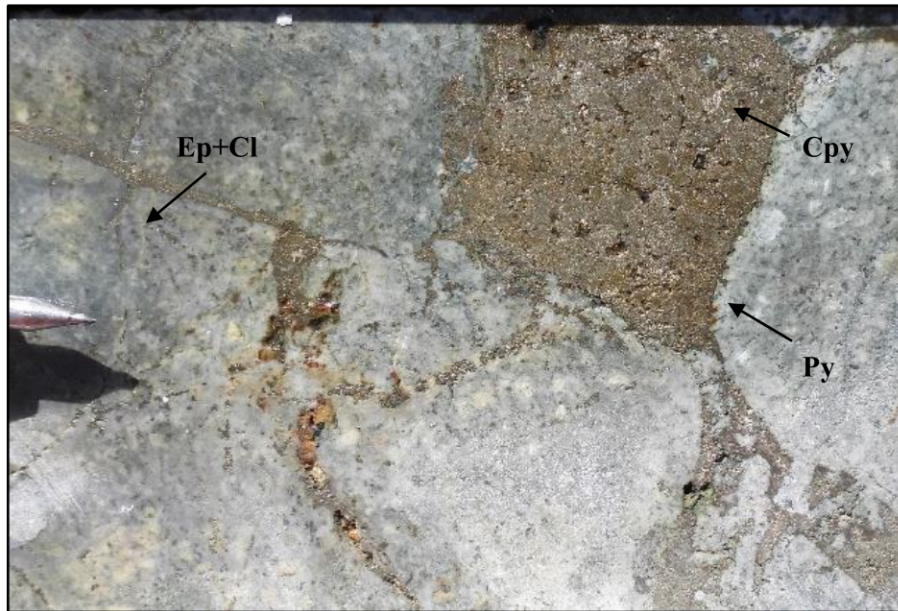


Figura 19. LLCO_010. BAM con pirita (Py) y calcopirita (Cpy) en el cemento, clastos de diorita con epidota (Ep)+clorita (Cl) (profundidad: 71.25m).

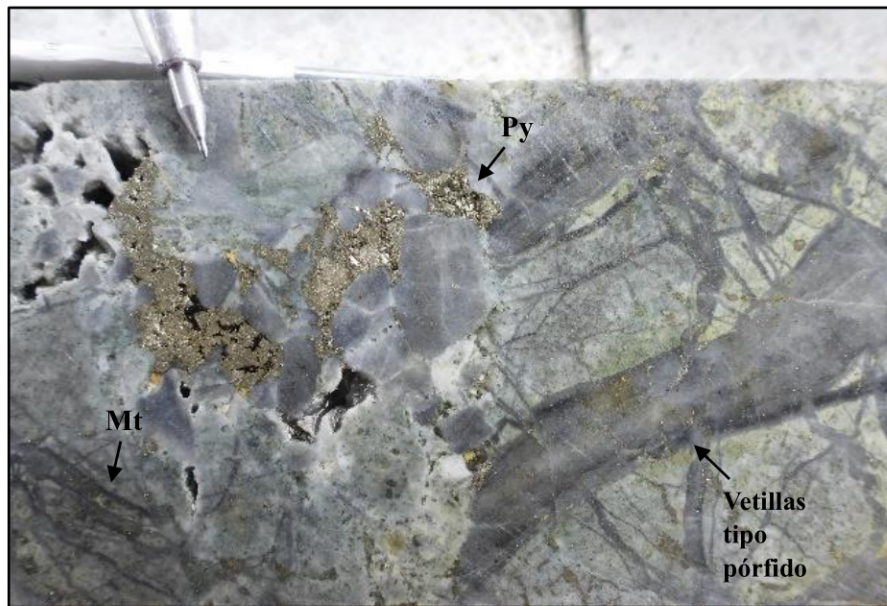


Figura 20. LLCO_006. BAM con pirita (Py) y calcopirita (Cpy) en cemento y rellenando oquedades (carbonato-cuarzo), en contacto con fragmento de diorita con vetillas tipo pórfido de cuarzo con borde de magnetita (Mt) y con sulfuros (Py-Cpy) (profundidad 107.40m).

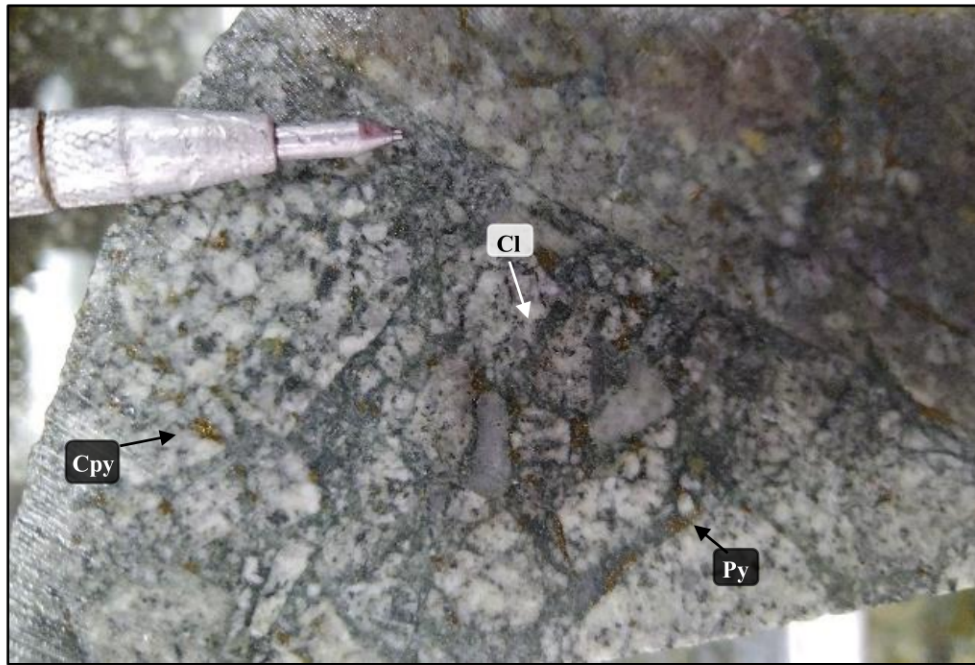


Figura 21. LLCO_001 BAM. Fragmentos de diorita y cuarzodiorita, cemento de clorita (Cl)-pirita (Py)-calcopirita (Cpy), alteración sericita moderada (profundidad: 87.65m).

7.2.3.2 Brecha Intrusiva (BI):

Esta brecha se presenta en poca proporción, 2%-3% aproximadamente, y corresponde a una brecha intrusiva polimíctica, presenta una matriz de composición ígnea, no se observa mineralización de sulfuros, la composición de la roca en la matriz es cuarzodiorita de grano fino, y clastos sub redondeados de esquistos color marrón oscuro, tamaño de grano medio. La plagioclasa presenta formas tabulares, subhedrales y anhedrales, de tamaño de grano medio-fino (Figura 22).

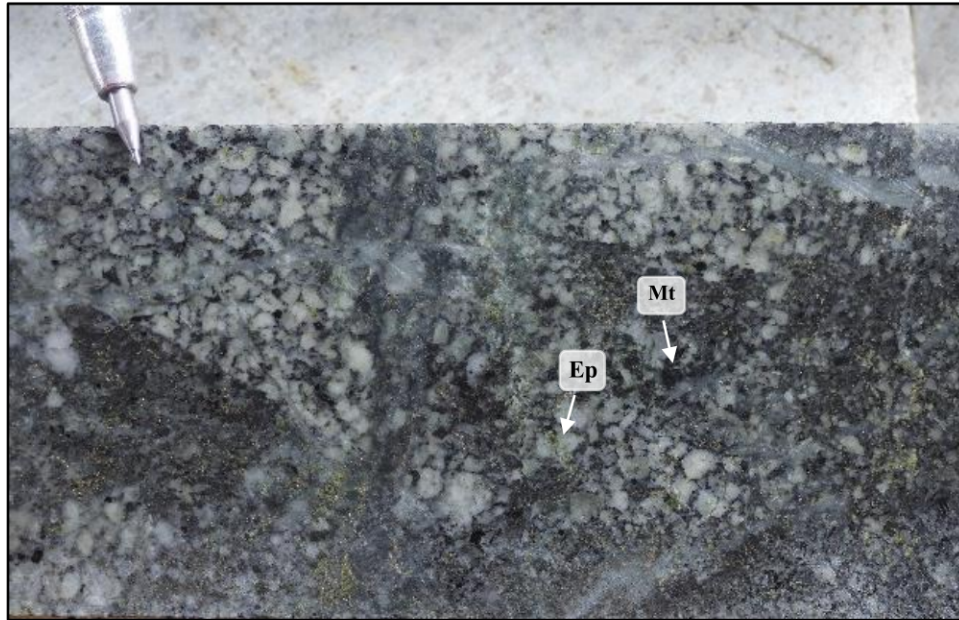


Figura 22. LLCO_006. BI, presenta matriz constituida por roca ígnea (diorita muy fina), y clastos de cuarzodiorita y diorita, sulfuros finos con epidota (Ep)+clorita (Cl)+magnetita en parches sobreimpuestos (profundidad: 94.85m).

7.2.4 Esquistos

Los esquistos observados y detallados a lo largo de los pozos trabajados se encuentran como clastos en las secciones de brechas tanto de la BAM como de la BI, de color negro y marrón oscuro debido a la alteración presente de biotita secundaria, tamaño de grano fino (Figura 23), y se presentan en poco porcentaje $\leq 1\%$. Este esquisto presenta cuarzo de segregación, color blanco lechoso, masivo, en forma de lentes y venas ocasionalmente. (Figura 24).

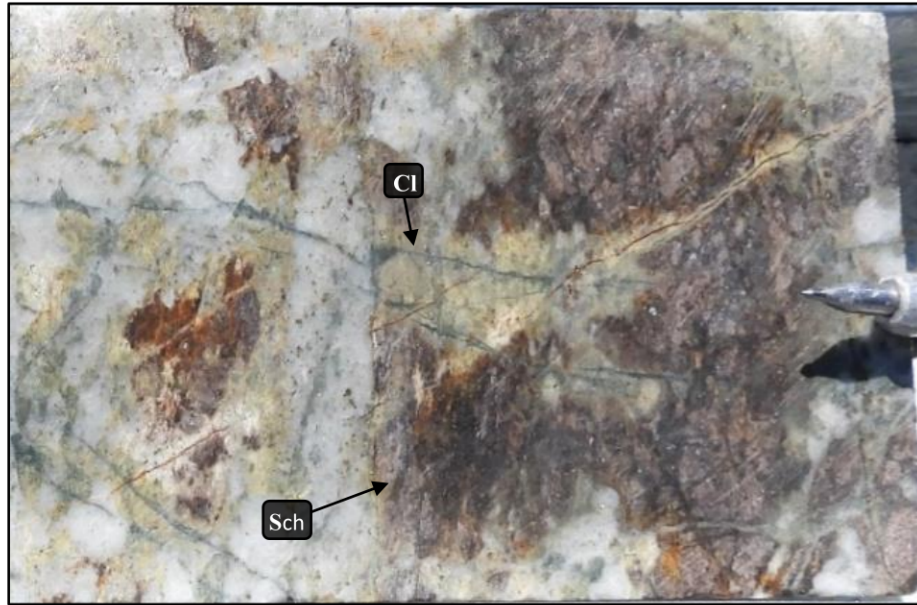


Figura 23. LLCO_010. Clasto de esquist (Sch) color marrón oscuro cortado por vetillas mm irregulares de clorita (Cl), se observa sericita pervasiva y biotita secundaria selectiva (profundidad: 137.00m).

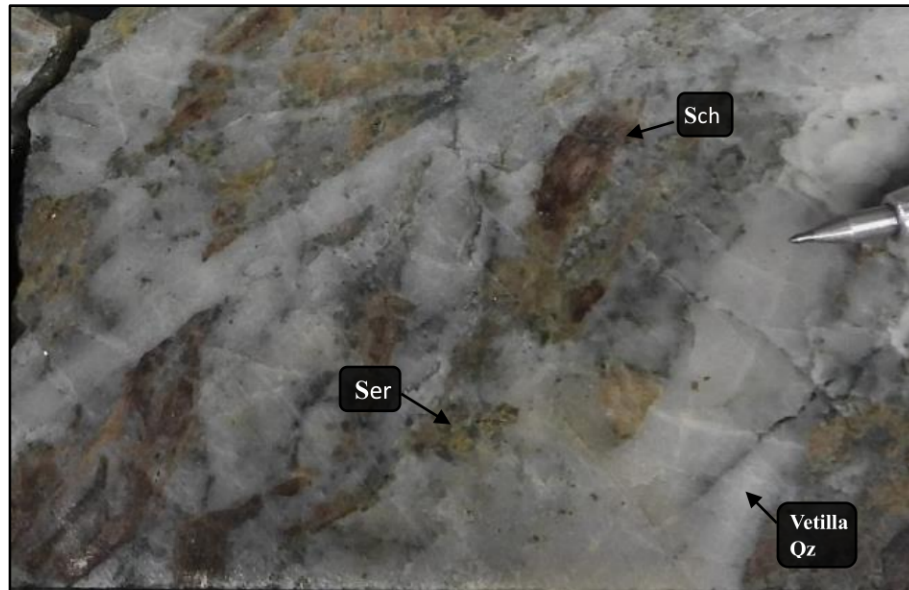


Figura 24. LLCO_006. Clastos subredondeados de esquist (Sch) color marrón en brecha polimíctica BAM (diorita-cuarzodiorita) con alteración sericita (Ser) moderada en plagioclasas y vetillas de cuarzo masivo (profundidad: 178.40m).

7.2.5 Saprolito

Roca fuertemente meteorizada, variando de saprolito rocoso (rasgos texturales de la roca parental destruidas), roca saprolitizada (rasgos texturales de la roca parental aún preservados). Esta unidad se encuentra en los pozos después de la capa orgánica y la ceniza volcánica, en algunas ocasiones preserva la textura de la roca original, principalmente con una textura limo-arcillosa (Figura 25), y en ocasiones en las partes un poco más profundas (8m) se le logra ver algo de textura de la roca (Figura 26), y en partes donde se le aprecia bien esta textura y está un poco más compacto se le determina una textura porfirítica o granular.



Figura 25. LLCO_010. Saprolito limo-arcilloso, con fragmentos de diorita. Profundidad 08.00m.



Figura 26. LLCO_010 Saprolito rocoso, con sericita fuerte (diorita) y FeOX (supergena). Profundidad: 12.50m.

7.3 Alteraciones Hidrotermales

Alteración hidrotermal está caracterizada por asociaciones de minerales de alteración los cuales definen los diferentes tipos de alteración: potásica (definida por la presencia de biotita secundaria + magnetita +/- feldespato potásico); sulfuros de hierro y cobre asociados), propilítica (definida por la presencia de clorita, +/-magnetita, epidota, carbonatos), alteración sericítica (sericita), y sericítica-clorítica (sericita + clorita) están presentes en los sondajes de perforación objetos del presente estudio, presentando diferentes niveles de intensidad y controles.

La clasificación que a continuación se enuncia de las diferentes alteraciones hidrotermales, se basó principalmente en la descripción e identificación de los minerales de alteración, y las características que se describen en cuanto a su intensidad y distribución de cómo se presentan estos minerales secundarios, de igual manera, asociado a los minerales de alteración también se encuentran minerales de ganga, sulfuros y óxidos, los cuales hacen parte a su vez de la paragénesis mineral y ayudan a la definición del tipo de alteración hidrotermal.

La alteración potásica está caracterizada principalmente por la sustitución o reemplazamiento de los minerales máficos (biotita primaria y anfíboles) por biotita secundaria y magnetita. Estos minerales también se encuentran asociados a zonas con alta densidad de vetillas y venas de cuarzo, y en ocasiones en menor proporción como halo en vetillas de cuarzo.

La fuerte alteración sericítica + illita, está relacionada con las últimas fases de las venas o vetas polimetálicas presentes, afectando todas las litologías anteriormente descritas, y constituye la principal alteración hidrotermal presente en el target o blanco de exploración en cuestión.

La alteración hidrotermal de biotita secundaria se presenta principalmente en las dioritas, presentándose como sustitución de minerales máficos primarios (biotita y anfíboles). Presenta variedad de intensidad y control, presentándose principalmente de manera pervasiva selectiva, y en ocasiones acompañada de magnetita fina diseminada y en vetillas.

La alteración hidrotermal de clorita - sericita, aparece en varios intervalos de los sondeos logueados como superposición sobre la alteración hidrotermal de la biotita secundaria. La mayor intensidad de esta alteración se encuentra en el cemento de la BAM (Brecha Angular Mineralizada), y está presente tanto en zonas mineralizadas como no mineralizadas.

La alteración hidrotermal sericítica, está caracterizada por la presencia de sericita, y muestra diferentes niveles de intensidad, mayoritariamente de moderado a fuerte, apareciendo con mayor intensidad en las zonas de falla y cerca de mineralización asociada a venas o vetas polimetálicas, y a estructuras tipo CBM (Carbonates Base Metal) controladas o asociadas a estructuras.

La alteración hidrotermal clorítica, se encuentra mayoritariamente con alteración hidrotermal sericítica en las zonas de mineralización asociadas a la BAM (Brecha Angular Mineralizada), haciendo parte del cemento. La clorita está asociada a minerales máficos y carbonatos, y es más intensa en el cemento y en los clastos circundantes presentes en la BAM.

En el logeo de los diferentes pozos se identificaron 3 tipos de alteración hidrotermal

- Alteración Potásica: (Definida por la ocurrencia de biotita secundaria, magnetita, sulfuros asociados y vetillas tipo pórfido).
- Alteración Clorita – Sericita: (Asociación definida como sobreimposición en zonas de alteración potásica o de alta temperatura y relacionadas con zonas mineralizadas).
- Alteración Fílica: (Definida por la ocurrencia de sericita, cuarzo y pirita diseminada).

7.3.1 Alteración Potásica:

Esta alteración está representada por la presencia de biotita secundaria, color pardo oscuro y café intenso, presentándose de manera pervasiva selectiva, en parches aislados, en sectores con sobreimposición de alteración hidrotermal sericitica-cloritica sobre este mineral de alteración, con una intensidad de débil a moderada (Figura 27).

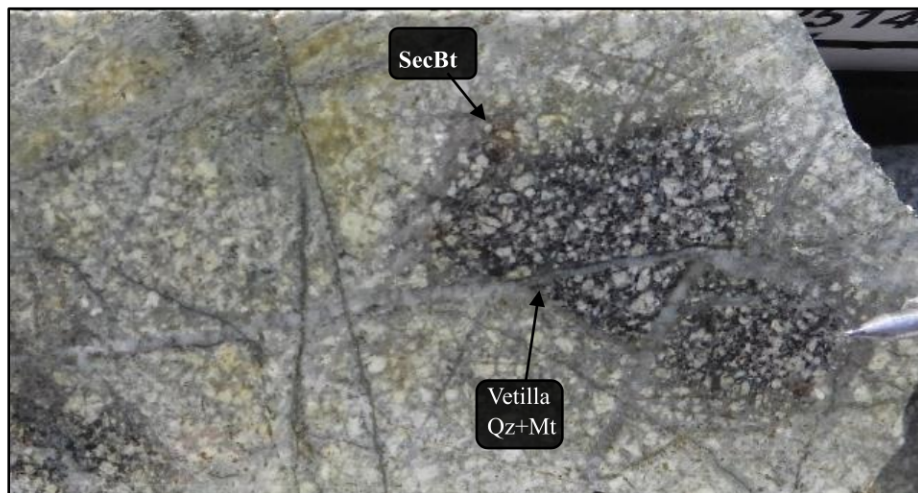


Figura 27. LLCO_010. Biotita secundaria (SecBt-marrón oscuro) selectiva, en parche, sobre diorita, y cortada por vetillas tipo pórfido, de cuarzo (Qz) y magnetita (Mt)+/-sulfuros finos.

7.3.2 Alteración clorita - sericita:

Esta alteración está representada por la presencia de clorita y sericita. La clorita presenta un color verde pálido, se observa de manera pervasiva y en vetillas principalmente. En la matriz de la BAM, se presenta alteración de sericita al tope, en la parte media alteración hidrotermal clorita -sericita, y clastos alterados a sericita con una intensidad fuerte. De igual manera, en la brecha, la clorita constituye el principal mineral en el cemento (Figura 28), siendo a su vez este mineral de alteración un indicador bajas temperaturas (Sillitoe, 2010), y se encuentra acompañado especialmente con la sericita (Figura 28), en algunas ocasiones se encuentra reemplazando la biotita y algunas hornblendas tabulares. En los cuerpos intrusivos es muy común verla en las venillas (Figura 29) y muchas veces acompañado de pirita generando un halo con una intensidad moderada, esta alteración va muy asociada a los minerales máficos y a los carbonatos en los pozos trabajados.



Figura 28. LLCO_006. Clorita (Cl) en cemento, con pirita (Py), en brecha hidrotermal polimíctica (diorita y cuarzodiorita). Profundidad 145.60m

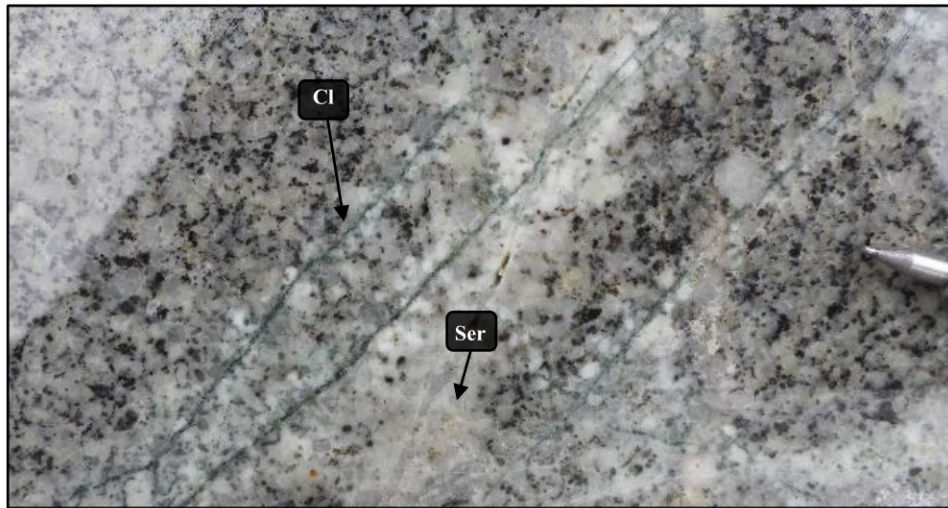


Figura 29. LLCO_006. Clorita (Cl) en venillas mm, cortando diorita media con alteración sericitita (Ser) moderada-fuerte. Profundidad 120.30m.

7.3.3 Alteración Fílica:

Es la alteración más común en los pozos, seguida por la alteración clorítica, mineral producto de la alteración hidrotermal de las plagioclasas, para este caso, se presenta de color blanco, textura arcillosa, se presenta de distintas formas dentro de los pozos logueados, de manera pervasiva, selectiva, en halo en vetillas, y en los tramos de las brechas se presenta en los clastos con una intensidad moderada. En las zonas de falla esta alteración se presenta con una intensidad fuerte. La alteración en los cuerpos intrusivos se encuentra alterando los cristales de plagioclasa (Figura 30), y en algunos tramos se encuentra controlada por estructuras generando halo de alteración (Figura 31), y también se observa una superposición en la alteración de la biotita secundaria.

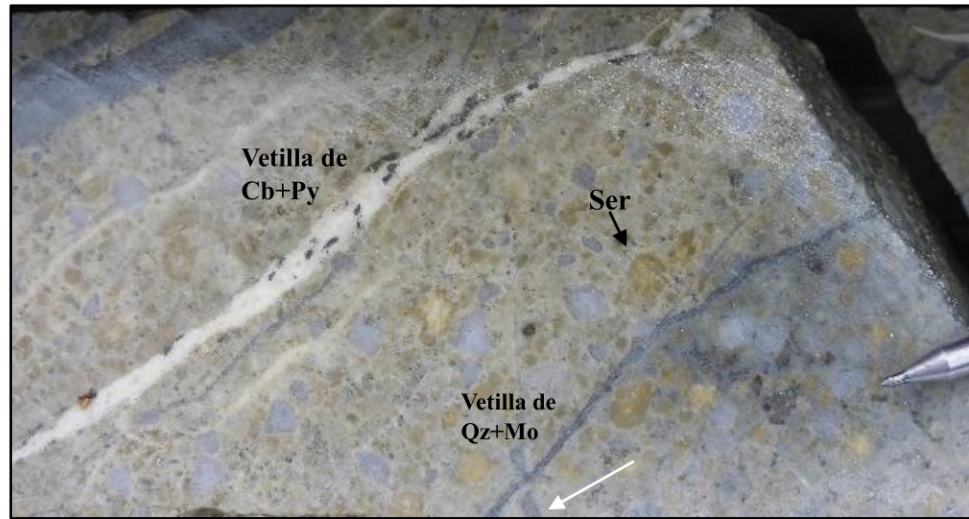


Figura 30. LLCO_006. Sericita (Ser) reemplazando plagioclasas (verde claro) en cuarzodiorita de grano medio, vetillas de carbonatos (Cb) con pirita (Py) y vetillas irregulares de cuarzo (Qz) con molibdenita (Mo). Profundidad: 90.50m

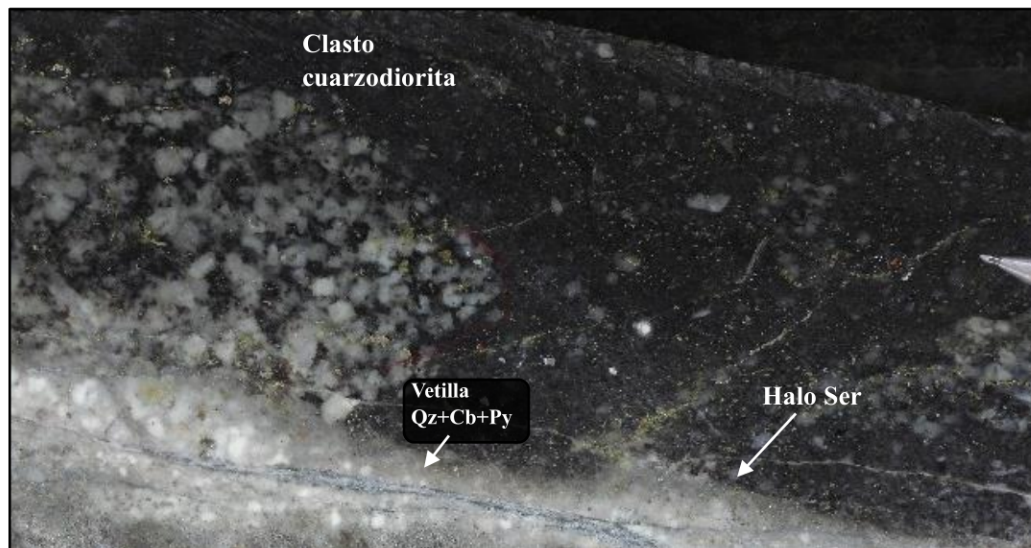


Figura 31. LLCO_005. Halo de sericita (Ser) en vetilla de cuarzo (Qz)-carbonato (Cb)-pirita (Py), en brecha hidrotermal con clasto de cuarzodiorita, sericita moderada en clasto de cuarzodiorita media. Profundidad: 110.25m

7.3.4 Alteración Supergénica

Esta alteración se genera gracias a la exposición subaérea que tiene la roca (Figura 32), a la interacción de los agentes atmosféricos, provocando en la roca oxidación fuerte de algunos sulfuros presentes (Óxidos de hierro) presentándose de manera

pervasiva y con una intensidad fuerte de color marrón y se observa en los primeros tramos de todos los pozos (Figura 33) aproximadamente de 25 metros a 30 metros de profundidad.



Figura 32. LLCO_005. Alteración supergena en saprolito. Profundidad: 02.00m



Figura 33. LLCO_005. Alteración supergena en saprolito. Profundidad 03.00m

7.4 Mineralización

La mineralización encontrada está representada principalmente por sulfuros de Fe, Cu, Pb, Zn, Mo, y Óxidos de hierro, (hematita, goetita, jarosita). Estos sulfuros corresponden a pirita, calcopirita, galena, esfalerita y molibdenita. Los estilos de esta mineralización son vetillas, diseminado, en parches, rellenando fracturas, en el cemento en las brechas hidrotermales y sobre planos o superficies de falla.

El mayor porcentaje de la mineralización se concentra en las brechas magmático - hidrotermales, preferencialmente en la brecha angular mineralizada (BAM), haciendo parte del cemento junto con la clorita, seguido de la mineralización estilo pórfido representado por las vetillas tempranas con cuarzo sacaroidal principalmente, a modo de clastos (diorita y cuarzodiorita) en las brechas polimícticas hidrotermales y en menor proporción sulfuros finos diseminados en algunos de los intrusivos de estas mismas composiciones.

7.4.1 Óxidos de Hierro (FeOX)

La mayor concentración de óxidos de hierro se presenta en los primeros metros (0m-20m) de los pozos descritos. Hematita y goetita fueron los principales óxidos encontrados seguido de jarosita, se presentan a modo de parches aislados, en algunas ocasiones presentando textura boxwork (Figura 34), en paredes de algunas vetillas con sulfuros y rellenando planos de fractura. Los colores varían de negro, rojo intenso, café oscuro, naranja y marrón (Figura 35).



Figura 34. LLCO_005. Óxidos de Hierro (hematita-goetita) en parche, con textura boxwork, en diorita media (QM). Profundidad: 08.50m.



Figura 35. LLCO_005. Óxidos de Hierro en parches sobre saprolito rocoso de diorita media (DM). Profundidad: 08.10m.

7.4.2 Calcopirita (Cpy)

Se presenta en forma diseminada y en parches aislados, tamaño de grano muy fino, color amarillo pálido con tonalidad verdosa (Figura 36), y se encuentra en muy poca proporción, a modo de trazas menores a 0.1%. En las brechas hidrotermales, aparece rellenando el cemento, junto con la pirita principalmente.

7.4.3 Galena (Ga)

Este mineral se encuentra asociado a estructuras CBM (Carbonates Base Metal) y la gran mayoría de las veces aparece junto a la esfalerita (Figura 37), en relación (Ga:3-Sph:1). De igual manera aparece en forma esporádica en el cemento en algunos tramos de la BAM, en venillas y diseminada. Su porcentaje en ocurrencia es muy bajo $\leq 0.1\%$ de abundancia. (Figura 37).

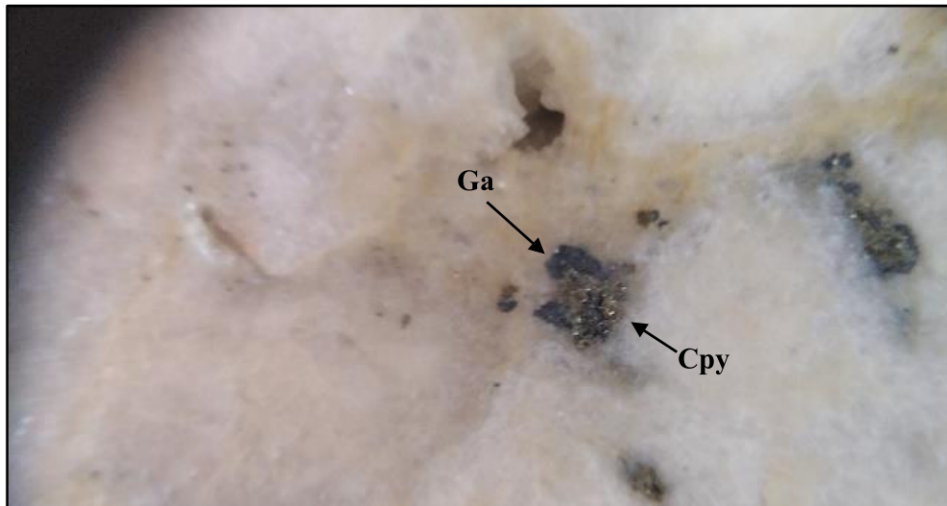


Figura 36. LLCO_006. Galena (Ga) y calcopirita (Cpy) en parche en diorita fina con sericita pervasiva. Profundidad: 89.20m.

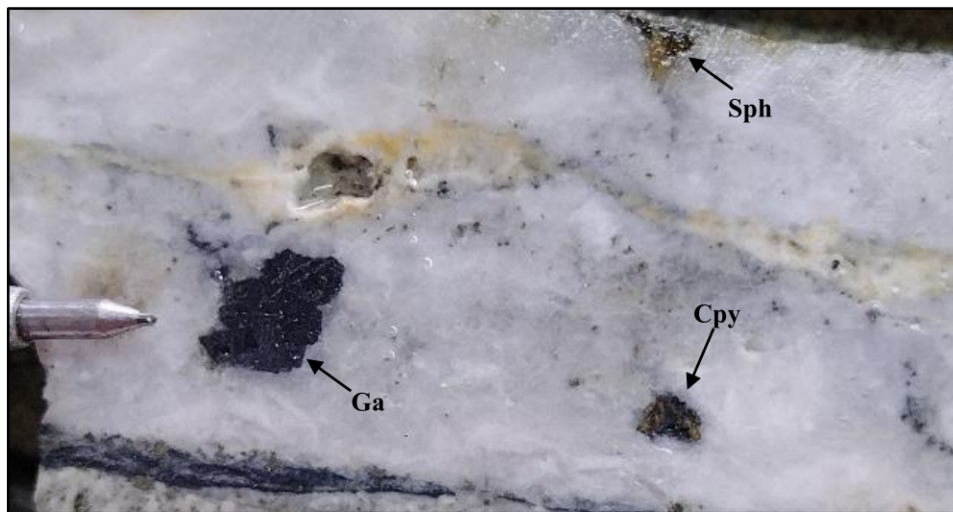


Figura 37. LLCO_005. Galena (Ga)+/-esfalerita (Sph) +/- calcopirita (Cpy) en parche, en la parte inferior vetilla con cuarzo y molibdenita, en diorita fina con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 299.90m

7.4.4 Molibdenita (Mo)

Mineral con poca ocurrencia en los pozos, se presenta a modo de trazas $\leq 0.1\%$, y se encuentra principalmente en venillas con cuarzo sacaroidal, venillas sinuosas de molibdenita (Figura 38), y diseminada de grano fino a muy fino (Figura 39).

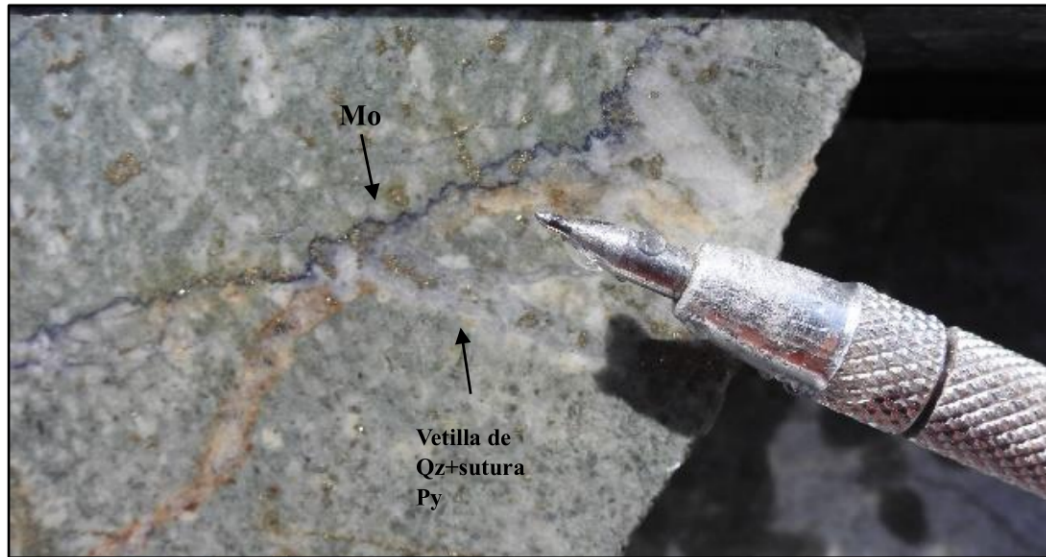


Figura 38. LLCO_010. Venilla irregular de molibdenita (Mo), vetilla de cuarzo (Qz) con sutura de pirita (Py) en cuarzodiorita con sericita verde pervasiva. Profundidad: 79.00m.

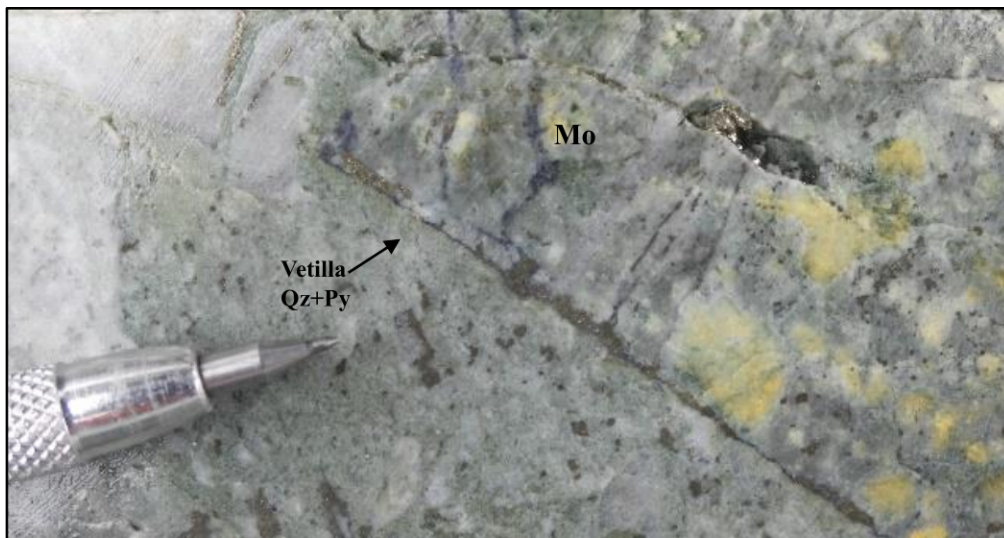


Figura 39. LLCO_006. Molibdenita (Mo) en vetillas irregulares con cuarzo (Qz) y pirita (Py) fina diseminada en cuarzodiorita. Profundidad: 85.00m.

7.4.5 Magnetita (Mt)

Este óxido de hierro se haya en todos los pozos logueados. Presenta un estilo de mineralización diseminado en masa fundamental principalmente, en parches (Figura 40), y en vetillas con cuarzo y sulfuros finos (Figura 41). Su porcentaje varía entre 0.1% y 0.6%.

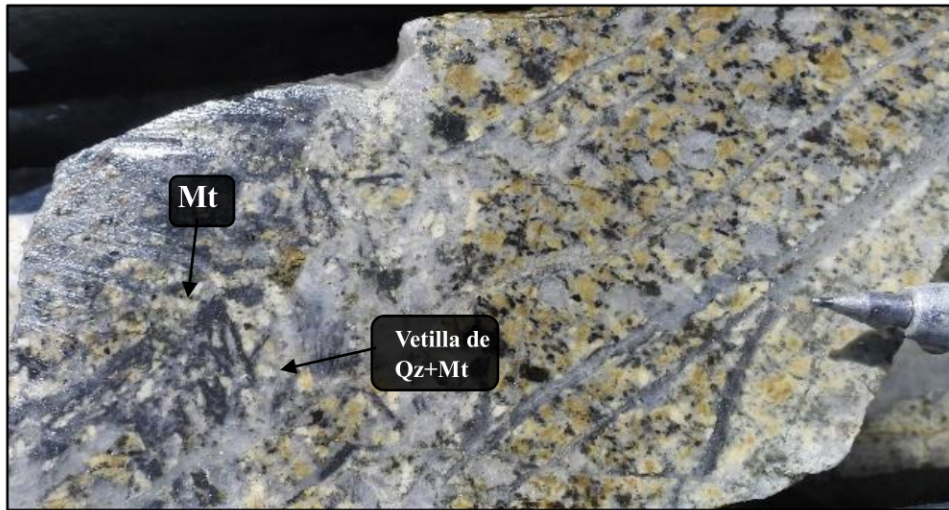


Figura 40. LLCO_010. Magnetita (Mt) en vetillas con cuarzo (Qz) (borde), diseminada y en parches en Q1. Profundidad: 217.20m.

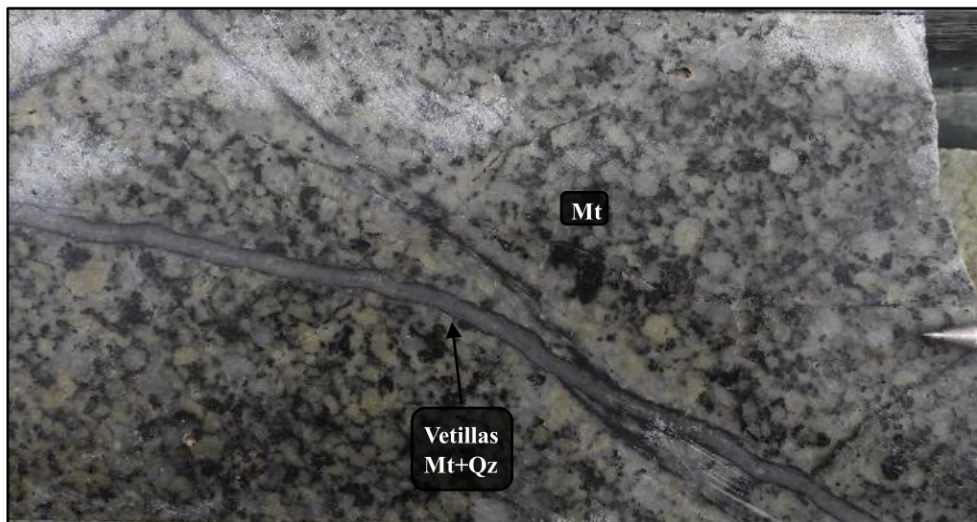


Figura 41. LLCO_006. Vetilla de cuarzo (Qz) con borde de magnetita (Mt), y magnetita diseminada (parches negros) en Q1. Profundidad: 43.50m.

7.4.6 Pirita (Py)

Es el mineral más abundante en los pozos trabajados, presentando varios tamaños de grano que van de fino a grueso (Figura 42). El estilo de mineralización de este sulfuro se presenta diseminada, en venillas (Figura 43), en venilla milimétrica (Figura 44), parches, sobre planos de fractura (Figura 45), en los tramos que se presenta brecha se encuentra en el cemento, aunque este mineral no es muy indicativo para determinar alguna temporalidad.



Figura 42. LLCO_006. Pirita (Py) masiva en cuarzodiorita media con sericita fuerte. Profundidad: 31.25m

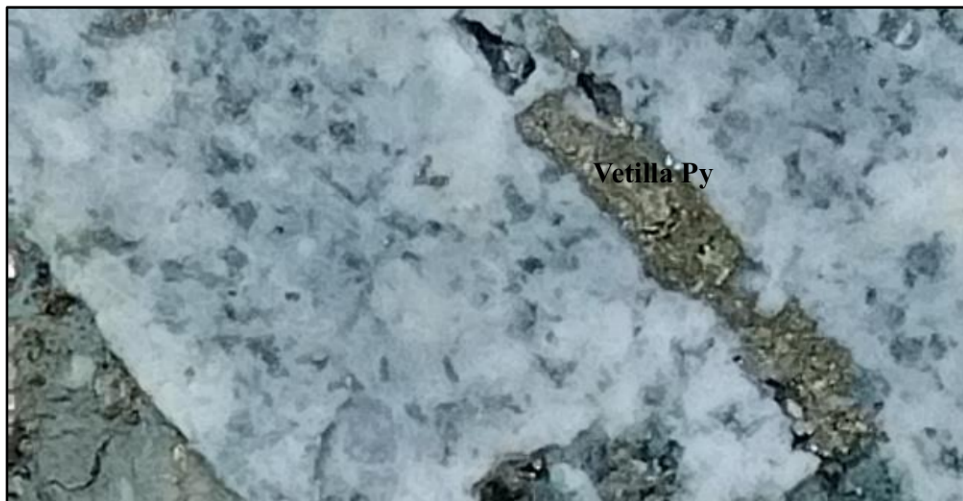


Figura 43. LLCO_001. Pirita (Py) en vetilla cortada en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 59.50m.

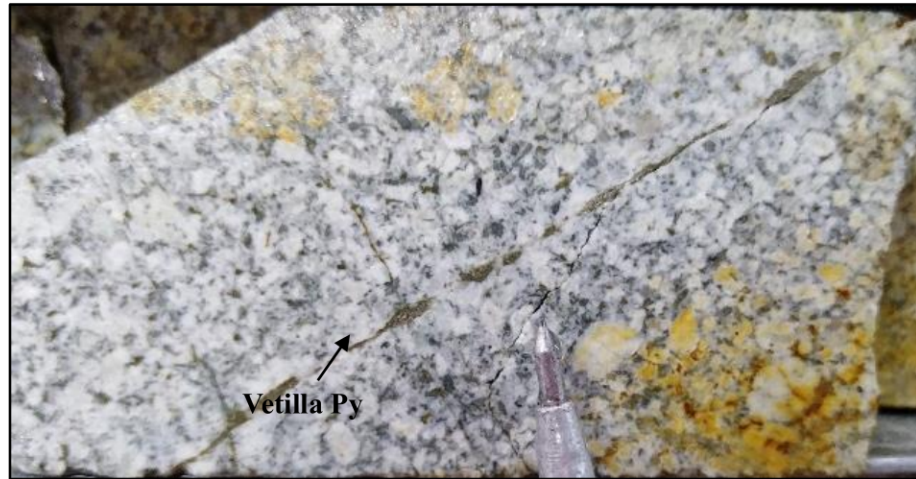


Figura 44. LLCO_001. Vetilla mm de pirita (Py) en cuarzodiorita media (QM) con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 49.40m.

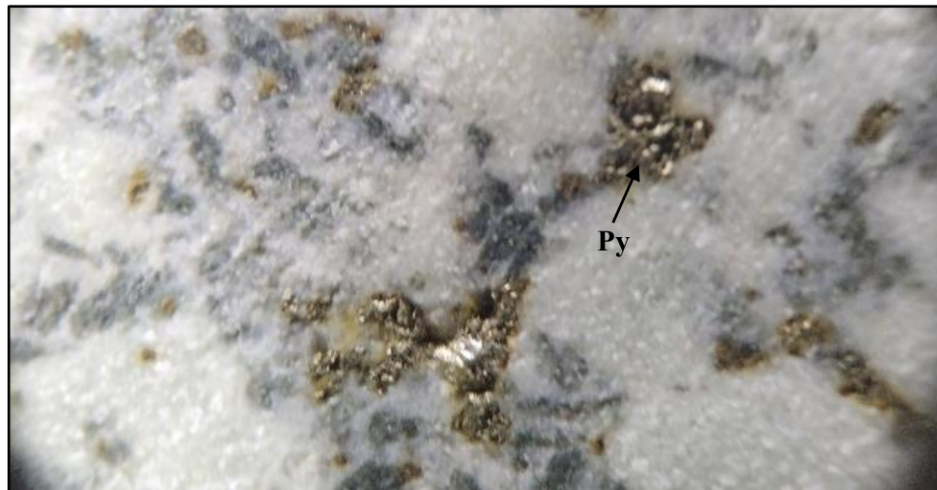


Figura 45. LLCO_010. Pirita (Py) gruesa en parche rellenando oquedades en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 80.00m.

7.4.7 Esfalerita (Sph)

En porcentaje es el mineral en menor proporción en los pozos $\leq 0.1\%$. Presentando un estilo de mineralización en venillas con cuarzo y carbonato (Figura 46), diseminada, y rellenando CBM (Carbonates Base Metal) (Figura 47). En las brechas hidrotermales aparece haciendo parte del cemento, junto con la clorita,

pirita y +/- calcopirita. Junto con la galena, la esfalerita aparece acompañada en estructuras tipo vetillas en varias ocasiones con carbonatos y cuarzo masivo.

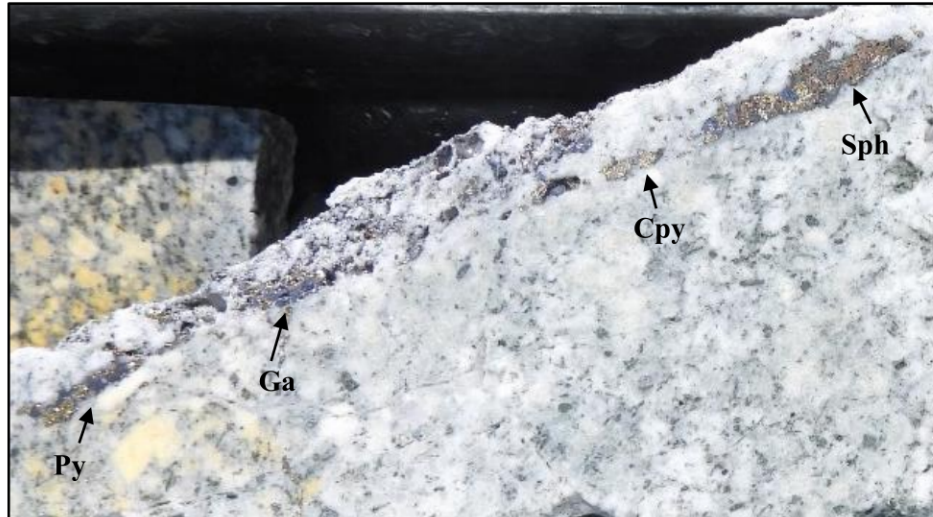


Figura 46. LLCO_010. Vetilla de Ga+Sph+Cpy+Py+Cb+Qz (CMB=Carbonates Base Metal) en cuarzodiorita media (QM) con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 150.30m.

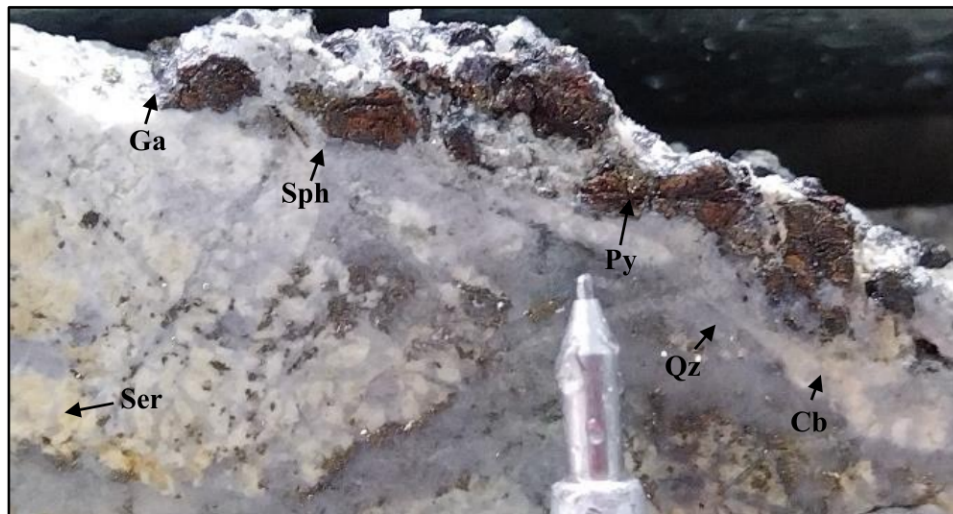


Figura 47. LLCO_006. CBM (Carbonates Base Metal), Ga+Sph+Py+Cb+Qz en cuarzodiorita gruesa (Q1) con sericita (Ser) pervasiva fuerte y Stockwork de vetillas de grueso con sulfuros. Profundidad: 200.10m.

7.5 Tipo de estructuras mineralizadas

Las principales estructuras observadas en los pozos logueados fueron vetillas de diferentes composiciones y texturas (Qz, Qz+Py, Qz+Py+/-Cpy, Qz+Mo, Qz+Mt, Ep+Chl) y fallas.

7.5.1 Vetillas de cuarzo – asociadas a mineralización estilo pórfido:

Representa las estructuras de mayor abundancia en los sondajes logueados, y representan la estructura de mayor interés y relevancia. Estas vetillas se encuentran alojadas principalmente en las cuarzodioritas y en las brechas magmático – hidrotermales (Figura 48), en los clastos de composición cuarzodiorita y en menor volumen en los clastos de diorita. Texturalmente se observa el cuarzo mayoritariamente con textura sacaroidal “*sugary quartz*” acompañado de sulfuros y alteración hidrotermal asociada, sericita principalmente, y menos común en los pozos el cuarzo masivo, traslucido, este último casi siempre sin presencia de sulfuros y alteración hidrotermal incipiente. Las vetillas de cuarzo se presentan con diferente composición (presencia de sulfuros), acompañando el cuarzo se encuentran sulfuros como Py, Cpy, Ga, Sph, Mo, Apy, Po y Mt principalmente.

En algunos tramos de la BAM (Brecha Angular Mineralizada), en clastos de cuarzodiorita media, aparecen en forma el enrejado típico Stockwork (Figura 49), y en algunos sectores de los pozos, aparecen en forma discontinua, irregular, y sinuosa continua, formando stockwork y cortándose entre sí (Figura 50), de igual manera se presentan de forma sinuosa, subparela entre estas mismas, cortadas a su vez por vetillas de cuarzo (Figura 51), sirviendo esto último de gran ayuda para tratar de determinar temporalidad de los diferentes eventos magmáticos mineralizantes.

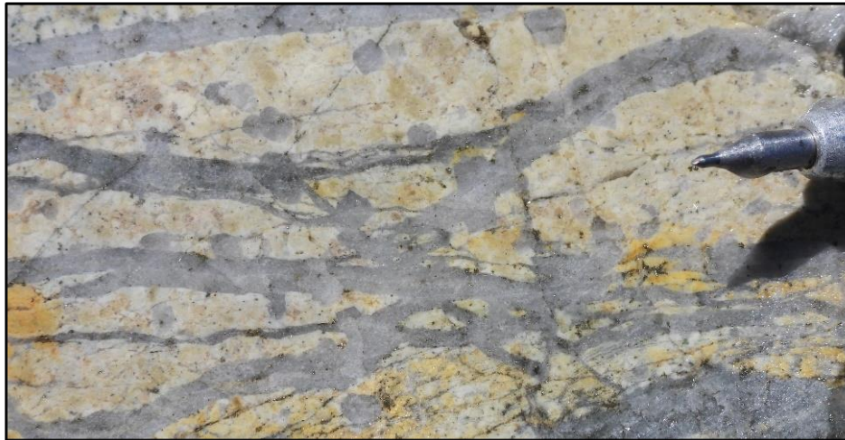


Figura 48. LLCO_010. Vetillas de cuarzo alojadas en Q1 con alteración sericitica pervasiva. Profundidad: 207.30m



Figura 49. LLCO_006. Vetillas de cuarzo, cuarzo (Qz)+magnetita (Mt) en stockwork sobre clastos de cuarzodiorita media. Profundidad 107.40m.



Figura 50. LLCO_006. Stockwork de vetilla de cuarzo (Qz)+ magnetita (Mt) y sulfuros sobre cuarzodiorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 115.35m.



Figura 51. LLCO_010. Vetilla de cuarzo (Qz) con sutura de pirita (Py) cortando vetillas de cuarzo subparalelas en diorita media con sericita pervasiva fuerte. Profundidad: 206.00m.

7.5.2 Vetillas de pirita con halo de sericita y albita:

Este tipo de vetillas se encuentra a lo largo de los pozos, siendo muy común su presencia, y corresponde a vetillas de pirita, pirita +/- calcopirita fina con halo de sericita y albita (Figuras 52 y 53). Estas vetillas en algunos intervalos de los pozos, se encuentran cortadas y desplazadas por vetillas de cuarzo con magnetita en los bordes (Figuras 53). Se presentan en forma subparalela “*sheeted veins*” (Figura 53).

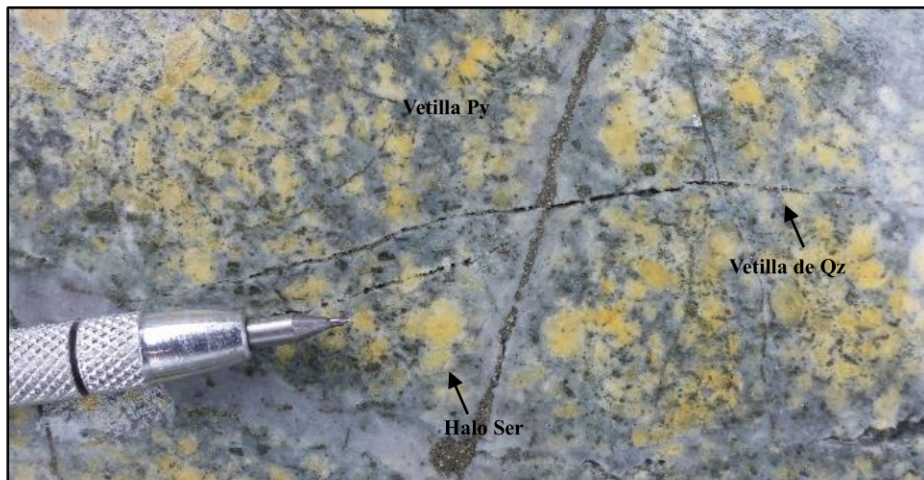


Figura 52. LLCO_006. Vetilla de pirita (Py) fina con halo de sericita (Ser) y albita, cortada y desplazada por vetilla de cuarzo (Qz) en diorita media con sericita pervasiva moderada. Profundidad: 113.55m.

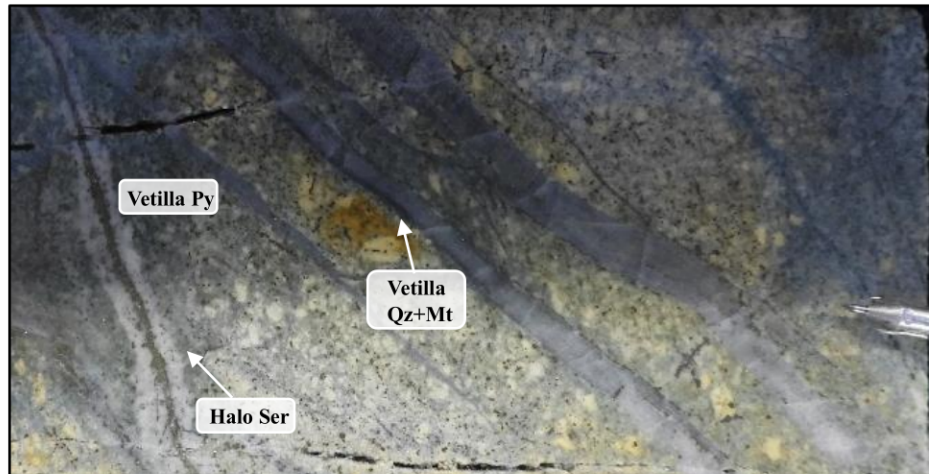


Figura 53. LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) con halo de sericita (Ser) y albita (izq), y vetillas de cuarzo (Qz) con bordes de magnetita (Mt), subparalelas (sheeted veins), en diorita media con sericita pervasiva media. Profundidad: 80.50m.

7.5.3 Vetilla de cuarzo y magnetita:

Vetillas de magnetita + cuarzo se presentan en forma sinuosa, y subparalelas “*sheeted veins*” cortando otro tipo de vetillas, (vetillas de cuarzo + magnetita, vetillas de cuarzo y vetillas de clorita), siendo estas de menor espesor (Figura 54), evidenciando temporalidad en varios eventos magmáticos representados por estas vetillas. La magnetita se observa en la mayoría de las ocasiones hacia los bordes de la vetilla y diseminada de grano fino en la masa fundamental de la roca caja (Figura 55).

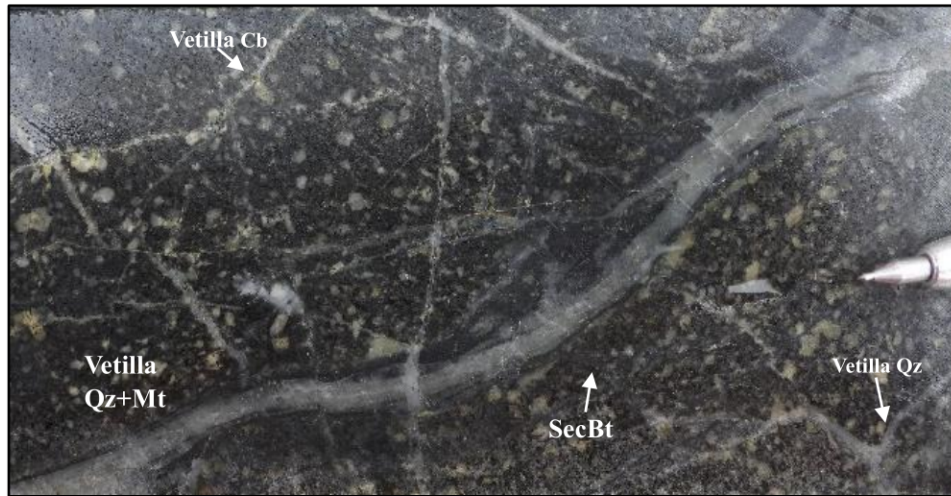


Figura 54. LLCO_006. Vetilla de cuarzo (Qz) con bordes de magnetita (Mt), sobre diorita media con biotita secundaria (SecBt) y magnetita muy fina, presenta vetillas milimétricas de cuarzo y carbonatos (Cb). Profundidad: 95.35m.

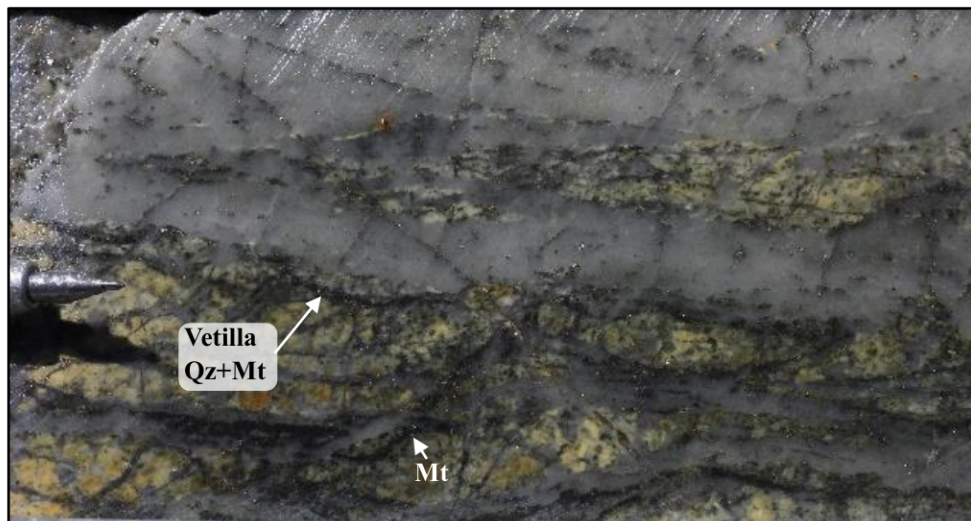


Figura 55. LLCO010. Stockwork de vetillas de cuarzo (Qz)+magnetita (Mt). cuarzo con sulfuros finos y magnetita, sobre diorita media con alteración hidrotermal sericita pervasiva moderada. Profundidad: 70.65m.

7.5.4 Vetillas de pirita y molibdenita:

Este tipo de vetillas en los pozos descritos e presentan con sulfuros de pirita y +/- molibdenita fina principalmente con halo de sericita y albita (Figura 56), su forma varia, presentándose de manera +/- recta (Figura 56), subparalelas e irregulares (Figura 57), con un espesor variable entre 1mm y 2mm.

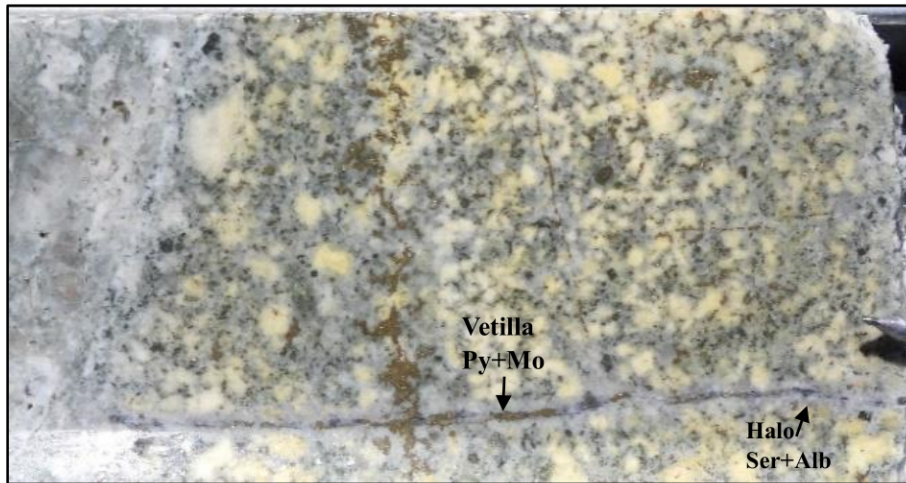


Figura 56. LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) y molibdenita (Mo) +/- recta con halo de sericita (Ser) y albita (Alb) en cuarzodiorita media con sericita pervasiva moderada. Profundidad: 78.80m.

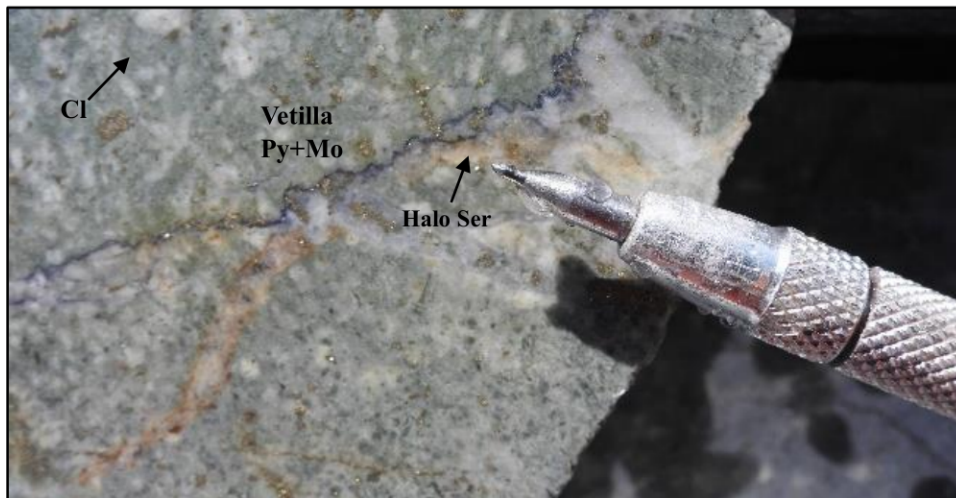


Figura 57. LLCO_010. Vetilla de pirita (Py) y molibdenita (Mo) con halo de sericita (Ser), de forma irregular y sinuosa en cuarzodiorita media con clorita (Cl) pervasiva fuerte. Profundidad: 90.20m.

7.5.5 Vetillas de carbonatos

Este tipo de vetillas son muy frecuentes en todos los pozos trabajados, son milimétricas, rectas en la gran mayoría de las ocasiones, vienen acompañadas por sulfuros como Py+/-Cpy+/-Mo, y presentan algunas de estas vetillas halo de sericita color blanco y verde (Figura 58).

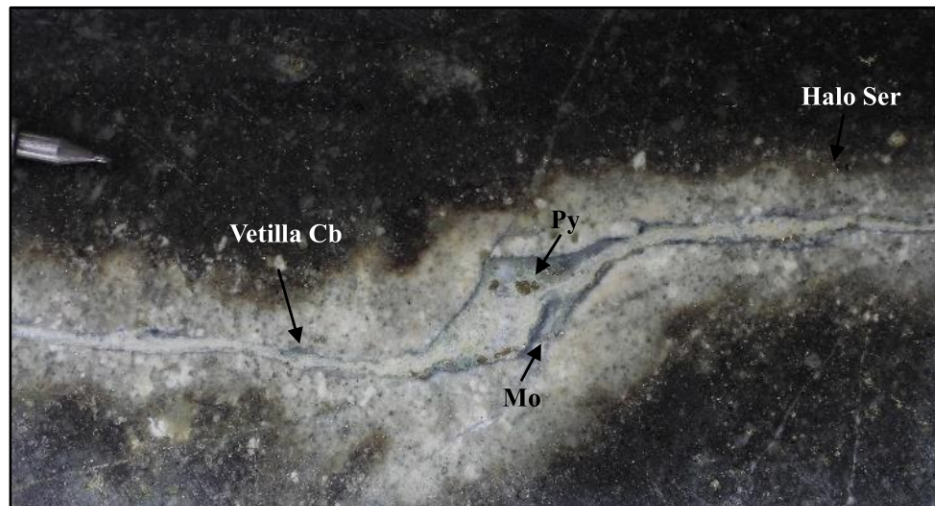


Figura 58. LLCO_005. Vetilla de carbonatos (Cb) + Py+/-Mo, presenta halo de sericita (Ser), en diorita fina con biotita secundaria pervasiva fuerte en la masa fundamental. Profundidad: 140.85m.

7.5.6 Fallas

Denominadas en este trabajo como BXT, de aproximadamente 1-3 metros de espesor, y caracterizadas por presentar roca molida y harina de roca en algunos tramos de los pozos trabajados, presentan relleno de arcilla blanca/gris (Figura 59), en ocasiones con sulfuros molidos o triturados. En algunos pozos pone en contacto diferentes litologías y en otros tramos ayudan a la circulación de fluidos hidrotermales, facilitando la mineralización o depositación de estos mismos. La alteración principal asociada es sericita pervasiva fuerte, controlada por la estructura.

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.



Figura 59. LLCO_005. Falla (BXT). Roca triturada y molida con sericita pervasiva fuerte controlada por la estructura. Profundidad: 85.30m.

8. Perfiles

Con la ayuda del software Leapfrog, se plotearon los diferentes datos almacenados en tablas de Excel, mediante el logueo detallado realizado en los 4 pozos de roca (LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010) que corresponden al target o blanco de exploración en discusión.

A partir del procesamiento de estos datos en Leapfrog, se obtuvieron los diferentes perfiles: litología, alteración hidrotermal, mineralización y tipo de estructuras mineralizadas respectivamente, para así, de esta manera, realizar las respectivas interpretaciones y correlaciones de cada perfil, y obtener finalmente una información más detallada y sólida para determinar zonas de interés económico y nuevas propuestas de exploración.

8.2 Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de litología de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010

A partir de este perfil se obtuvo la gráfica de las diferentes litologías presentes en los pozos arriba mencionados de manera vertical, y ubicados sobre el perfil los puntos de inicio de perforación de cada uno de los sondajes. De manera visual, se puede apreciar el predominio de la BAM (Brecha Angular Mineralizada) en color azul oscuro en los pozos LLCO_006 y LLCO_010 respectivamente, así mismo, estos dos pozos en su parte final, tienen un dominio de cuarzodiorita gruesa (Q1) en color rosa, y de igual manera, un dominio de cuarzodiorita media (QM) en color verde brillante, al inicio de estos dos pozos, incluyendo el pozo LLCO_005, que a su vez, este último pozo mencionado, en sus segmentos finales de perforación, predomina cuarzodiorita fina (QF) color palo de rosa, con una intercalación de diorita media (DM) color café anaranjado. El pozo LLCO_001 en sus metros iniciales presenta intercalación de Brecha Angular Mineralizada (BAM) con cuarzodiorita fina (QF), en su profundidad intermedia presenta un dominio de diorita media (DM), y hacia su parte final un predominio de diorita fina (DF) color amarillo, y diorita gruesa (DG) color azul claro al final del pozo.

En relación a la presencia de fallas geológicas mapeadas en los 4 pozos, cabe destacar y resaltar que los pozos LLCO_001, LLCO_006 y LLCO_010 presentan algunas fallas locales menores, en sus partes iniciales, medias y finales, ya en lo que respecta al pozo LLCO_005, este presenta algunas estructuras de este tipo, la primera en la parte inicial, que corta cuarzdiorita media (QM), en la parte media coloca en contacto fallado a la Brecha Angular Mineralizada (BAM) y la cuarzdiorita media (QM).

8.3 Representación gráfica descripción e interpretación de los perfiles de alteración hidrotermal de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010

El pozo LLCO_001 presenta un dominio marcado y claro de alteración de biotita secundaria (color café oscuro), con dos intercalaciones importantes de sericita (color naranja), una al inicio del pozo, y la segunda en la parte intermedia.

Los pozos LLCO_005 y LLCO_006 tienen un predominio en alteración hidrotermal de clorita y sericita, con algunos intervalos de alteración de biotita secundaria, tanto al inicio, parte media y final de ambos pozos de perforación. En la parte intermedia a final del pozo LLCO_005, se observa un tramo de aproximadamente 30-50 metros de roca fresca (color azul claro), que corresponde a cuarzdiorita gruesa (Q1).

El pozo LLCO_010 intervalos intercalados con alteración hidrotermal de clorita y sericita, en los metros iniciales predomina la alteración de sericita, hacia la parte intermedia hay un dominio de clorita, y en adelante hacia la parte final del pozo, se vuelve a presentar la intercalación por intervalos de metros de clorita y sericita. En la parte inicial y en la parte final del pozo, se presentan dos pequeños intervalos (2-4m) de biotita secundaria.

De manera general, se puede concluir que en el pozo LLCO_001 el dominio de alteración hidrotermal es biotita secundaria, con dos intervalos de sericita separados en la parte inicial e intermedia del pozo. Los pozos LLCO_005 y LLCO_006 presentan importante alteración clorita y sericita, presentándose de manera intercalada a lo largo de ambos sondajes, y algunos intervalos de biotita secundaria

en menor proporción. El pozo LLCO_010 predomina la alteración de clorita, con intervalos importantes de sericita y algunos pequeños metros aislados de biotita secundaria.

8.4 Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de mineralización de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010.

Se graficaron en Leapfrog los datos de la mineralización presente en los pozos arriba mencionados, agrupando esta mineralización en pares de minerales (sulfuros), y de acuerdo a las anteriores asociaciones o conjuntos de minerales, se obtuvieron tres (3) perfiles de mineralización:

8.4.1 Perfil de mineralización Pirita (Py) - Calcopirita (Cpy)

La pirita es el sulfuro más abundante en todos los pozos, presentándose de manera diseminada, en vetillas y en parches principalmente, variando de tamaño fino-medio-grueso, en forma masiva en algunos tramos, la calcopirita se presenta en muy poca proporción, a modo de trazas $\leq 0.1\%$, de manera diseminada en parches aislados y en vetillas, en tamaño mayoritariamente fino a muy fino

8.4.2 Perfil de mineralización Magnetita (Mt) – Molibdenita (Mo)

En el pozo de perforación LLCO_001, las proporciones en porcentaje % de Mt y Mo, son relativamente similares, siendo un poco mayor la ocurrencia de molibdenita (Mo). Ambos minerales se presentan principalmente en vetillas y diseminada. La magnetita en ocasiones hace parte o conforma la masa fundamental en rocas con textura porfírica de manera diseminada, presentando un tamaño de grano fino – muy fino.

En el pozo LLCO_010 el porcentaje importante de magnetita (Mt) se ve reflejado en los metros finales del sondaje, a modo de vetillas de cuarzo y magnetita, la molibdenita (Mo) su distribución a lo largo del pozo se hace un poco más uniforme y constante, teniendo unos intervalos sin su presencia, principalmente

en los metros iniciales y en algunos tramos al intermedio, regularmente su presencia se da en vetillas con cuarzo, magnetita, y en menor proporción diseminada.

En el pozo LLCO_006 los porcentajes más altos de magnetita (Mt) se ven reflejados en los metros iniciales y finales del pozo, en los intervalos intermedios es un poco más abundante la molibdenita (Mo), ambos minerales su ocurrencia es en vetillas con cuarzo, y diseminada, apareciendo la Mt también en la masa fundamental en cuarzodioritas y dioritas respectivamente.

El pozo LLCO_005 el porcentaje de magnetita (Mt) y molibdenita (Mo) se incrementa, a comparación de los otros tres (3) pozos, siendo mayor el porcentaje de Mt en comparación a la Mo, aunque cabe resaltar que este porcentaje se incrementa debido a la presencia de la Mt en la masa fundamental en los cuerpos intrusivos con textura porfirítica (cuarzodiorita y diorita), considerándola como de origen magmático, y la Mt que aparece en vetillas de origen hidrotermal, se considera secundaria. La molibdenita (Mo) aparece en vetillas tipo pórfido (Sillitoe, 2010), y diseminada.

8.4.3 Perfil de mineralización Galena (Ga) – Esfalerita (Sph)

Su manifestación se da principalmente en mayor porcentaje en los pozos LLCO_001 y LLCO_010, siendo en el pozo 001 la ocurrencia de vetillas CBM (Carbonates Base Metal) en la parte inicial del pozo, en el pozo 010 en los intervalos intermedio y finales, siendo las fases finales del sondaje las de mayor ocurrencia de estos dos sulfuros. Las proporciones entre la Galena (Ga) y la esfalerita (Sph) son relativamente iguales en estos dos pozos, predominando un poco más la Ga, en una relación 2:1 aproximadamente.

El pozo LLCO_006 presente manifestaciones de Ga y Sph en dos pequeños intervalos, hacia la parte intermedia el primero, y hacia el final del pozo la segunda.

El pozo LLCO_005 no presenta casi manifestación o aparición de estos dos sulfuros, solo unas pequeñas trazas de reflejan hacia la parte final del pozo.

8.5 Representación gráfica, descripción e interpretación de los perfiles de tipo de estructuras mineralizadas de los pozos: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010

Las principales estructuras mapeadas en los cuatro (4) pozos o sondajes de perforación, corresponden a fallas y vetillas de cuarzo principalmente relacionadas a mineralización estilo pórfido, estas últimas compuestas en su gran mayoría por cuarzo, y cuarzo más sulfuros (Py-Cpy) y Mt. Presentando un estilo de mineralización en forma diseminada, rellenando líneas céntricas de sutura y en halo.

En el pozo LLCO_001 las principales estructuras son vetillas milimétricas de pirita (Py), seguidas por vetillas de cuarzo y en menor proporción vetillas de carbonatos y una pequeña zona de falla (BXT) ubicadas al final del pozo.

El pozo LLCO_005 presenta mayoritariamente tramos o intervalos métricos importantes con vetillas de cuarzo (Qz_vnlet), de pirita (Py-vnlt), cuarzo+pirita con halo de sericita, y cuarzo + magnetita, y finalizando el pozo predominan las vetillas milimétricas de clorita.

El pozo LLCO_006 inicia con un intervalo importante de vetillas de cuarzo (Qz_vnlt), seguido por un intervalo de vetillas de molibdenita (Mo_vnlt) y de vetillas de cuarzo+pirita+galena+esfalerita (Qz_vnlt+Sph+Ga+Py), en adelante se presenta a lo largo del pozo, intercalaciones con tramos de vetillas de cuarzo, pirita, magnetita, carbonatos, siendo más representativas y en mayor proporción las vetillas de cuarzo (Qz_vnlt).

El pozo LLCO_010 es más variado en cuanto a la ocurrencia en las vetillas, está constituido por intercalaciones de intervalos de pocos metros (2-3) de vetillas de cuarzo, pirita, pirita+/-calcopirita, magnetita, hacia la parte final del pozo aparece un tramo importante con vetillas de magnetita.

9. Geoquímica

Utilizando el software IoGAS se plotearon los resultados químicos de algunos elementos traza de los cuatro (4) pozos relacionados en el presente documento. A partir de las gráficas obtenidas se correlacionaron las diferentes litologías presentes en los sondajes trabajados, diferenciando y agrupando estas litologías con base en el aumento (picos) y disminución de estos elementos químicos. Los elementos con los que se realizaron las respectivas graficas son los siguientes:

- Escandio (Sc): unidades representadas en la gráfica en partes por millón (ppm).
- Torio (Th): unidades representadas en la gráfica en partes por millón (ppm).
- Vanadio (V): unidades representadas en la gráfica en partes por millón (ppm).
- Titanio (Ti): unidades representadas en la gráfica en porcentaje (pc).
- Fosforo (P): unidades representadas en la gráfica en partes por millón (ppm).
- Azufre (S): unidades representadas en la gráfica en porcentaje (pc).

9.2 Análisis y comparación geoquímica de elementos traza del pozo LLCO_001

Realizando el análisis geoquímico se observa un aumento en Sc, Th, V y una disminución Ti, P y S en la cuarzodiorita fina (QF) en los metros iniciales del pozo (20-35m) (Figura 60). En el contacto entre QF y BAM, se nota el enriquecimiento en S, apreciado visualmente este incremento por la presencia en este intervalo de sulfuros (Py principalmente), así mismo la disminución de S cuando cambia de BAM a QF; estas características y contrastes en los valores geoquímicos de estos elementos constituyen una herramienta útil y soporta la zona puntual donde se presentan los cambios litológicos o contacto entre estas dos litologías. En el intervalo (50-70m) de la BAM (Figura 60), se observa un aumento significativo de P y S. En algunos intervalos (235-238) de zona de falla (BXT), se observa un incremento en Sc, Ti y S (Figura 60).

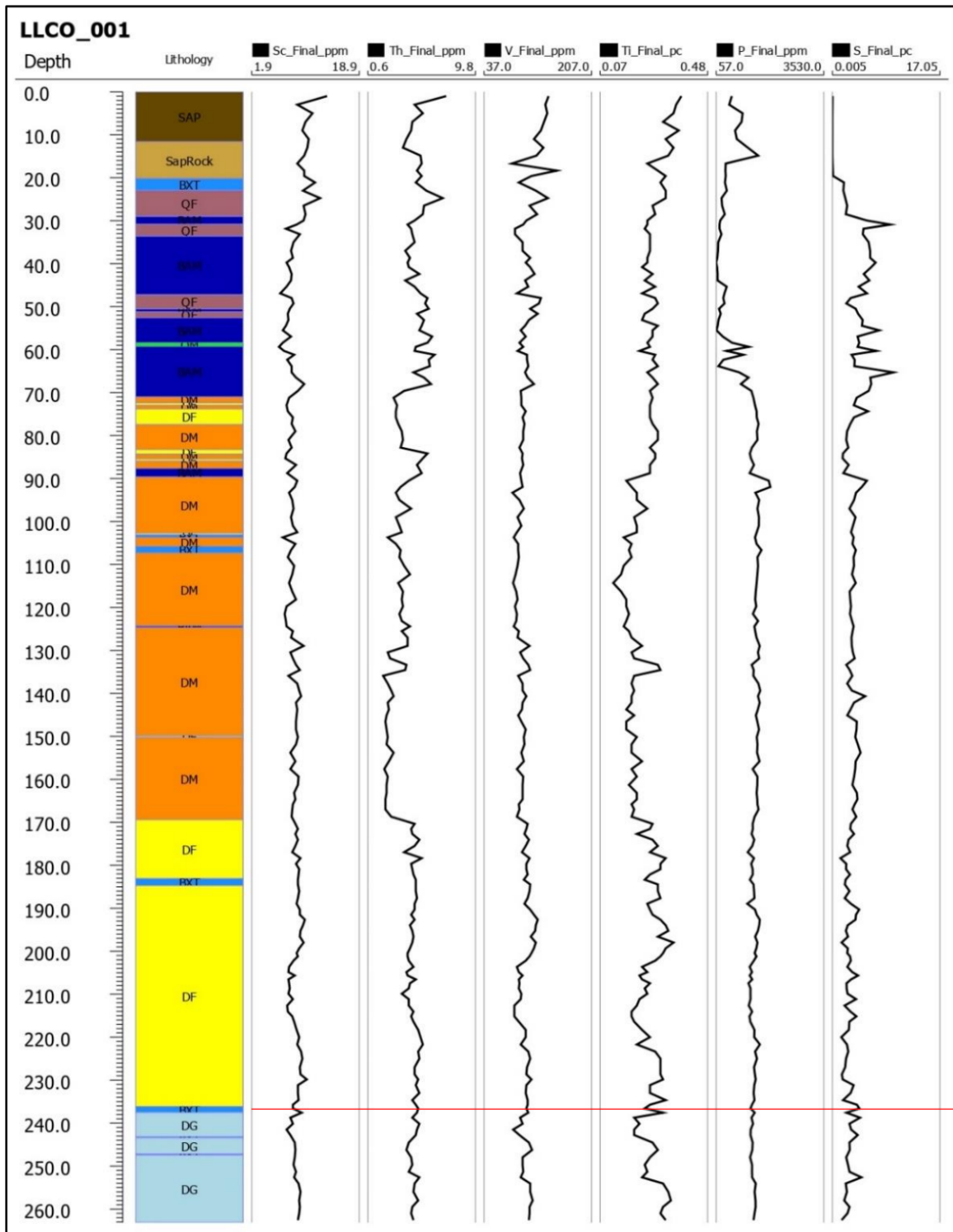


Figura 60. Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_001 en IoGAS.

9.3 Litogeoquímica Pozo LLCO_005

En el intervalo (68-75m) se presenta un incremento fuerte de Sc, Th y V, adicionalmente se presenta una disminución en Ti, P y S, lo que nos marca un contacto litológico entre BXT (falla) y BAM (Brecha Angular Mineralizada) (Figura 61). A los 148m se observa una disminución significativa en Sc, Th, V y Ti, indicando cambio litológico, pasando de BAM a Q1 (cuarzodiorita gruesa) (Figura 61). En el metro 288 se presenta un enriquecimiento en Sc, Th, V, Ti, y P, marcando un cambio litológico, pasando de Q1(cuarzodiorita gruesa) a QF (cuarzodiorita fina) (Figura 61). En el metro 317 se observa incremento en Sc, Th y Ti, indicando cambio litológico de DM (diorita media) a QF (cuarzodiorita fina) (Figura 61).

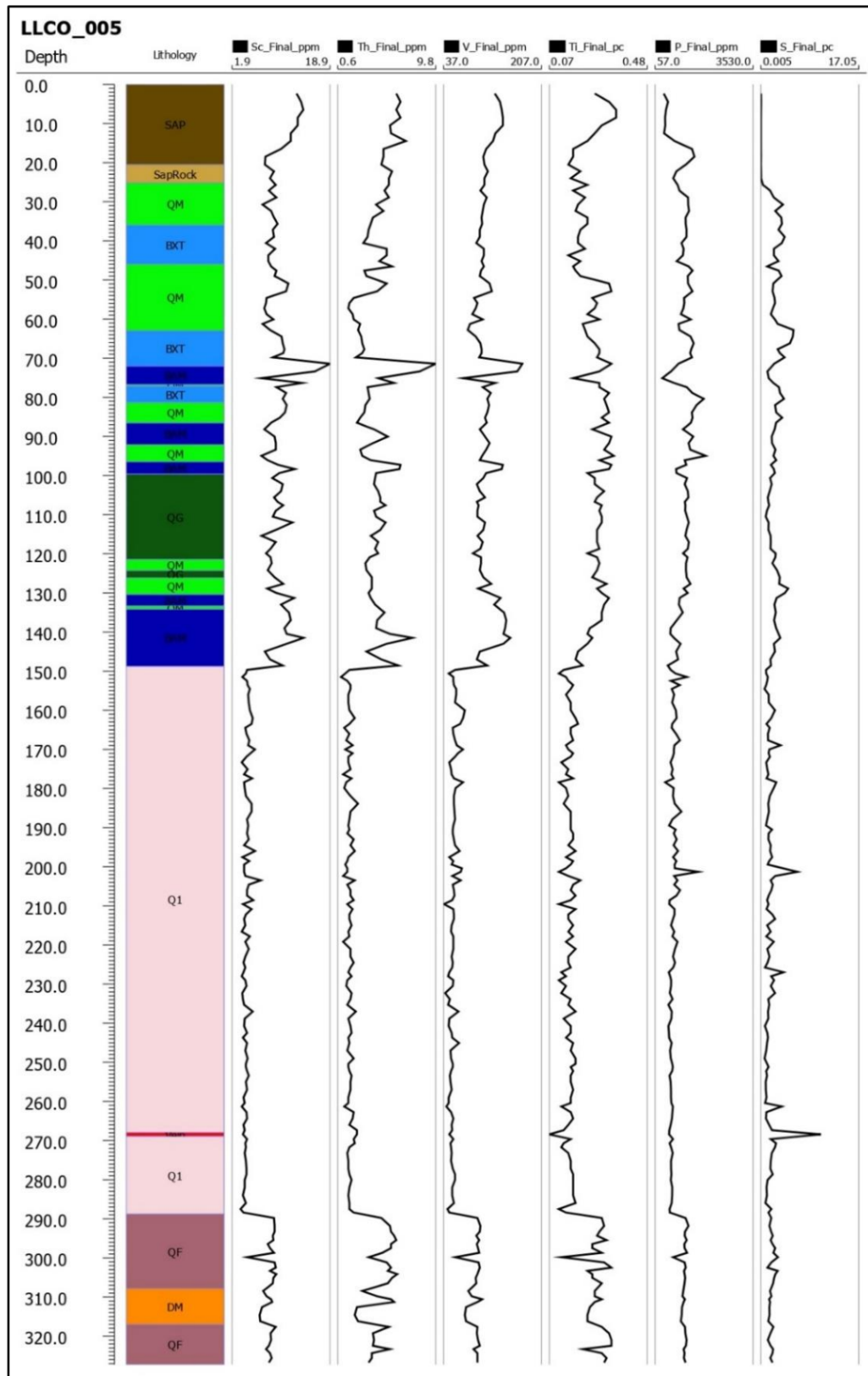


Figura 61. Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_005 en IoGAS.

9.4 Litogeoquímica Pozo LLCO_006

Los contactos litológicos más importantes en este pozo están representados en la aparición y desaparición de la BAM (Brecha Angular Mineralizada) (Figura 62). En el metro 65 se marca una disminución en Sc, Th, V, Ti, y en el mismo metro un aumento fuerte en S, denotado por la presencia de sulfuros en este tramo del pozo (Figura 62). En el metro 190m se observa un aumento en Sc, Th, V y Ti, significando este incremento el contacto entre la BAM y Q1 (Figura 62). En el metro 202 se marca contacto litológico entre QF y QG representado por el incremento de Sc, Th, V, Ti, P y S, (Figura 62).

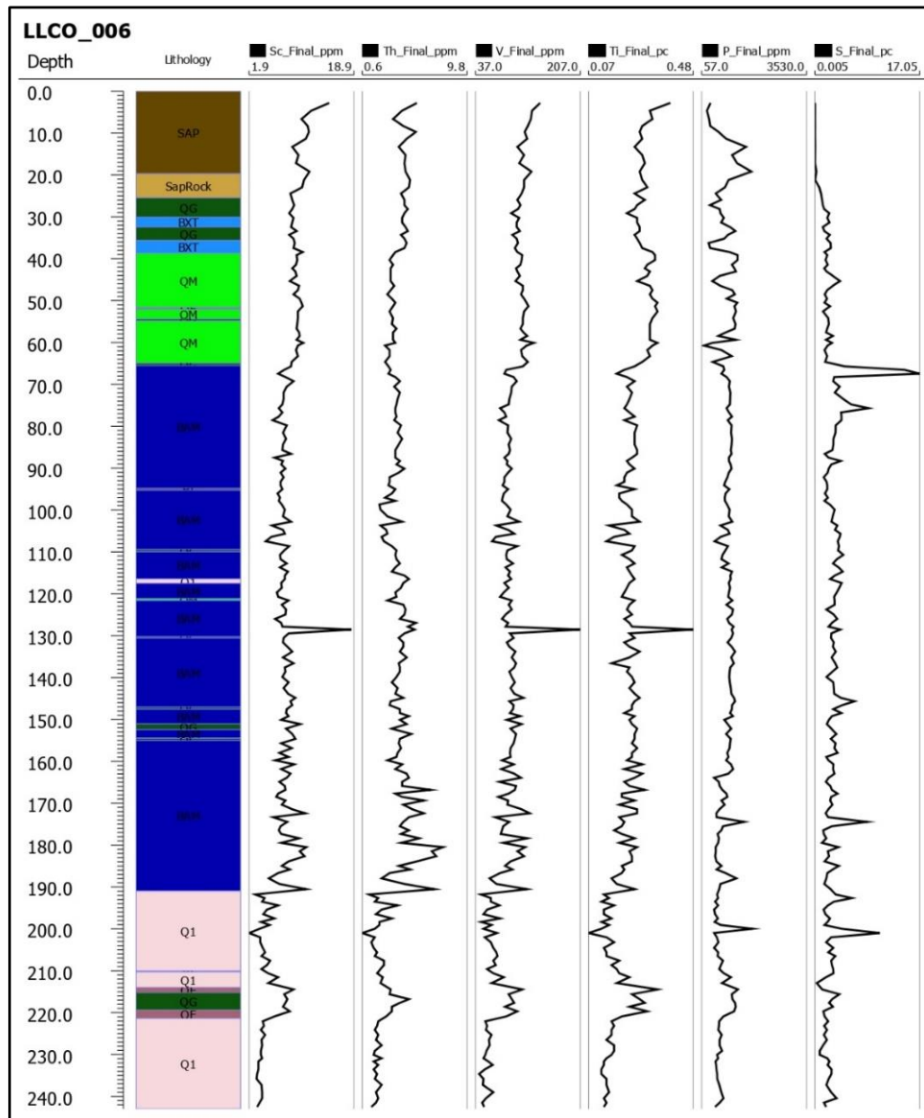


Figura 62. Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_006 en IoGAS.

9.5 Litogeoquímica Pozo LLCO_010

En el metro 54 se presenta una disminución en Sc, Th, V, y P, indicando cambio litológico de QM (cuarzodiorita media) y BI (brecha intrusiva) (Figura 63). El contacto entre BI y BAM se denota en el metro 67 por la disminución en Sc, Th, V, Ti, y un aumento fuerte en S (Figura 63). En el metro 96, la presencia de BXT se marca químicamente por el incremento fuerte de Sc, Th y V, y disminución en P. El metro 167 representa cambio litológico entre QM y BI, demarcado por el aumento de Sc, Th, V y Ti (Figura 63).

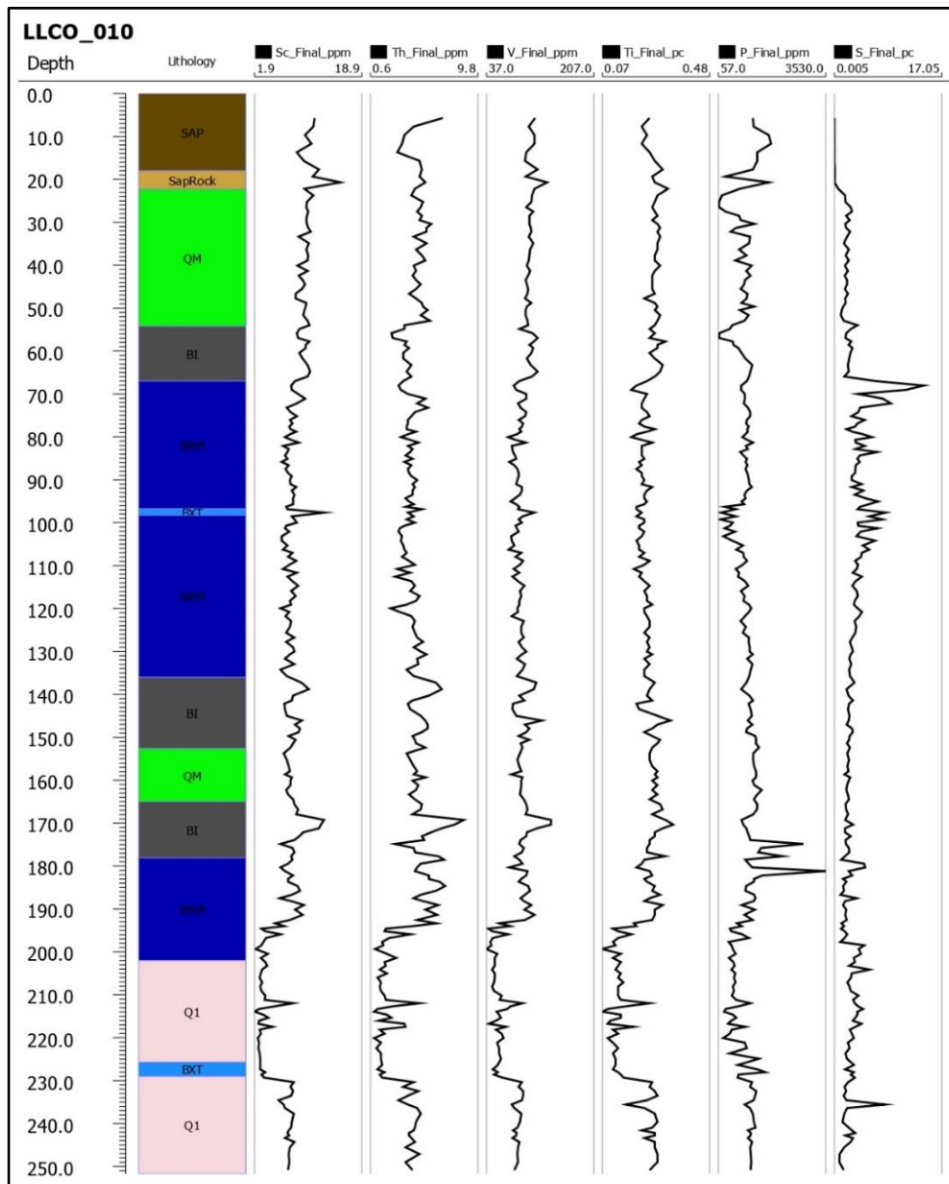


Figura 63. Litología y geoquímica de elementos traza pozo LLCO_010 en IoGAS.

9.6 Gráfico y tabla resumen análisis y comparación geoquímica de elementos traza

Tomando como referencia el logueo litológico detallado a los cuatro (4) sondajes de perforación del target de exploración trabajado, en donde se tuvieron en cuenta principalmente cambios composicionales, texturales y de tamaño de grano para la clasificación de las diferentes unidades litológicas (Tabla 1); y posteriormente con ayuda de los resultados de los elementos químicos disponibles (Sc, Th, V, Ti, P y S), ploteados en IoGAS, se realizó la correlación y análisis comparativo correspondiente (Figura 64). En donde las unidades litológicas preliminarmente separadas por las características anteriormente mencionadas, y que se agrupan en la Tabla 1, se pudieron soportar gracias a las gráficas comparativas que arroja el software IoGAS (Figura 64), trazando líneas horizontales de color rojo siguiendo la continuidad de picos (aumentos o descensos) abruptos de los elementos químicos en mención. Cabe resaltar que lo primero que se lleva a cabo es el logueo geológico descriptivo de los sondajes, posteriormente con ayuda de la información geoquímica se contrastan, soportan y detallan los cambios litológicos como los no identificados durante el proceso inicial de descripción y registro geológico macroscópico de los sondajes.

Collective Mining Ltd.

Conocimiento y aplicación de los procesos de exploración geológica en brechas magmático – hidrotermales relacionada a sistemas de mineralización tipo pórfido.

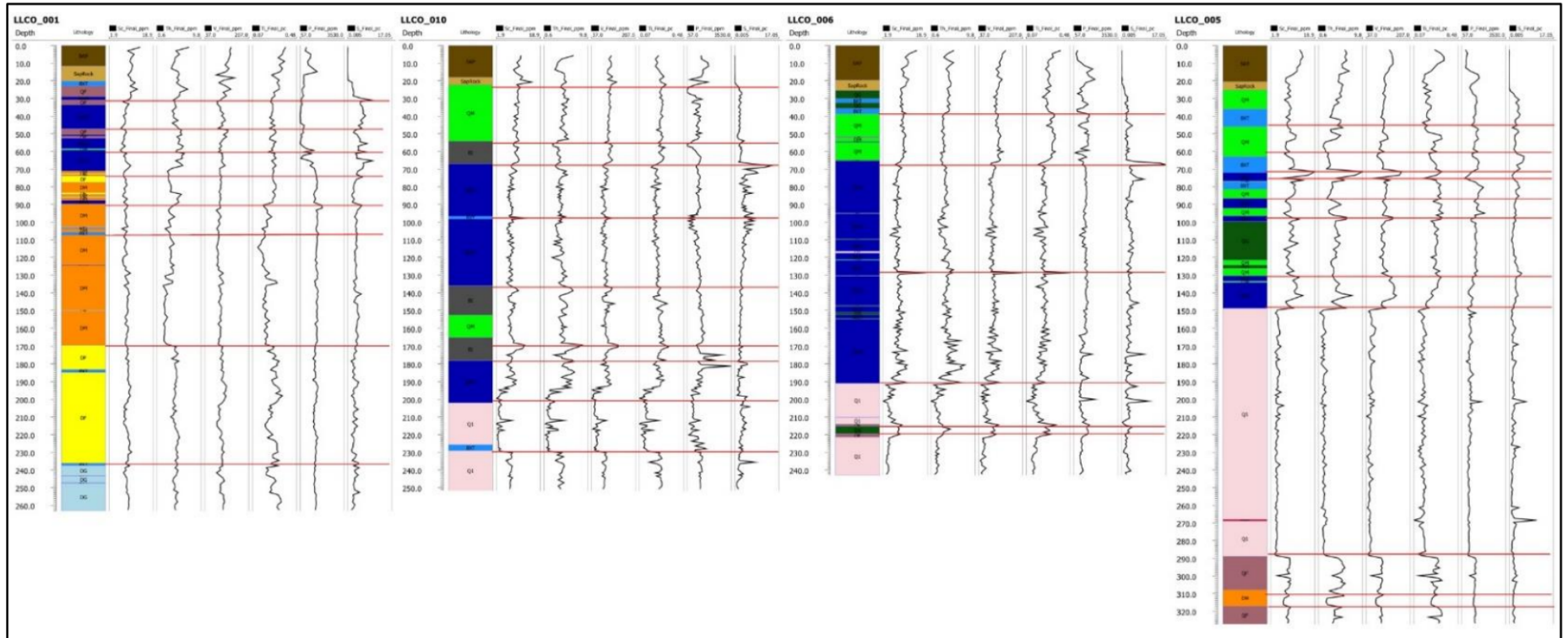


Figura 64. Análisis comparativo de los 4 sondajes de perforación: LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010, agrupación de las diferentes unidades litológicas con base en los valores de los elementos químicos (Sc, Th, V, Ti, P y S).

Unidad litológica	Características
Q1	Cuarzodiorita con textura equigranular, tamaño de grano grueso del cuarzo >5mm, de forma subhedral a anhedral, la forma de las plagioclasas es tabulares e inequigranulares.
QG-DG	Cuarzodiorita y diorita con texturas porfirítica y ocasionalmente inequigranular, tamaño de grano grueso de las plagioclasas >5mm, tamaño de grano del cuarzo fino ≤1mm.
QM-DM	Cuarzodiorita y diorita con texturas porfirítica e inequigranular, tamaño de grano medio de la plagioclasa entre 3mm-5mm, tamaño de grano fino del cuarzo ≤1mm.
QF-DF	Cuarzodiorita y diorita con texturas porfirítica e inequigranular, tamaño medio de plagioclasa entre 3mm - 5mm, tamaño de grano fino del cuarzo ≤1mm.
BAM	Brecha Angular Mineralizada, polimíctica y monomíctica, presenta clastos de cuarzodiorita, diorita y esquisto, embebidos en una matriz compuesta por cemento y sulfuros (pirita y calcopirita).

Tabla 1. Cuadro resumen con las principales características de las diferentes unidades litológicas descrita

10. Correlación

10.2 Perfil de litología

De acuerdo al logueo detallado realizado a los cuatro (4) pozos de perforación de un target de exploración, el respectivo ploteo de datos en el software Leapfrog, y con ayuda de análisis comparativos entre litología y valores geoquímicos de elementos traza desplegados en software IoGAS, se realizó la respectiva correlación litológica de las diez (10) unidades geológicas, diferenciadas principalmente por composición y textura: Q1, QF, QM, QG (para las cuarzodioritas) y DF, DM, DG (para las dioritas) sobre los perfiles, estableciendo las relaciones de contactos entre estas mismas, y pudiéndose corroborar de manera preliminar la temporalidad entre estas unidades litológicas (Figura 65).

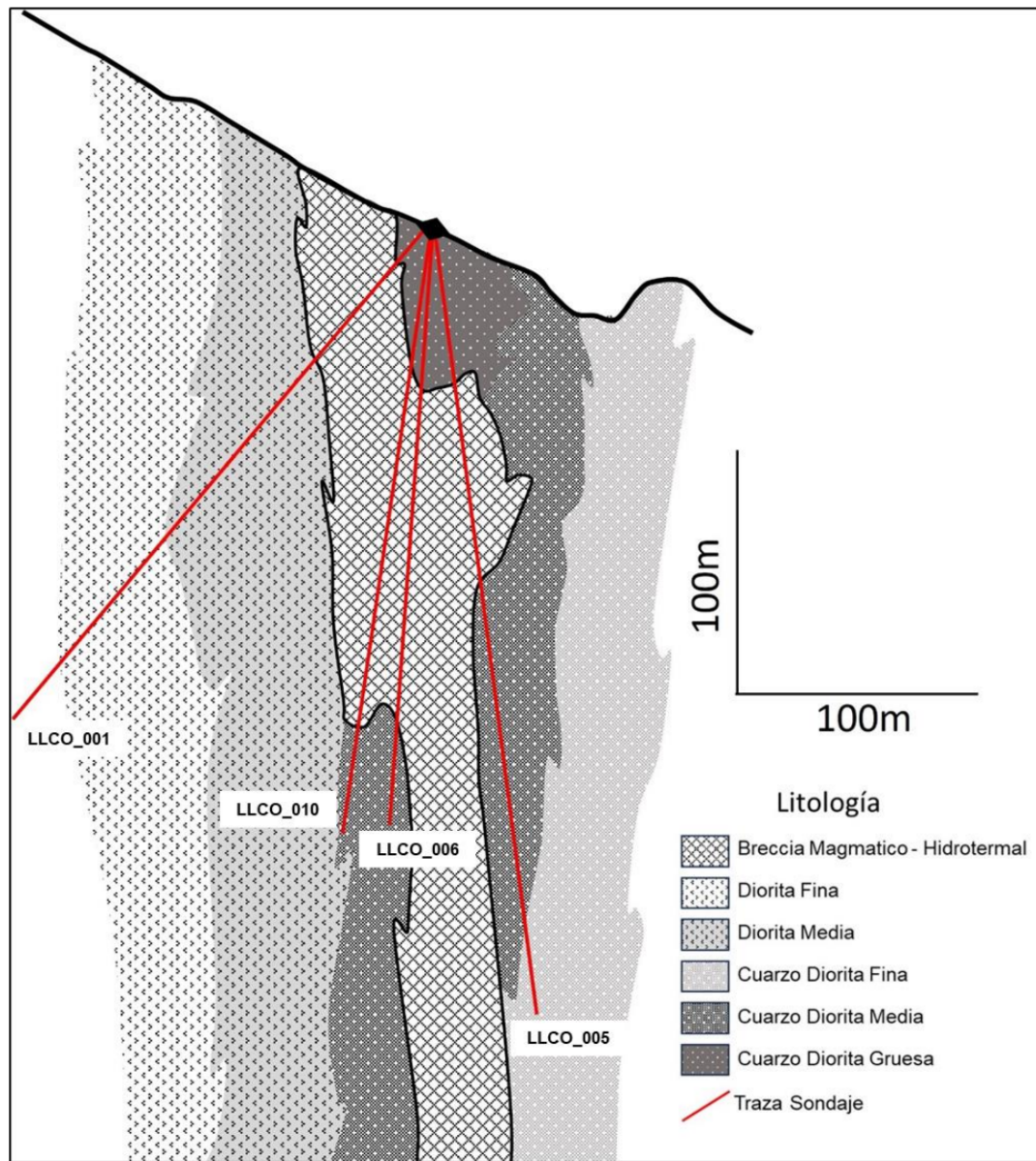


Figura 65. Correlación de unidades litológicas sobre el perfil de litología. Pozos LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006, LLCO_010 del target de exploración.

En temporalidad se pudo establecer que la unidad precursora y más antigua es la Q1 (Cuarzodiorita Gruesa Porfirítica) (Figura 66), representado esto por los contactos intrusivos evidenciados en los pozos, en donde se refleja la intrusión de las demás unidades sobre esta unidad Q1 (Figura 67), adicionalmente evidencias xenolitos de Q1 hallados al interior de las otras unidades, como en la QF (Figura 68).



Figura 66. Contacto entre Q1 (Izq) y QF (Der). Pozo LLCO_005. Prof: 289m.

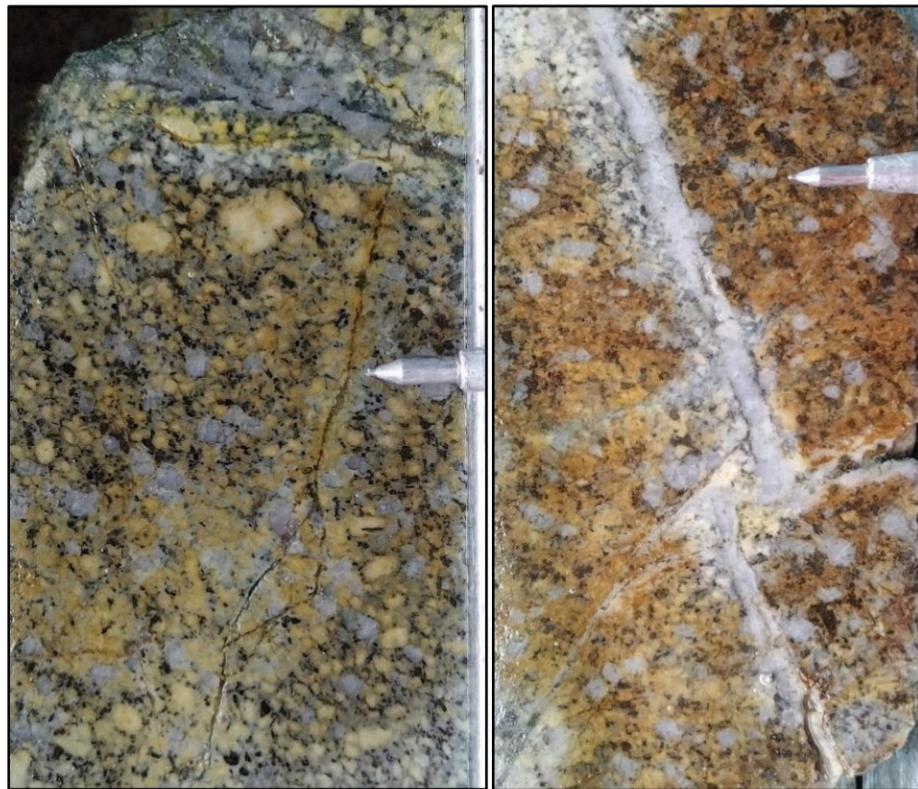


Figura 67.zq. Q1 con sericita moderada y vetillas de clorita, pozo LLCO_005. Prof: 153.75m. Der. Q1 con vetillas de cuarzo desplazadas por vetillas de carbonatos, pozo LLCO_00.5 Prof: 154.15m.



Figura 68. Xenolitos de Q1 en QF con biotita secundaria fuerte en masa fundamental, parte inferior: vetilla de Qz+Mt+/-Mo con halo de sericita. Pozo LLCO005. Prof: 310.10m.

Seguida de la unidad litológica Q1, en temporalidad están las unidades QG-DG respectivamente (Figura 69), del mismo modo que la unidad litológica anterior, se evidencian contactos intrusivos en los pozos descritos y xenolitos de estas dos unidades en los cuerpos intrusivos más recientes (QM-DM, QF-DF y BAM) (Figura 70).



Figura 69. Izq. DG (Diorita Gruesa) con magnetita en masa fundamental, vetilla de clorita+sericita cortando vetilla de igual composición. Pozo LLCO_001. Prof: 225.80m. Der. QG (Cuarzodiorita Gruesa) con vetillas rectas de Py y vetillas sinuosas de Qz+Cb. Pozo LLCO_005. Prof: 25.15m.



Figura 70. Contacto intrusivo entre QG (Izq.#1) y QM (Der. #2), ambas unidades cortadas por vetilla de Py con borde de Mt. Pozo LLCO_005. Prof: 129.50m.

Las unidades QM-DM (Figura 71), en temporalidad son las siguientes, estos cuerpos intrusivos se caracterizan por tener un tamaño de grano medio, principalmente las plagioclasas y el cuarzo, y una textura mayoritariamente inequigranular, y en ocasiones equigranular, que intruyen las unidades más antiguas, como lo son la Q1, y QG-DG, y a su vez, son intruídas por las unidades litológicas más recientes como la QF-DF respectivamente (Figura 72).



Figura 71. Contacto DM (Izq) y QF (Der). Pozo LLCO_005. Prof: 308.50m.



Figura 72. Contacto intrusivo entre QM (Izq) y QF (Der) con vetillas mm subparalelas de carbonatos. Pozo LLCO_001. Prof: 83.65m.

Las unidades litológicas QF-DF corresponde a los cuerpos intrusivos más tardíos, o más jóvenes. Estas unidades intruyen las demás unidades anteriormente mencionadas y descritas, y se caracterizan por tener tamaño de grano fino, textura porfirítica, moderada a fuerte biotita secundaria en la masa fundamental y alto contenido de magnetita en la masa fundamental (Figura 73). Y finalmente se encuentra la brecha magmático hidrotermal en contacto con la QG presentando vetillas de tipo pórfido, y clastos de la DM (Figura 74). Y se evidencia el contacto entre la BAM y la QM predominando una alteración clorítica en la matriz de la brecha (Figura 75).

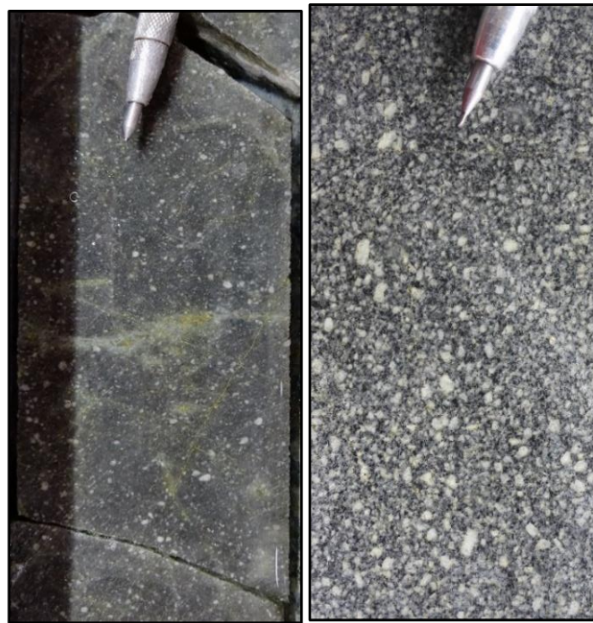


Figura 73. Izq. QF con textura porfirítica (+masa fundamental) y vetillas de clorita. Pozo LLCO_001. Prof: 84.00m. Der. QF con textura equigranular. Pozo LLCO_006. Prof: 51.80m.



Figura 74. Contacto BAM (Izq) con clastos de DM y vetillas de cuarzo asociadas a mineralización estilo pórfido y QG (Der). Pozo LLCO_006. Prof: 151.00m.



Figura 75. Contacto BAM (Der) y QM (Izq). Pozo LLCO_006. Prof: 122.10m.

10.3 Perfil de alteración hidrotermal

Mediante la correlación de la alteración hidrotermal delimitada en el perfil de alteración, se evidencia en los cuatro (4) pozos un predominio de alteración potásica, sericítica y clorítica, en un intervalo muy corto (10m) en la parte final del pozo LLCO_005 en el metro 205.15 hasta 226 se presenta un tramo de roca inalterada (Figura 76).

En el pozo LLCO_001 la alteración potásica y la alteración sericítica son las principales alteraciones hidrotermales presentes, la primera se presenta principalmente en la masa fundamental y está representada por la presencia de biotita secundaria + magnetita fina diseminada en la mayoría de los intervalos, y la sericita reemplazando plagioclasas y como halo en vetillas de Qz, Qz+Cb (Figura 77).

El pozo LLCO_005. La clorita se presenta en vetillas milimétricas y en parches aislados, la sericita reemplazando plagioclasas y en halo de vetillas de cuarzo, y la biotita secundaria en la masa fundamental (Figura 78).

Para el pozo LLCO_006 predomina la alteración clorítica y en menor proporción la alteración potásica y sericítica. La alteración clorítica se presenta mayoritariamente haciendo parte de la matriz en la BAM (Brecha Angular Mineralizada), y ocasionalmente en parches aislados y en vetillas milimétricas, la alteración sericítica se presenta en ocasiones pervasiva, y reemplazando plagioclasas, ocasionalmente como halo de vetillas de cuarzo (Figura 79).

En el pozo LLCO_010 se presenta como alteración hidrotermal la alteración sericita y la clorítica en proporciones muy similares, y en poca ocurrencia la alteración potásica. La alteración clorítica se presenta haciendo parte de la matriz en la BAM,

finalmente la alteración sericítica y ocasionalmente la alteración potásica, a manera pervasiva sobre la BAM, y reemplazando plagioclasas en clastos de cuarzdioritas y dioritas dentro de la BAM (Figura 80).

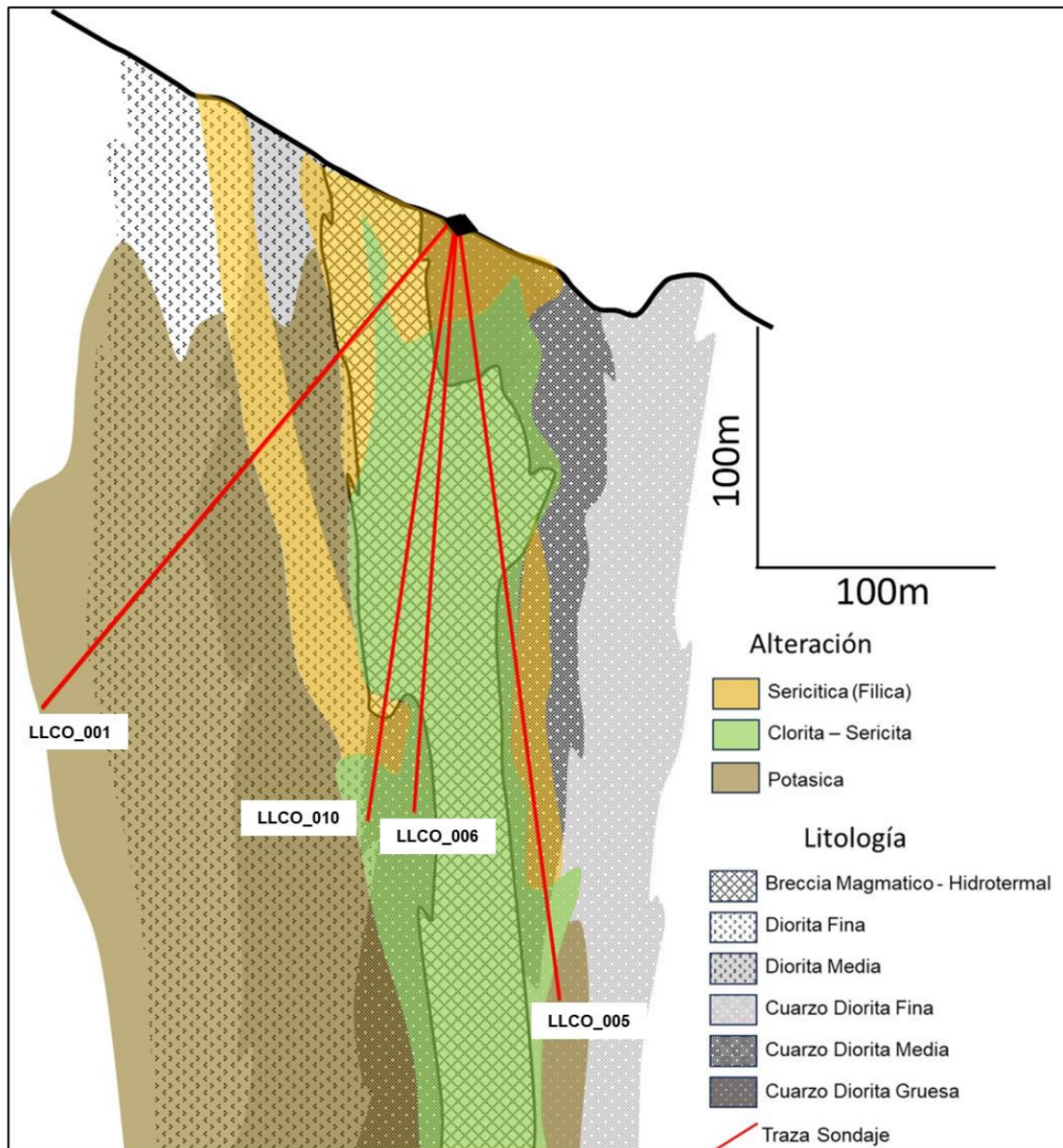


Figura 76. Correlación de alteración hidrotermal sobre el perfil de litología. Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración.



Figura 77. Comparativo de Dioritas presentes en el pozo LLCO_001. De izquierda a derecha: DF con biotita secundaria en masa fundamental (Prof: 83.80m), DM con sericita moderada-fuerte (Prof: 48.80m), DG con biotita secundaria en masa fundamental (Prof: 224.10m).



Figura 78. Alteración hidrotermal pozo LLCO_005. Clorita en vetillas mm y parches (parte superior e intermedia), sericita moderada (parte superior e intermedia) y biotita secundaria en masa fundamental en QF (parte inferior). Intervalo 128m-131m.

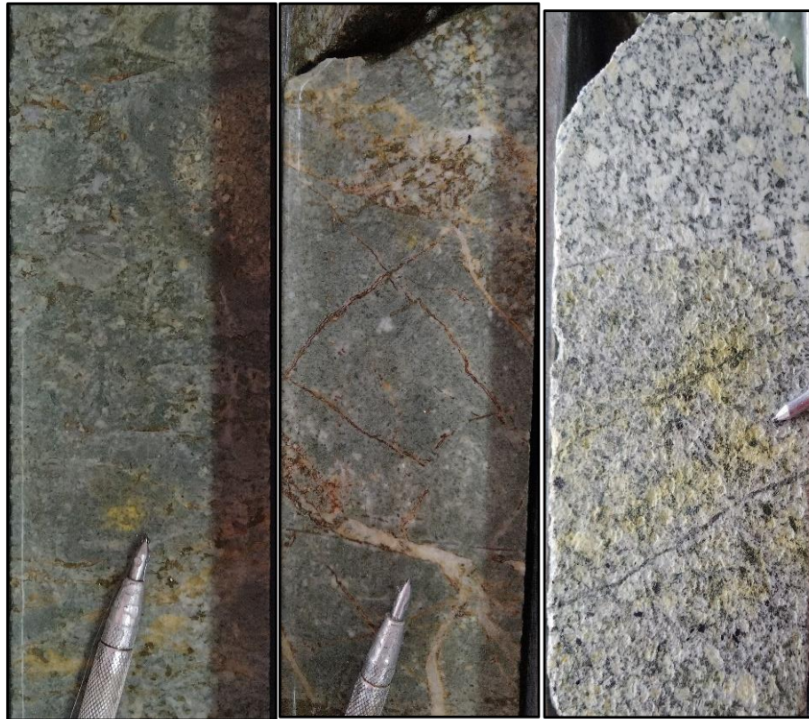


Figura 79. Alteración hidrotermal pozo LLCO_006. Izq: Clorita en la matriz de la BAM (Prof: 72.40m). Centro: Clorita en matriz de BAM y vetillas de Qz+Cb (Prof: 69.20m). Der: Sericita fuerte pervasiva (Prof: 32.40m).

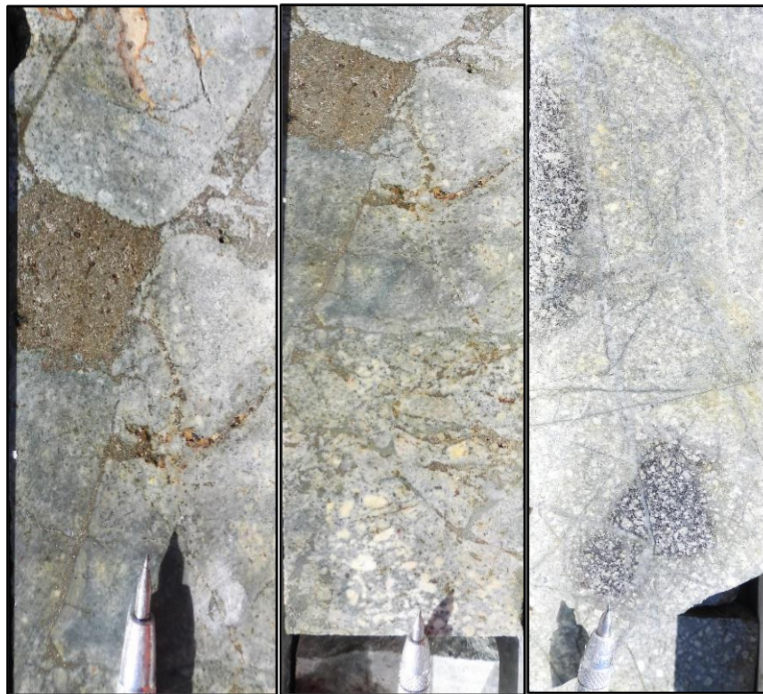


Figura 80. Alteración hidrotermal pozo LLCO_010. Izq: Clorita en cemento de BAM (Prof: 71.25m). Centro: Clorita en cemento de BAM y sericita en clasto de DM (Prof: 72.25m). Der: Sericita pervasiva en BAM con vetillas de cuarzo y clastos de DG.

10.4 Perfiles de mineralización

10.4.1 Perfil de Calcopirita – Pirita (Cpy-Py)

La pirita es el mineral que se presenta con mayor abundancia en los cuatro (4) pozos. Su estilo de mineralización es muy variado, presentándose de forma diseminada, en vetillas, haciendo parte del cemento en la matriz de la BAM y en parches aislados.

La calcopirita a su vez, se encuentra en baja proporción, a modo de trazas ($\leq 0.1\%$), y principalmente se encuentra en el cemento de la BAM, acompañada en su gran mayoría por pirita.

La manera de representar estos dos sulfuros en el perfil fue graficando su cantidad en porcentajes %: $\leq 0.1\%$, ≤ 0.5 , $\leq 1\%$, $> 1\%$ (Figura 81).

La calcopirita aparece en mayor proporción en los pozos LLCO_001 y LLCO_010, en intervalos métricos ubicados en la parte inicial a intermedia de la brecha angular mineralizada (BAM) de los pozos mencionados. Algunas trazas se presentan en parches finos diseminados en el pozo LLCO_006, finalmente la mineralización de calcopirita está ausente en el pozo LLCO_005.

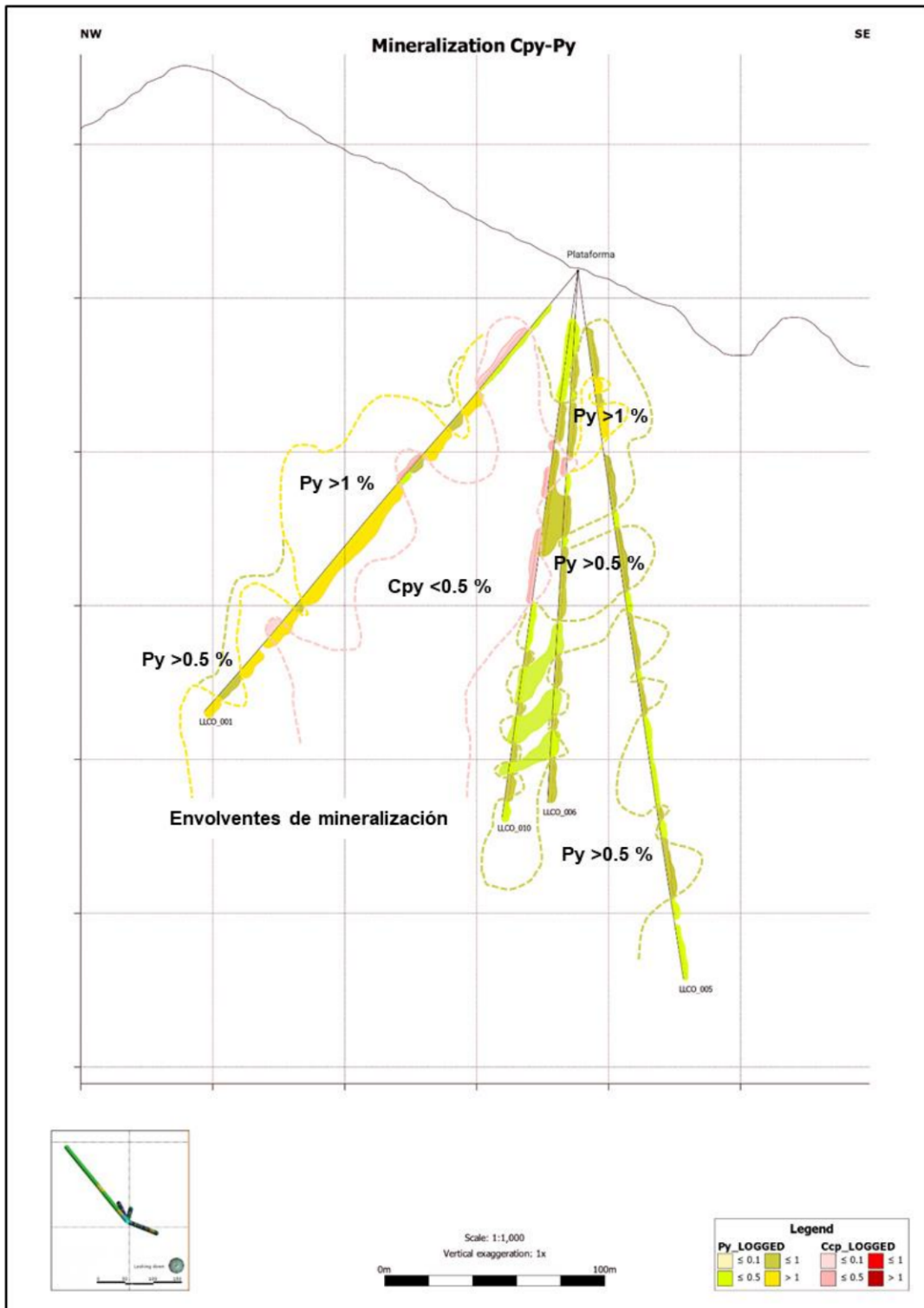


Figura 81. Perfil de mineralización Calcopirita (Cpy) - Pirita (Py). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración.

10.4.2 Perfil de Esfalerita – Galena (Sph-Ga)

La esfalerita y la galena se presentan principalmente haciendo parte de estructuras mineralizadas tipo CBM (Carbonates Base Metal), acompañadas de cuarzo, carbonatos, piritita y +/- calcopiritita. En la mayoría de los tramos métricos mineralizados donde aparecen estos dos sulfuros, se presentan en conjunto, muy ocasionalmente aparecen de manera individual (Figura 82).

En el pozo LLCO_001, en su parte inicial, se refleja mineralización importante de estos dos minerales, haciendo parte de la mineralización de estructuras tipo CBM (Figura 82).

En el pozo LLCO_010 aparece la mayor ocurrencia de estos minerales, siendo este, el pozo más importante en este tipo de sulfuros, y se encuentra en CBM, y en otras vetillas con cuarzo y carbonatos (Figura 82).

En los pozos LLCO_005 se encuentra Sph y Ga en la parte final del pozo en una vetilla aislada (Figura 82).

En el pozo LLCO_006 se presenta mayor mineralización de Sph que de Ga, y se halla en la parte final del pozo, en CBM y en vetillas con cuarzo y carbonatos (Figura 82).

Los porcentajes de ambos minerales no supera el 0.5%.

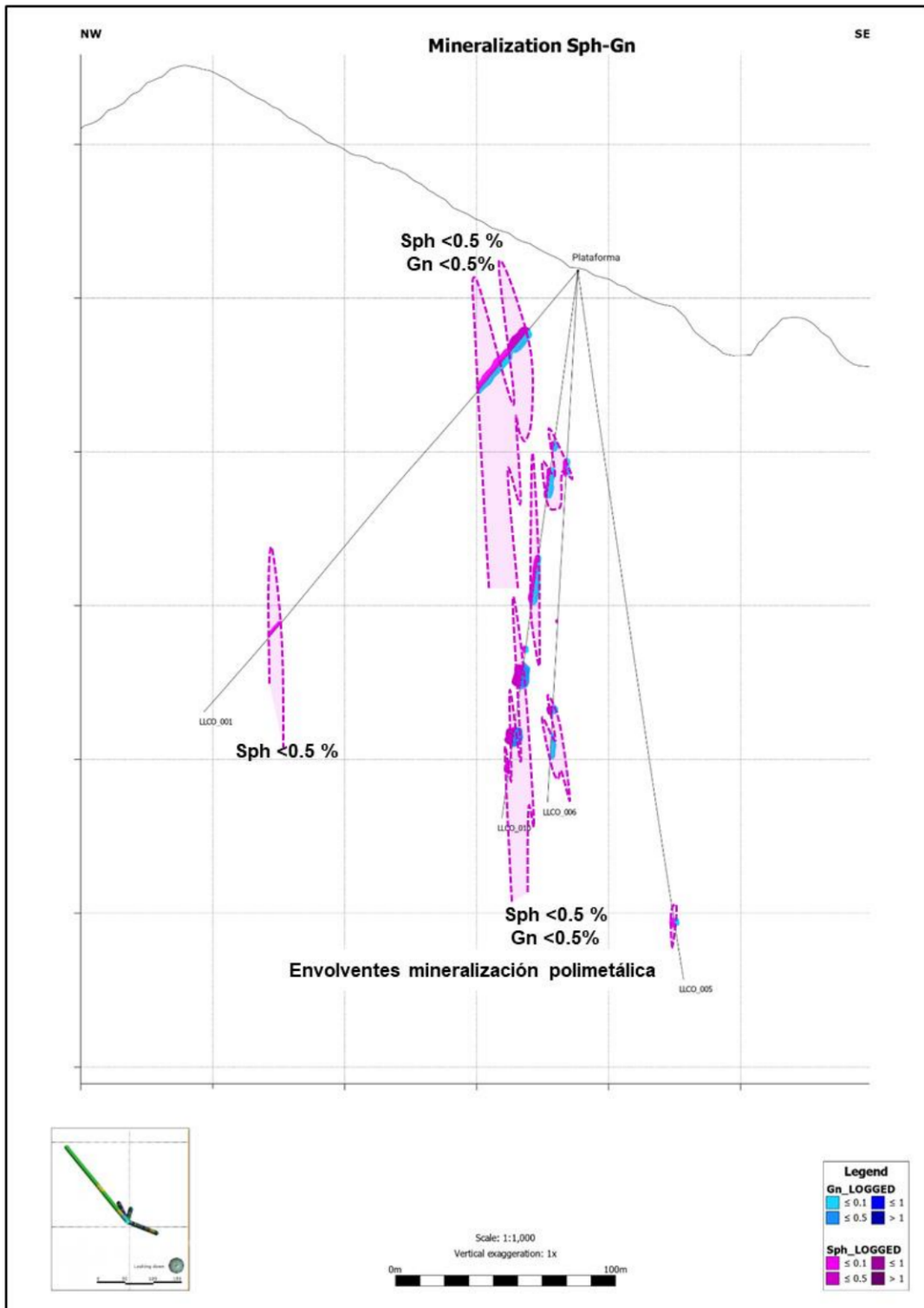


Figura 82. Perfil de mineralización Esfalerita (Sph) - Galena (Ga). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010(Cen-Izq) del target de exploración.

10.4.3 Perfil de Magnetita – Molibdenita (Mt-Mo)

La magnetita aparece en forma diseminada haciendo parte de la masa fundamental en las rocas con textura porfirítica (cuarzodioritas y dioritas), en vetillas con cuarzo y sulfuros en sistemas de mineralización tipo pórfido (Figura 83).

Se puede inferir preliminarmente, que la magnetita que aparece en la masa fundamental de las rocas hipoabisales con baja intensidad de alteración hidrotermal o inalteradas, puede ser catalogada como primaria o magmática; a diferencia de la magnetita que se presenta de forma diseminada y en vetillas relacionadas a mineralización tipo pórfido, y asociada en este caso con ensambles de minerales de alteración potásica y acompañada de sulfuros, cuyas características permiten su clasificación de origen secundario, soportado adicionalmente con los resultados geoquímicos de las muestras de laboratorio.

La Molibdenita, se presenta en muy bajo porcentaje (Figura 83), contenido en trazas $\leq 0.1\%$, y asociada principalmente a vetillas con cuarzo, y cuarzo + magnetita, ocasionalmente en estilo de mineralización diseminada, de tamaño de grano fino.

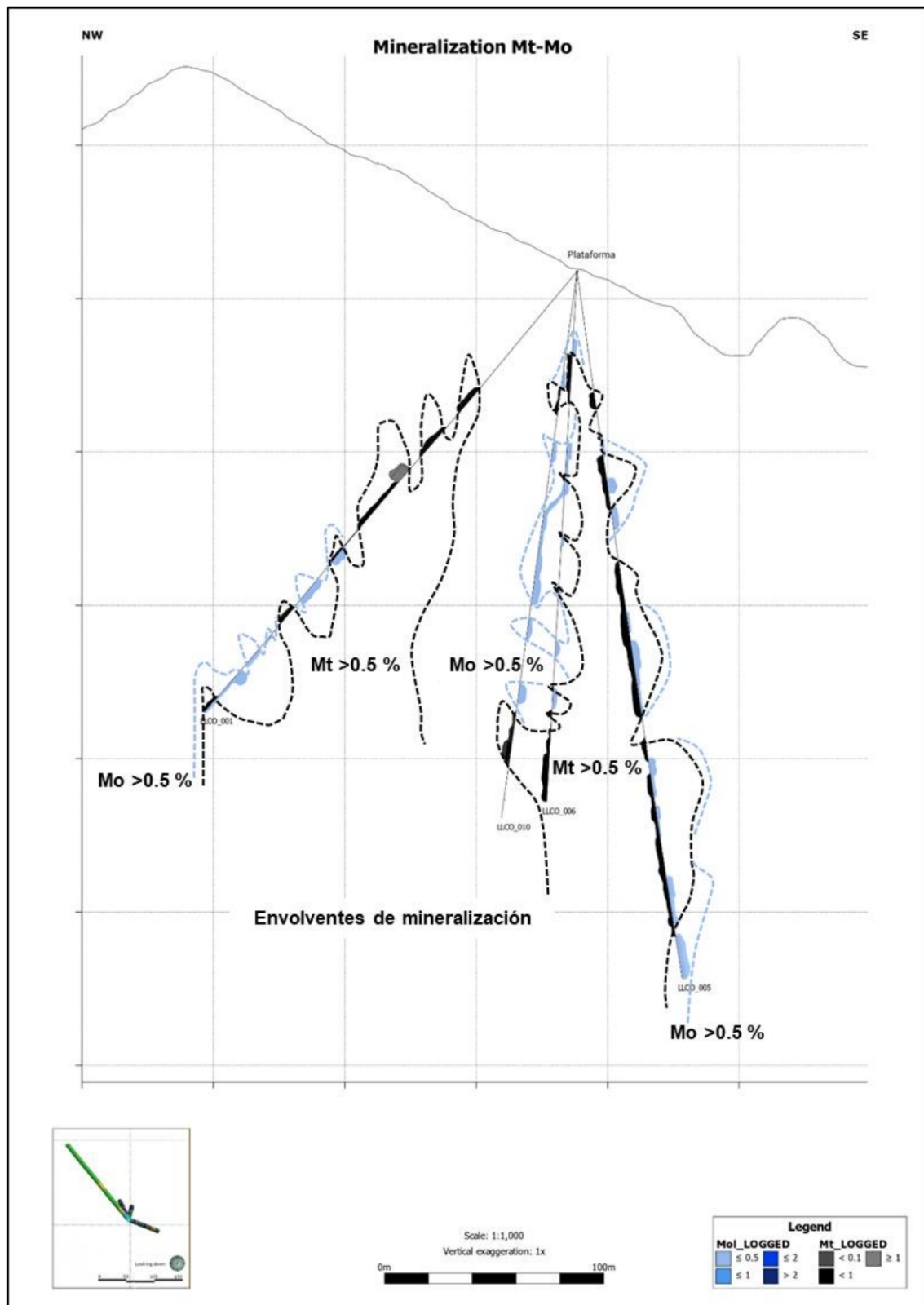


Figura 83. Perfil de mineralización Magnetita (Mt) - Molibdenita (Mo). Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010 (Cen-Izq) del target de exploración.

11. Correlación de capas de información geológica: litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas y propuesta de sondajes de perforación

A partir de la descripción o logueo geológico detallado realizado a los sondajes de perforación: LLCO_001, LLCO_005, LLCO006 y LLCO_010, del target de exploración, y el despliegue de la información en el software Leapfrog, se obtuvieron los perfiles individuales de cada una de las capas de información geológica: litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas mencionadas anteriormente.

Posterior a esto, se llevó a cabo la correlación e interpretación entre las capas de información geológica, en donde se obtuvo información importante acerca de la relación entre las diferentes unidades litológicas descritas (Q1, QG-DG, QM-DM, QF-DF, BAM), minerales de alteración hidrotermal presentes en estos sondajes (clorita, sericita y biotita secundaria), tipo de mineralización tanto (estilo pórfido, como en brechas magmático hidrotermales y vetas polimetálicas), y estructuras falladas (Figuras 84).

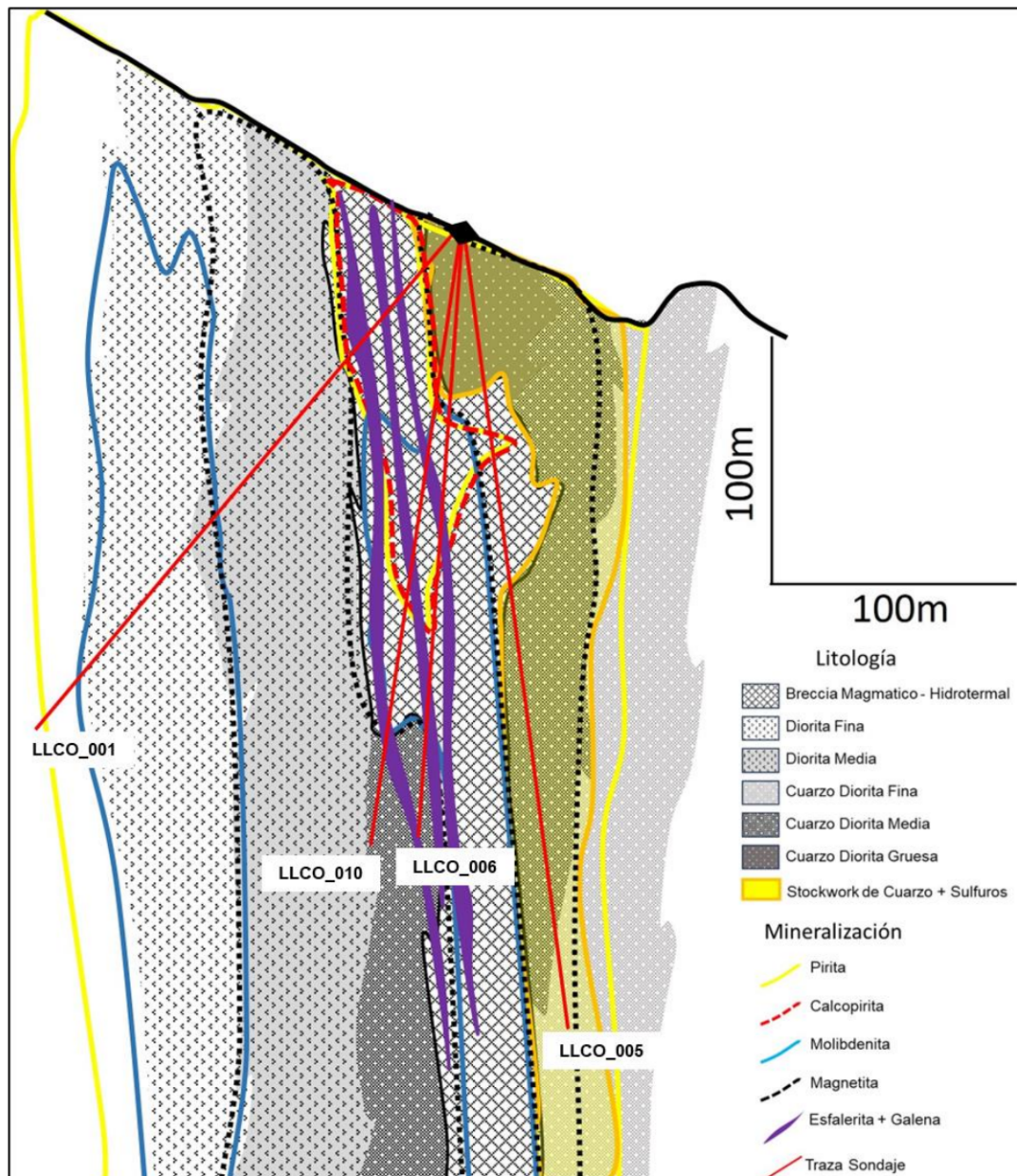


Figura 84. Correlación de capas de información geológica. Pozos LLCO_001(Izq), LLCO_005(Der), LLCO_006(Cen-Der), LLCO_010 (Cen-Izq), del target de exploración.

Tomando como referencia la información geológica obtenida en los sondajes de perforación mediante el proceso descriptivo e interpretativo realizado, y utilizando las relaciones entre litología – alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas (Figura 84), se proponen 3 sondajes de perforación para el target o blanco de exploración trabajado:

11.2 Propuesta de sondaje de perforación 1:

Este sondaje de perforación se propone con el objetivo principal de interceptar una importante franja de alteración hidrotermal de clorita - sericita evidenciada en los metros intermedios del sondaje LLCO_010, y del mismo modo, corroborar la continuidad de la brecha angular mineralizada (BAM) y su relación de corte con la unidad litológica Q1 en profundidad (Figura 85).

En relación con las estructuras mineralizadas y mineralización asociada, se pretende con este sondaje de perforación el intercepto de una zona de vetillas de cuarzo y magnetita (LLCO_010), y vetillas de cuarzo, magnetita y molibdenita (LLCO_006). Estas estructuras mineralizadas, se encuentran en la BAM a modo de clastos de diorita y cuarzodiorita, y representan o se encuentran asociadas a mineralización estilo pórfido (Figuras 85).

Se plantea una perforación de 500m con una inclinación de alto ángulo (80°-85°), con el fin de intersectar la zona de Q1 y acercarse o ingresar a la zona de alteración de biotita secundaria (LLCO_005) (Figura 85), y poder ingresar a una zona de mayor temperatura, y probablemente perforar la zona fuente de las estructuras mineralizadas antes mencionadas, asociadas a estilo de mineralización pórfido.

11.3 Propuesta de sondaje de perforación 2:

Este sondaje de perforación se propone con el objetivo de interceptar una zona importante de alteración hidrotermal de sericita sobre diorita media (DM) en los tramos intermedios del sondaje LLCO_001, y en profundidad lograr interceptar la zona de alteración hidrotermal de biotita secundaria, que se ve reflejada en el perfil de alteración hidrotermal del sondaje LLCO_001 sobre la unidad litológica diorita gruesa (DG) (Figura 85). De igual manera, se pretende con este sondaje, corroborar y ampliar el volumen de la BAM, presente en los sondajes LLCO_010 y LLCO_006 (Figura 85).

Asociado a la alteración hidrotermal de sericita fuerte y pervasiva sobre DM, se encuentra mineralización tardía polimetálica importante tipo CBM (Qz+Cb+Py+Cpy+Sph+Ga), adicionalmente se presentan estructuras relacionadas a mineralización estilo pórfido, con vetillas de cuarzo, cuarzo - magnetita, magnetita - molibdenita, (Figuras 85).

El objetivo principal de este sondaje es interceptar la alteración hidrotermal de sericita, llegar y pasar la zona de alteración hidrotermal de biotita secundaria, y corroborar la mineralización descrita, con el fin de ampliar a profundidad estas estructuras mineralizadas y poder localizar la fuente a mayor profundidad, y con evidencias geológicas de alta temperatura (alteración hidrotermal, mineralización y estructuras mineralizadas) responsable de la generación de los fluidos mineralizantes, relacionados a un sistema tipo pórfido.

11.4 Propuesta de sondaje de perforación 3:

Este sondaje de perforación se propone con el fin de interceptar la BAM o BA, o cuerpos intrusivos y alteraciones hidrotermales en sus primeros metros (200m), y que de igual manera ayude o sirva como un vector de exploración para continuar con perforaciones hacia el S y SE, o delimitar la zona hacia el N, NE y NW, con el propósito de definir futuras campañas de perforación. Mas a profundidad (>200m) se pretende interceptar una zona con estructuras mineralizadas, vetillas de cuarzo, cuarzo - molibdenita y de cuarzo - magnetita, asociadas a mineralización estilo pórfido, reflejadas en el sondaje LLCO_005 (Figura 85), y poder visualizar su continuidad en profundidad y correlacionando los datos de este sondaje con los datos e información obtenida del sondaje de perforación 2.

Para los 3 sondajes de perforación propuestos, se plantea que cada uno de ellos tenga una longitud inicial de 500m, que esta profundidad a su vez puede ser modificada según los resultados positivos durante la caracterización y ejecución del programa de perforación del target de exploración.

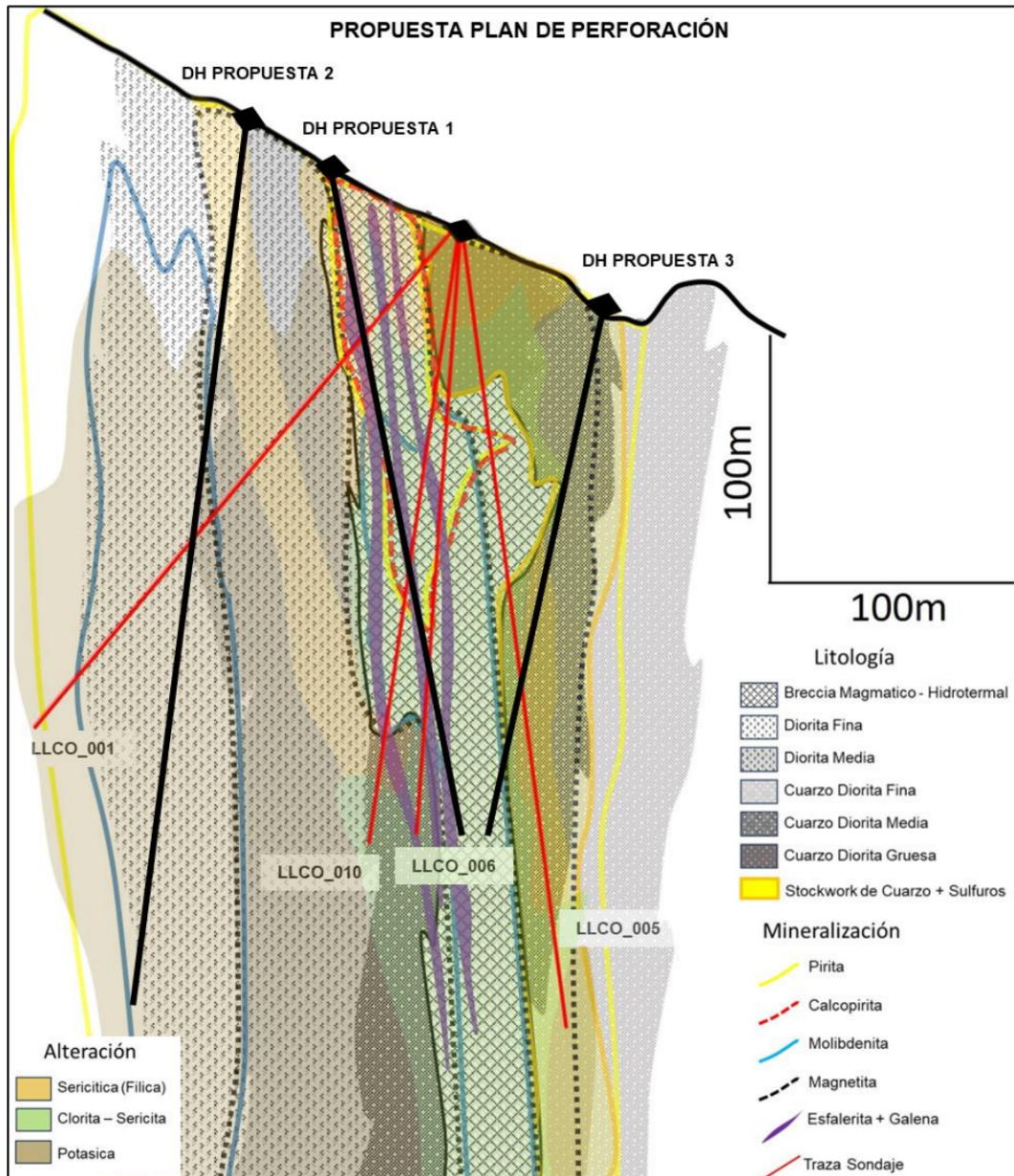


Figura 85. Propuesta sondajes de perforación 1, 2 y 3, correlacionando información geológica de litología y alteración hidrotermal, mineralización y estructuras (Stockwork de cuarzo + sulfuros).

12. Conclusiones

- La litología principal en el target o blanco de exploración trabajado, y tomando como referencia el logeo geológico detallado realizado a los cuatro pozos de perforación (4): LLCO_001, LLCO_005, LLCO_006 y LLCO_010 está representada por cuarzodioritas, dioritas, brechas hidrotermales: BAM (Brecha Angular Mineralizada) y BI (Brecha Intrusiva).
- La mayor parte de la mineralización en los pozos trabajados se concentra en el cemento de la Brecha Hidrotermal BAM (Brecha Angular Mineralizada, y en menor proporción en las vetillas con mineralización tipo pórfido (Sillitoe, 2010) presentes tanto en los cuerpos intrusivos, como en los clastos en la BAM.
- La alteración hidrotermal, representada en este trabajo corresponde a ensambles de minerales típicos de sistemas de mineralización tipo pórfido (de mayor a menor abundancia): Sericita, Biotita Secundaria, Clorita y Epidota.
- Las estructuras presentes en los sondajes trabajados, y que se encuentran asociadas en intervalos importantes de los pozos son principalmente fallas y vetillas como: vetillas de Qz, Qz+Py, Qz+Py+/-Cpy, Qz+Mo, Qz+Ga+Sph+Cb, Qz+Mt, Mt, Qz+Py+Mt, Chl, Chl+Ep, Cb.

13.Recomendaciones

- Realizar mapeo “Anaconda” en todos los pozos del target de exploración trabajado teniendo en cuenta los óxidos de hierro (FeOX): Hematita, Goetita, Jarosita y Limonita, a fin de ser ploteados en un mapa, y su posterior correlación con: litología, mineralización y estructuras; teniendo presente que en algunos casos estos FeOX traen valores importantes de Au-Cu.
- Realizar cartografía geológica detallada en superficie, y correlacionar con el mapeo detallado realizado a los pozos de perforación del target de exploración trabajado.
- Continuar realizando perfiles o secciones geológicas de litología, alteración hidrotermal, mineralización y estructuras, llevando a cabo sus respectivas correlaciones e interpretaciones, a fin de sustentar ideas y propuestas solidas de exploración, tanto en superficie como propuestas de nuevas perforaciones.

14.Referencias Bibliográficas

Arango-Escobar, J.E.; Toro-Toro, L.M.; Moreno-Sánchez, M.; Ruíz-Jiménez, E.C. (2021). Petrografía y evolución tectónica de los esquistos del Complejo Arquía, al occidente de Manizales en el sector de La Manuela, vías Palestina y Chinchiná, Colombia. *Boletín de Geología*, 43(3), 63-86. <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n3-2021003>.

Avellaneda-Jiménez, D.S.; Cardona, A.; Valencia, V.; Barbosa, J.S.; Jaramillo, J.S.; Monsalve, G.; Ramirez-Hoyos, L. (2020). Erosion and regional exhumation of an Early Cretaceous subduction/ accretion complex in the Northern Andes. *International Geology Review*, 62(2), 186-209. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1596042>.

Borrero, C., y Toro-Toro, L.M. 2016. Vulcanismo de afinidad adaquítica en el miembro inferior de la Formación Combia (Mioceno tardío) al sur de la subcuenca de Amaga, noroccidente de Colombia. *Boletín de Geología*, 38(1): 87-100.

Brimhall, G.H., Dilles, J.H. & Proffett, J.M., 2006. The Role of Geologic Mapping in Mineral Exploration. Society of Economic Geologists Special Publication 12, pp. 221-241.

Cárdenas, A., Giraldo, J.D., Monterrosa, D., & Weber, M. (2023). Fósiles de hojas, maderas, gasterópodos y un diente de cocodrilo, ¿vale la pena explorar la Formación Amagá?. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

Celada, C. M., Luengas, C., Velásquez, L., Prieto, D., Cáceres, A., López, J., Moyano, I., Prieto, G., Leal Mejía, H. Jenkins, S., Bissig, T. y J.R. Hart, C. (2016). Mapa Metalogénico de Colombia. Escala 1:1'000.000. Dirección de Recursos Minerales (DRM) - Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Mineral Deposit Research Unit (MDRU) - The University of British Columbia (UBC).

Correa, L.G. y Silva, J.C., 1999. Estratigrafía y Petrografía del Miembro Superior de la Formación Amagá, en la sección El Cinco – Venecia – Q. La Sucia. Tesis de grado Universidad EAFIT. Medellín. 47p.

Correa, L., Silva, J. y Sierra, G. 2001. Petrografía de las areniscas y proveniencia de la Formación Amagá, Cuenca del río Cauca, Noroccidente Colombiano. VIII Congreso Colombiano de Geología y V conferencia Colombiana de Geología Ambiental. Manizales, Colombia. Memorias. CD.

Dorado, C.E. (2007). Petrografía y geoquímica del Complejo Arquía, al occidente de la ciudad de Manizales entre los sectores de la hacienda El Algarrobo y el río Chinchiná. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, Á. y Diederix H., compiladores (2015). Mapa Geológico de Colombia 2015. Escala 1:1'000. 000. Servicio Geológico Colombiano.

Ibarra-Bustos, P.D. (2017). Petrografía de los esquistos azules de San José de Albán, Nariño. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Leal-Mejía, H. 2011, Phanerozoic gold metallogeny in the Colombian Andes- A tectono-magmatic approach. Ph.D. thesis, Barcelona (Catalonia), Spain, University of Barcelona, 1.000p.

Maya, M.; González, H. (1995). Unidades litodémicas en la cordillera Central de Colombia. Boletín Geológico, 35(2-3), 43-57.

Moreno-Sánchez, M.; Pardo-Trujillo, A. (2003). Stratigraphical and sedimentological constrains on western Colombia: implications on the evolution of the Caribbean Plate. In: C. Bartolini, R.T. Buffler, J.F. Blickwede (ed.). The Circum- Gulf of Mexico and the Caribbean: hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics (pp. 891-924). vol. 79. AAPG. <https://doi.org/10.1306/M79877C40>.

Redwood, S. D., 2023. NI 43-101 Technical Report NI 43-101 Technical Report for the Guayabales Gold-Silver-Copper Project, Department of Caldas, Colombia” is 21 April 2023. Effective date 21 April 2023, signed date 21 April 2023, 182 p.

Rodríguez, G.; Arango, M.I. (2013). Reinterpretación geoquímica y radiométrica de las metabasitas del Complejo Arquía. Boletín de Geología, 35(2), 65-81.

Ruiz-Jiménez, E.C.; Blanco-Quintero, I.F.; Toro-Toro, L.M.; Moreno-Sánchez, M.; Vinasco, C.J.; García-Casco, A.; Morata, D.; Gómez-Cruz, A. (2012). Gequímica y petrología de las metabasitas del Complejo Arquía (Municipio de Santafé de Antioquia y río Arquía, Colombia): implicaciones geodinámicas. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 32, 65-80.

Sillitoe, R.H. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.

Sillitoe, R.H., 2000, Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 315–345.

Sillitoe, R.H., 2002, Some metallogenic features of gold and copper deposits related to alkaline rocks and consequences for exploration: *Mineralium Deposits*, v. 37, p. 4–13.

Sillitoe, R.H., 2005, Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits: *ECONOMIC GEOLOGY 100TH ANNIVERSARY VOLUME*, p. 723–768.

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

Toussaint, J.F. (1996). *Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico*, Medellín. Universidad Nacional de Colombia.

Valencia, Y.T. (2010). *Petrografía detallada de las rocas del Complejo Arquía en los límites entre los departamentos de Antioquia y Caldas*. Tesis de pregrado. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

Villagómez, D. (2010). *Thermochronology, geochronology and geochemistry of the Western and Central cordilleras and Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. The tectonic evolution of NW South America*. PhD Thesis, University of Geneva Switzerland, Switzerland. <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:14270>.

Villagómez, D.; Spikings, R.; Magna, T.; Kammer, A.; Winkler, W.; Beltrán, A. (2011). Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia. *Lithos*, 125(3-4), 875-896. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.05.003>.

Zapata-Villada, J.P.; Restrepo, J.J.; Cardona-Molina, A.; Martens, U. (2017). Geoquímica y geocronología de las rocas volcánicas básicas y el Gabro de Altamira, Cordillera Occidental (Colombia): Registro de ambientes de plateau y arco oceánico superpuestos durante el Cretácico. *Boletín de Geología*, 39(2), 13-30. <https://doi.org/10.18273/revbol.v39n2-2017001>.