



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

GEOLOGÍA DEL PROSPECTO CUPRÍFERO LA VIRTUD – EL LÍMITE, COMUNA  
DE MAIPÚ, REGIÓN METROPOLITANA: MINERALIZACIÓN, ALTERACIÓN  
HIDROTERMAL Y ESTRUCTURAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO  
MAURICIO IGNACIO DE LA BARRA CARRASCO

PROFESOR GUÍA:  
BRIAN KEITH TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
KATJA DECKART  
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

SANTIAGO DE CHILE

2017

## **RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL**

**TÍTULO DE:** Geólogo

**POR:** Mauricio Ignacio De la Barra Carrasco

**FECHA:** 22/06/2017

**PROFESOR GUÍA:** Brian Keith Townley Callejas

### **GEOLOGÍA DEL PROSPECTO CUPRÍFERO LA VIRTUD – EL LÍMITE, COMUNA DE MAIPÚ, REGIÓN METROPOLITANA: MINERALIZACIÓN, ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y ESTRUCTURAS**

El prospecto cuprífero La Virtud - El Límite se encuentra en la Región Metropolitana de Chile, en la Comuna de Maipú, ubicado en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa de Chile Central y alojado en rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Veta Negra.

Las características del prospecto La Virtud – El Límite son afines con un sistema de vetas cupríferas con plata y oro subordinados hospedado en rocas volcánicas. Las vetas están caracterizadas por ser discordantes a la estratigrafía de rumbo N-S a NW-SE y manteo fuerte hacia el este, y presentan mineralización mixta de sulfuros y minerales oxidados de cobre en superficie y sulfuros de cobre y hierro en niveles más profundos. La zona presenta una alteración propilítica regional cuya asociación mineral característica corresponde a clorita-epidota-calcita-albita±cuarzo±jaspe, los cuales están presentes de forma diseminada en la matriz de la roca y en estructuras como microvetillas, vetillas, vetas, amígdalas y cavidades irregulares.

En superficie, el prospecto posee un nivel lixiviado de aproximadamente 30 metros y presenta minerales como goethita, pirolusita, jarosita, lepidocrocita, hematita pulverulenta, especularita y arcillas blancas. En conjunto con estos minerales de alteración supérgena, se observan minerales oxidados y sulfurados de cobre, caracterizados por atacamita, malaquita, azurita, crisocola, calcosina, bornita y menor covelina, digenita, calcopirita y pirita. En profundidad, se observa una mineralización hipógena de cobre, la cual está representada por pirita, calcopirita y bornita.

Los recursos inferidos de este prospecto se han estimado en 5,16 Mt de andesitas porfíricas mineralizadas con una ley 1,50% de CuT, 8,2 g/ton de Ag y 0,32 g/ton de Au.

## **Agradecimientos**

A mis padres, que se han sacrificado hasta el cansancio para darme lo mejor durante estos años de universidad, mejor dicho, desde que nací. A mis hermanos Cristián y Daniel, por el constante apoyo y siempre recordarme que el trabajo duro rinde frutos cuando no se pierde el objetivo. No saben cuánto valoro tenerlos como familia y estoy infinitamente agradecido de todo lo que me han enseñado en estos 28 años de vida.

A mis profesores durante toda la carrera. A Brian Townley, por su sencillez y estar siempre dispuesto a entregar una palabra de aliento. A Victor Maksaev, por las innumerables discusiones enriquecedoras y por permitir compartir su gran sabiduría.

A toda la gente involucrada en llevar a cabo los terrenos durante la carrera y todo el personal que compone el Departamento de Geología.

A Francisca, por compartir pensamientos y sentimientos iguales a los míos y ayudarme a remar en el mismo sentido en este largo y duro camino. Gracias por soportarme. Nunca te olvidaré.

A mis amigos, los que formaron parte de este proceso desde el inicio, los que quedaron en el camino y los que llegaron durante. Todos me entregaron momentos gratos.

A Fernando López y Rodrigo Luca (GeoAV S.A), por ayudarme y brindarme sus servicios en todo lo referente a este estudio.

A la gente de DV Drilling, que durante la campaña de sondeos compartieron sus historias y experiencias conmigo. Al Miguel, Erik, Chico, Carlos, Seba y Don Daniel. Siempre admiraré sus vidas solitarias en los cerros.

## Tabla de contenido

Tabla de Figuras .....	V
Índice de Tablas .....	XIII
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Presentación .....	1
1.2 Antecedentes regionales .....	1
1.3 Ubicación y accesos.....	3
1.4 Geomorfología y clima .....	3
1.5 Hipótesis de trabajo.....	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 Objetivo principal .....	4
1.6.2 Objetivos específicos .....	4
1.7 Metodología de trabajo.....	4
1.8 Estudios anteriores .....	5
<b>2 MARCO GEOLÓGICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Generalidades .....	10
2.2 Geología regional.....	11
2.2.1 Rocas estratificadas.....	11
2.2.1.1 Formación Lo Prado .....	11
2.2.1.2 Formación Veta Negra .....	12
2.2.2 Rocas intrusivas.....	13
2.2.2.1 Intrusivos Cretácicos .....	13
2.2.3 Cuaternario .....	14
2.2.4 Estructuras tectónicas.....	14
2.3 Metalogénesis .....	15
2.3.1 Yacimientos estratoligados de cobre con plata subordinada en Chile Central	18
2.3.1.1 El Soldado .....	18
2.3.1.2 Lo Aguirre .....	20
2.3.1.3 Distrito Minero Naltagua .....	20
2.3.1.4 La Africana .....	22
2.4 Metamorfismo .....	23
2.5 Evolución geodinámica.....	25
<b>3 GEOLOGÍA LOCAL.....</b>	<b>27</b>
3.1 Geología local .....	31
3.1.1 Rocas de la Formación Veta Negra.....	31
3.1.1.1 Andesita porfírica .....	31
3.1.1.2 Andesita porfírica de grano grueso ("ocoíta").....	32
3.1.1.3 Rocas piroclásticas .....	32
3.1.2 Rocas intrusivas.....	34
3.1.3 Alteración .....	35
3.1.4 Mineralización .....	40
3.1.4.1 Secuencia paragenética.....	44
3.1.5 Estructuras tectónicas.....	47
3.2 Sondajes .....	52
3.2.1 Sondaje EN-393-16 .....	53
3.2.2 Sondaje EN-394-16 .....	60

3.2.3	Sondaje EN-395-16 .....	65
3.2.4	Sondaje EN-396-16 .....	73
3.2.5	Sondaje EN-420-16 .....	78
<b>3.3</b>	<b>Geoquímica .....</b>	<b>82</b>
3.3.1	Campaña geoquímica de superficie en La Virtud – El Límite .....	82
3.3.1.1	Metodología de muestreo de esquilas de rocas para análisis químicos..	82
3.3.1.2	Metodologías analíticas.....	83
3.3.1.3	Control de Calidad.....	85
3.3.1.4	Resultados geoquímicos .....	87
3.3.2	Campaña de sondajes realizada por DV Drilling .....	90
3.3.2.1	Control de Calidad.....	92
3.3.2.2	Sondaje EN-393-16.....	95
<b>3.4</b>	<b>Estimación de Recursos y Recomendaciones .....</b>	<b>96</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>108</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>116</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>125</b>

## Tabla de Figuras

Figura 1.1. Concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite con coordenadas UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). En color negro se demarcan las áreas que cubren las concesiones mineras de explotación, mientras que en color rojo se delimita la zona de estudio. ....	2
Figura 1.2. Ubicación y vías de acceso. En color rojo se demarca el área que encierra el Prospecto Cuprífero La Virtud – El Límite. ....	3
Figura 1.3. Mapa de ubicación de los yacimientos próximos a las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite, indicando tipo de depósito y rumbo general de las vetas de cobre. En el rectángulo amarillo se encierra el prospecto cuprífero vetiforme La Virtud – El Límite. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). Modificado de Gana et al. (1999) y de Sellés y Gana (2001). ....	9
Figura 2.1. Distribución de las unidades de la primera y segunda subetapa de la primera etapa del Ciclo Andino. Primera subetapa: 1, rocas intrusivas; 2, depósitos de arco; 3, depósitos marinos de tras-arco; 4, depósitos continentales de tras-arco; 5, depósitos Kimmeridgianos (sucesiones continentales clásticas rojas y lavas). Segunda subetapa: 6, rocas intrusivas; 7, depósitos de arco; 8, depósitos marinos de tras-arco; 9, depósitos continentales de tras-arco. Modificado de Charrier et al. (2007). ....	10
Figura 2.2. Depósitos estratoligados de Cu-(Ag) en Chile. En la figura se observan 2 franjas principales: entre los 21°-26°S se ubica la franja correspondiente al Jurásico, mientras que entre los 30°-34°S están los depósitos del Cretácico Inferior. Modificado de Makshev et al. (2007). ....	16
Figura 2.3. A) Principales dominios morfoestructurales de Chile Central. B) Mapa geológico esquemático de la Cordillera de la Costa entre los 32°30' y 34°15' donde se muestra la Mina El Soldado, Mina Lo Aguirre, Mina La Africana, el Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite y el Distrito Minero Naltagua. Simplificado de Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, Sernageomin (2002). ....	18
Figura 2.4. Perfil paleogeográfico esquemático de la Segunda subetapa de la Primera etapa del Ciclo andino en Chile central entre los 32°S y los 33°S. Como los depósitos del oeste representados en la sección están expuestos en la Cordillera de la Costa y los del lado este afloran en la Cordillera Principal, se infiere que las partes de la mitad del perfil se ubican en el presente en la Depresión intermedia. Abreviaciones de las unidades estratigráficas: LPeF, Formación Los Pelambres; LPrF, Formación Lo Prado; LVF, Formación Lo Valdés; VNF, Formación Veta Negra. Modificado de Charrier et al. (2007). ...	26
Figura 3.1. Vista en dirección NW del Prospecto Cuprífero La Virtud – El Límite. Notar los despejes de camino de las áreas cubiertas por trabajos de maquinaria pesada y la alta densidad de vegetación hacia el interior de las quebradas. ....	28
Figura 3.2. Mapa Geológico Local del Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). ....	29

Figura 3.3. Perfil Litológico A – A´ .....	30
Figura 3.4. Andesita porfírica con cloritización débil. ....	31
Figura 3.5. Andesita ocoítica. ....	32
Figura 3.6. Toba cristalina estratificada con intercalaciones centimétricas de andesitas porfíricas. La estratificación presenta distintos niveles de tobas, donde las diferencias corresponden a diferentes tamaños de cristales y porcentajes de fragmentos líticos, los cuales varían desde 5 a 10 % en volumen de roca. ....	33
Figura 3.7. A) Nícoles paralelos. Toba cristalina con textura fragmentada que presenta cristales de plagioclasa, fragmentos de cristales de plagioclasa, magnetita y clorita en los intersticios entre la magnetita y la plagioclasa producto de la cloritización que ha sufrido la roca. Además, se observan escasos reemplazos de plagioclasa por epidota en algunos cristales, lo cual no se percibe en muestra de mano. B) Imagen observada en A) a nícoles cruzados. ....	33
Figura 3.8. Dique andesítico cloritizado. Esta roca presenta un aumento de fenocristales de plagioclasa en relación a las lavas andesíticas de la roca caja. Este aumento corresponde a un 70 % de fenocristales en volumen total de roca en relación al 15 % promedio que presentan las andesitas porfíricas y porfíricas de grano grueso. El dique presenta un rumbo de N10°W con un manteo de 40° al oeste. ....	34
Figura 3.9. Dique diorítico. En color amarillo se delimita el espacio que rellena el cuerpo intrusivo, el cual se encuentra hospedado en andesitas porfíricas de los miembros Purehue y Ocoa de la formación Veta Negra. ....	35
Figura 3.10. Petrografía de dique diorítico. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. La roca intrusiva presenta textura fanerítica caracterizada por un alto contenido de plagioclasa reemplazada escasamente por parches de epidota, mientras que la clorita se observa tanto en los intersticios de los minerales como reemplazando parcialmente a la hornblenda. ....	35
Figura 3.11. Mapa Geológico de Alteración Superficial en el Prospecto La Virtud - El Límite con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). ....	38
Figura 3.12. Perfil de Alteración A-A´ .....	39
Figura 3.13. Imagen en dirección N45°W de la Concesión Minera La Virtud tomada desde la Concesión Minera El Límite. En color rojo se encierran las zonas en superficie que corresponden a las Vetas Superior e Inferior, las cuales presentan mineralización de oxidados de cobre, crisocola, calcopirita, bornita y calcosina. La extensión lateral aproximada en superficie de las Vetas Superior e Inferior, corresponde a 500 y 300 metros respectivamente. ....	40
Figura 3.14. <b>Veta Superior.</b> A) Foto tomada en dirección oeste. Se observa el límite entre el techo de la Veta Superior mineralizada y la roca caja, la cual corresponde a una andesita porfírica cloritizada. B) Foto tomada en dirección N30°E a la parte sur de la Veta Superior en superficie. La veta en esta zona muestra una potencia mínima de 3,5 mt a la entrada del socavón, la cual crece hacia el interior de él. En la imagen se distingue la orientación de la estructura mineralizada, la cual presenta un rumbo de N15°W y manteo de 30° al oeste. ....	41

Figura 3.15. <b>Veta Inferior</b> . En color blanco se delimita el espacio de la veta con minerales oxidados de cobre, crisocola, bornita, calcosina y calcopirita, covelina y digenita subordinadas. Foto tomada en dirección hacia el norte...	42
Figura 3.16. <b>Veta Principal Zona Norte</b> . Esta veta presenta 3 zonas distinguibles: I) Zona de vetillas de cuarzo en roca huésped cloritizada con escasa mineralización de oxidados de cobre, donde una muestra de esta zona arrojó un valor de 0,19% de CuT. II) Zona de roca brechizada y III) Zona de alteración con clorita, vetillas de cuarzo con presencia de óxidos de cobre, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro. Esta zona arrojó mediante análisis geoquímicos un valor de 0,54% de CuT. ....	43
Figura 3.17. Veta El Límite. En color negro se delimita el espacio de la veta con mineralización de minerales oxidados de cobre, crisocola y escasos contenidos de pirita, calcopirita y bornita. ....	44
Figura 3.18. A) Entrecrecimiento de pirita, calcopirita y bornita (mineralización temprana). Digenita, covelina y goethita se presentan como producto de alteración de los minerales mencionados anteriormente, tanto en bordes de cristales como en microfracturas intracristalinas (mineralización tardía). B) Microvetilla discontinua rellena con hematita y bornita en cristal masivo de calcopirita. C) Galena junto a bornita en cristal masivo de calcopirita. Se presentan cristales de hematita especular relleno de cavidad de calcopirita masiva. D) Cristal masivo de bornita con reemplazo de calcosina en bordes y microfracturas. E) Vetilla de calcita con presencia de bornita siendo reemplazada por calcosina. F) Bornita masiva alterada a digenita en los bordes junto con entrecrecimiento de calcosina y covelina. ....	46
Figura 3.19. Secuencia paragenética en el prospecto cuprífero La Virtud – El Límite, éste trabajo. El grosor de las barras indica la abundancia del mineral.	47
Figura 3.20. Falla Principal Zona Norte. Esta falla presenta 3 zonas distinguibles: I) Zona de vetillas de cuarzo en roca huésped cloritizada con escasa mineralización de oxidados de cobre, II) Zona de roca brechizada y III) Zona de alteración con clorita, vetillas de cuarzo con presencia de minerales oxidados de cobre, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro. ....	48
Figura 3.21. Lineamientos principales entre los 33°30' y 33°35'. Los lineamientos en color negro representan principales fallas observadas, inferidas y el contacto entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra. El rectángulo amarillo encierra el área del Prospecto cuprífero La Virtud - El Límite. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). Modificado de Gana et al. (1999) y de Sellés y Gana (2001). ....	49
Figura 3.22. Fracturas multidireccionales en el Prospecto La Virtud - El Límite. A) Falla vertical de 3 cms de potencia con relleno de óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas y escasos minerales oxidados de cobre. B) Sistemas de diaclasas de menos de 2 cm de potencia. C) y D) Sistemas de vetillas paralelas de cuarzo, donde las vetillas presentan potencias menores a 3 cms. ....	50
Figura 3.23. Mapa Estructural de la zona de estudio donde se indican las principales fallas y la ubicación de los sondajes realizados durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).....	51



Figura 3.24. Distribución de los sondajes realizados por la empresa DV Drilling durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). .....	52
Figura 3.25. Andesita porfírica entre los 15,30 y 15,60 metros de profundidad con alteración clorita-epidota-albita-carbonatos. En la figura se aprecia la epidotización selectiva que presentan los fenocristales de plagioclasa. ....	57
Figura 3.26. Brecha volcánica polimíctica entre los 40,15 y 40,50 metros de profundidad. La matriz está compuesta de una andesita porfírica con fenocristales de 2 mm cubriendo un 15 % de la matriz de la roca. Los 2 tipos de fragmentos corresponden a clastos angulosos de andesita porfírica con tamaño entre 1 y 2 cms de largo, y clastos angulosos a sub-angulosos de andesita porfírica de grano grueso cloritizada con tamaños entre 8 y 10 cms de largo. ....	57
Figura 3.27. Andesita afanítica entre los 68,20 y 68,50 metros de profundidad. La roca presenta cloritización con escasas microvetillas de calcita. ....	58
Figura 3.28. Andesita afanítica mineralizada a los 77,55 metros de profundidad. Mineralización de bornita y calcosina en vetilla de calcita de 2 mm a 2 cm de potencia.....	58
Figura 3.29. Andesita porfírica con fenocristales de albita rosada entre los 108,20 y 108,25 metros de profundidad. La coloración de los fenocristales se debe a la presencia de microinclusiones de hematita en la estructura cristalina de las plagioclasas, las cuales indican el carácter oxidante del proceso de alteración. ....	59
Figura 3.30. Mineralización de calcopirita y pirita en vetas de cuarzo, correspondientes al intercepto principal de 2,2 metros de potencia aparente. El tramo observado en la figura se ubica entre los 178,10 y 178,50 metros de profundidad del sondaje.....	59
Figura 3.31. Epidotización selectiva de fenocristales de plagioclasa y venilla de calcita en andesita con textura porfírica seriada. El tramo de la figura se presenta entre los 6,00 y 6,25 metros de profundidad.....	64
Figura 3.32. Mineralización de oxidados de cobre, pirita y calcopirita en vetas de cuarzo entre los 6,80 y 7,00 metros de profundidad. La presencia de zonas mixtas con sulfuros y óxidos, indica una lixiviación incompleta de los sulfuros hipógenos. En la figura también se observa la presencia de goethita, lepidocrocita y jarosita, subproductos de la descomposición de minerales sulfurados de cobre y/o hierro, principalmente pirita. ....	64
Figura 3.33. Andesita porfírica de grano grueso entre los 15,40 y 15,70 metros de profundidad. El tamaño de los fenocristales varía entre 5 mm y 1,5 cms y éstos se encuentran parcial a totalmente albitizados o epidotizados e insertos en una matriz débilmente cloritizada.....	65
Figura 3.34. Tramo de posible intercepto de sondaje EN-396-16 con Veta Interior entre los 235,70 y 234,05 metros de profundidad. La veta de cuarzo presenta abundante hematita, calcopirita y pirita. En esta estructura, la hematita pulverulenta llega a contenidos de 60 % en volumen de roca, mientras que la calcopirita y pirita presentan contenidos de 15 % y 10 % respectivamente. ...	78
Figura 3.35. Sondaje EN-420-16. A) Epidotización parcial a total de fenocristales de plagioclasa insertos en matriz cloritizada entre los 10,80 y 10,95 metros de	

profundidad. Además, se observan vetillas de calcita-hematita especular junto con amígdalas y cavidades irregulares de clorita en la matriz. B) Veta de cuarzo-jaspe entre los 41,70 y 41,85 metros de profundidad. ....	82
Figura 3.36. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis químico de las muestras tomadas en las concesiones mineras La Virtud y El Límite durante la campaña de terreno del 29 de diciembre de 2014. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). ....	84
Figura 3.37. Distribución de los sondajes realizados por la empresa DV Drilling durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). ....	91
Figura 3.38. Gráficos de distribución de los valores originales y duplicados de los elementos Cu, Ag y Au para las muestras analizadas del sondaje EN-393-16. ....	93
Figura 3.39. Concentraciones de Cu, Ag y Au más importantes dentro del análisis geoquímico del sondaje EN-393-16. Imagen en dirección norte. ....	95
Figura 3.40. Imagen 3D con las principales vetas observadas en el Prospecto Minero La Virtud – El Límite. El plano de color verde corresponde a la Veta Interior y los planos de color azul representan las Veta Superior e Inferior que presentan zonas mixtas con minerales oxidados y sulfuros de cobre. En color rojo, se representa la Veta Principal Zona Norte, ubicada en la zona norte de la concesión minera La Virtud. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste...	97
Figura 3.41. Intersección Veta Superior con sondaje EN-393-16 en el tramo 73,10 – 78,60 de profundidad. A) Vista en dirección NW. B) Vista en dirección al oeste. ....	99
Figura 3.42. Intersección Veta Interior con sondaje EN-393-16 en el tramo 177,75 – 179,95 de profundidad. A) Vista en dirección norte. B) Vista en dirección N45°W. ....	102
Figura 3.43. Proyección Veta Interior hacia la concesión minera El Límite. La proyección de esta veta pasa a una distancia de 20 metros de la Veta El Límite en la concesión minera El Límite. Imagen en dirección hacia el oeste.....	103
Figura 7.1. Ubicación muestras G1M1, G1M2, G1M7, G1M11, G1M13, G1M15, G1M16, G1M23, G1M25, G1M27, G2M17, LV-05, LV-08, LV-09 y LV-20 con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). ....	130
Figura 7.2. Ubicación muestras EN-395-16-1, EN-395-16-2, EN-395-16-3, EN-395-16-4 y EN-395-16-5.....	131
Figura 7.3. Muestra EN-395-16-1. Andesita porfírica con fenocristales rojizos de plagioclasa en muestra de mano. A) Cavidad irregular con relleno de cuarzo y escasa epidota a Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a Luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados con el polarizador desajustado en 90 grados. ....	132
Figura 7.4. Muestra EN-395-16-2. Andesita porfírica con fenocristales rojizos de plagioclasa en muestra de mano. A) Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a Luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados con el polarizador desajustado en 90 grados. E) Nícoles paralelos. F) Imagen en E) a Nícoles cruzados. ....	133

Figura 7.5. Muestra En-395-16-3. A) Vetilla de cuarzo-epidota. Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Textura intergranular y traquítica en masa fundamental de la roca. D) Imagen en C a Nícoles cruzados. ....	134
Figura 7.6. Muestra En-395-16-4. A) Vetilla de calcita en andesita porfírica. Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. ....	135
Figura 7.7. Muestra EN-395-16-5. Cavidades irregulares en matriz y sobre fenocristales en la roca. A) Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a luz reflejada. D) Nícoles cruzados a luz reflejada con el polarizador desajustado en 90 grados.....	136
Figura 7.8. Muestra G1M1. Minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo con textura de peineta. A) Nícoles paralelos. Malaquita en intersticios de cristales de cuarzo y crisocola relleno algunas fracturas de estos cristales. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Atacamita en intersticios de cristales de cuarzo junto con crisocola y goethita relleno las microfracturas de estos cristales. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano. ....	137
Figura 7.9. Muestra G1M2. Minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo. A) Nícoles Paralelos. Se observa escaso contenido de goethita en fracturas de los cristales de cuarzo. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano. ....	138
Figura 7.10. Muestra G1M7. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Fenocristales de plagioclasa con maclas polisintéticas junto amígdala rellena con epidota y prehnita insertos en una matriz con textura intergranular de microlitos de plagioclasa y magnetita. B) Imagen en A) a Nícoles Cruzados. C) Nícoles Paralelos. Fenocristales inalterados y otros siendo reemplazados totalmente por epidota y mostrando textura sieve, indicando texturas de desequilibrio. D) Imagen en C) a Nícoles Cruzados. E) Muestra de mano. ....	139
Figura 7.11. Muestra G1M11. Andesita porfírica cloritizada. A) Nícoles paralelos. Fenocristales subhedrales de plagioclasa insertos en una matriz intensamente cloritizada. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano. ....	140
Figura 7.12. Muestra G1M13. Minerales oxidados de cobre en intersticios de vetillas de cuarzo. A) Nícoles paralelos. Minerales oxidados de cobre junto con goethita en espacios libres de vetillas de cuarzo. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano. ....	141
Figura 7.13. Muestra G1M15. Brecha volcánica polimíctica. A) Nícoles paralelos. Se observan los distintos clastos delimitados por líneas de color blanco donde unos muestran fenocristales subhedrales y otros presentan bordes sinuosos indicando texturas de desequilibrio. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Clasto con fenocristales subhedrales insertos en una matriz de textura intergranular, en su mayoría de microlitos de plagioclasa y en menor cantidad de cristales de magnetita. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano. ....	142
Figura 7.14. Muestra G1M16. Toba cristalina. A) Nícoles paralelos. La mitad superior de la imagen muestra tamaño menor de cristales y fragmentos de cristales de plagioclasa en comparación con la mitad inferior. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano. ....	143

- Figura 7.15. Muestra G1M23. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Cavidad irregular de calcita y borde externo de cuarzo en matriz de textura intergranular compuesta por microlitos de plagioclasa y cristales de magnetita. B) Imagen A) a Nícoles cruzados. C) Fenocristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa insertos en matriz de textura intergranular con escasos cristales de magnetita. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano.... 144
- Figura 7.16. Muestra G1M25. Diorita de hornblenda. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. C) Muestra de mano. .... 145
- Figura 7.17. Muestra G1M27. Toba cristalina con textura fragmentada. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. C) Muestra de mano. .... 146
- Figura 7.18. Muestra G2M17. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Fenocristal de plagioclasa con reemplazo parcial de clorita y epidota. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Amígdala con relleno externo de epidota e interno de clorita inserta en una masa fundamental con microlitos de plagioclasa y magnetita con textura intergranular. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Nícoles paralelos. Cavidad irregular con bordes de rellenos desde afuera hacia adentro de cuarzo, epidota y clorita respectivamente, inserta en una masa fundamental con microlitos de plagioclasa y magnetita con textura intergranular. F) Imagen en E) a Nícoles cruzados. G) Muestra de mano. ... 147
- Figura 7.19. Muestra LV-05. A) Textura de superficies cóncavas hacia el mineral huésped (calcopirita y pirita) siendo reemplazados por goethita. B) Textura de isla de mineral huésped (pirita) siendo reemplazada por goethita. C) Muestra de mano. .... 148
- Figura 7.20. Muestra LV-08. A) y B): Texturas de reemplazo de bordes cóncavos hacia el mineral huésped. C) Mineralización temprana con entrecrecimiento de pirita, calcopirita y bornita (Luca, 2015). D) Vista detallada de remanentes de bornita en reemplazo casi total por entrecrecimiento de digenita y covelina (Luca, 2015). E) Muestra pulida. .... 149
- Figura 7.21. Muestra LV-09. A) Textura de superficie cóncava en bornita siendo reemplazada por calcosina, además de reemplazos de calcosina por digenita en cantidades trazas. B) Vista detallada de bornita masiva alterada a digenita (bordes) y reemplazo de calcosina por covelina junto con entrecrecimiento entre estos minerales (Luca, 2015). C) Muestra de mano. .... 150
- Figura 7.22. Muestra LV-20. A) Goethita depositada en fractura de cristal masivo de calcopirita el cual está en menor medida entrecrecida junto a bornita. B) Entrecrecimiento de calcopirita masiva con bornita subordinada, donde además se presenta goethita depositada en las fracturas de la calcopirita y agregados microcristalinos de covelina reemplazando bornita. C) Galena junto a bornita en cristal masivo de calcopirita, donde también se puede apreciar cristales de hematita especular relleno una cavidad y hematita pulverulenta relleno fracturas del cristal de calcopirita. D) Microvetilla discontinua con relleno de hematita y bornita en cristal masivo de calcopirita (Luca, 2015). E) Calcopirita masiva con grano cúbico de pirita en asociación con bornita, donde la bornita está a su vez levemente alterada a covelina. F) Calcopirita masiva entrecrecida con bornita subordinada. En las fracturas del cristal de calcopirita se encuentra depositada goethita, y además la bornita está reemplazada por escasos contenidos de digenita y covelina en los bordes del grano mineral. 152

Figura 7.23. A) Vista en dirección norte del Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite. B) Vista hacia el oeste.....	186
Figura 7.24. Sondajes EN-393-16. A) Vista hacia el Norte. B) Vista hacia el oeste. ....	187
Figura 7.25. Sondaje EN-394-16. A) Vista hacia el Norte. B) Vista hacia el oeste. ....	188
Figura 7.26. Sondaje EN-395-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.	189
Figura 7.27. Sondaje EN-396-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.	190
Figura 7.28. Sondaje EN-420-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.	191
Figura 7.29. Sondajes Integrados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	192
Figura 7.30. Veta Superior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	193
Figura 7.31. Veta Inferior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.....	194
Figura 7.32. Veta Interior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.....	195
Figura 7.33. Veta Principal zona norte Propiedad Minera La Virtud. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	196
Figura 7.34. Vetas integradas. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ...	197
Figura 7.35. Mineralización Sondajes. A) Vista al norte. B) Vista al oeste. C) Vista al sur. ....	198
Figura 7.36. Mineralización sondajes en sub-superficie. ....	199
Figura 7.37. Veta Superior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	200
Figura 7.38. Veta Inferior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	201
Figura 7.39. Veta interior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste. ....	202
Figura 7.40. Veta zona norte La Virtud integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.....	203

## Índice de Tablas

Tabla 1.1. Vértices de las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite. Vértices con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).....	1
Tabla 1.2. Yacimientos descritos en la Carta Tilttil - Santiago, ubicados en la proximidad de las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite (Gana et al., 1999). .....	7
Tabla 1.3. Yacimientos descritos en la Carta Talagante - San Francisco de Mostazal, ubicados en la proximidad de las concensiones mineras de explotación La Virtud y El Límite (Sellés y Gana, 2001). .....	8
Tabla 3.1. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-393-16. ....	53
Tabla 3.2. Mapeo de testigos de sondaje EN-393-16. ....	54
Tabla 3.3. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-394-16. ....	60
Tabla 3.4. Mapeo de testigos de sondaje EN-394-16. ....	61
Tabla 3.5. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-395-16. ....	66
Tabla 3.6. Mapeo de testigos de sondaje EN-395-16. ....	67
Tabla 3.7. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-396-16. ....	73
Tabla 3.8. Mapeo de testigos de sondaje EN-396-16. ....	74
Tabla 3.9. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-420-16. ....	79
Tabla 3.10. Mapeo de testigos de sondaje EN-420-16. ....	80
Tabla 3.11. Valores de muestras originales y duplicados correspondientes para análisis geoquímico de campaña en superficie en la Propiedad Minera La Virtud. ....	86
Tabla 3.12. Control de calidad para muestras standard de la campaña en superficie del año 2014. ....	87
Tabla 3.13. Control de calidad geoquímico para las muestras en blanco de la campaña en superficie del año 2014. ....	87
Tabla 3.14. Valores de Au, Ag, Cu, Cu soluble, razón de solubilidad, Fe y Mo en las muestras de las concesiones mineras La Virtud y El Límite. ....	88
Tabla 3.15. Valores de muestras originales y duplicados correspondientes para análisis geoquímico de sondaje EN-393-16. ....	93
Tabla 3.16. Control de calidad para muestras standard del sondaje EN-393-16. ....	94
Tabla 3.17. Control de calidad geoquímico para las muestras en blanco del sondaje EN-393-16. ....	94

Tabla 3.18. Resumen Mineralización de muestras analizadas Veta Superior en concesión minera La Virtud junto con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).....	98
Tabla 3.19. Resumen Mineralización de muestras analizadas en Veta Inferior en concesión minera La Virtud junto con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).....	100
Tabla 3.20. Resumen Mineralización de muestras analizadas en Veta Interior en concesión minera La Virtud Minera y Veta El Límite en concesión minera El Límite con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).....	103
Tabla 3.21. Resumen Mineralización de muestras analizadas en la Veta Principal Zona Norte en la concesión minera La Virtud con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015). ....	104
Tabla 3.22. Estimación de recursos inferidos de cobre del prospecto cuprífero La Virtud - El Límite.....	104
Tabla 3.23. Valores de Ag en las muestras Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte de las concesiones mineras La Virtud y El Límite. Modificado de Luca (2015).....	105
Tabla 3.24. Valores de Au en las muestras de la Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte de las concesiones mineras La Virtud y El Límite. Modificado de Luca (2015).....	106

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación

El presente trabajo de memoria de título se enmarca dentro del proyecto de exploración Minera Mapa en el prospecto cuprífero La Virtud – El Límite, a cargo de las empresas ENAMI y DV Drilling.

El prospecto cuprífero La Virtud – El Límite se encuentra emplazado en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa de Chile Central en la provincia de Santiago, comuna de Maipú, Región Metropolitana, y fue reconocido durante la exploración del Yacimiento Panales, ubicado en la Quebrada La Plata, por la Sociedad Minera Pudahuel Ltda. Posteriormente fue definido como un depósito tipo vetiforme de cobre con oro y plata subordinada.

Este trabajo pretende entregar nueva información acerca de las características estructurales, de alteración y mineralización dentro del prospecto para poder generar un modelo geológico preliminar y así determinar nuevos blancos para sondajes o bien abandonar la zona.

## 1.2 Antecedentes regionales

Las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite se ubican en las faldas orientales de la Cordillera de la Costa, en la comuna de Maipú, Santiago. Los vértices de estas concesiones mineras de explotación se detallan en la Tabla 1.1 y el área que abarcan las concesiones mineras de explotación la Virtud y El Límite corresponde a 50 y 62 hectáreas, respectivamente.

*Tabla 1.1. Vértices de las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite. Vértices con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).*

Propiedad Minera La Virtud			Propiedad Minera El Límite		
Vértices	Norte	Este	Vértices	Norte	Este
V1	6290628	323817	V1	6289693	323832
V2	6290628	324817	V2	6289693	324732
V3	6290128	323817	V3	6289188	324732
V4	6290128	324817	V4	6289188	324282
			V5	6288688	324282
			V6	6288688	323882
			V7	6289188	323882
			V8	6289188	323932
			V9	6289493	323932
			V10	6289493	323832



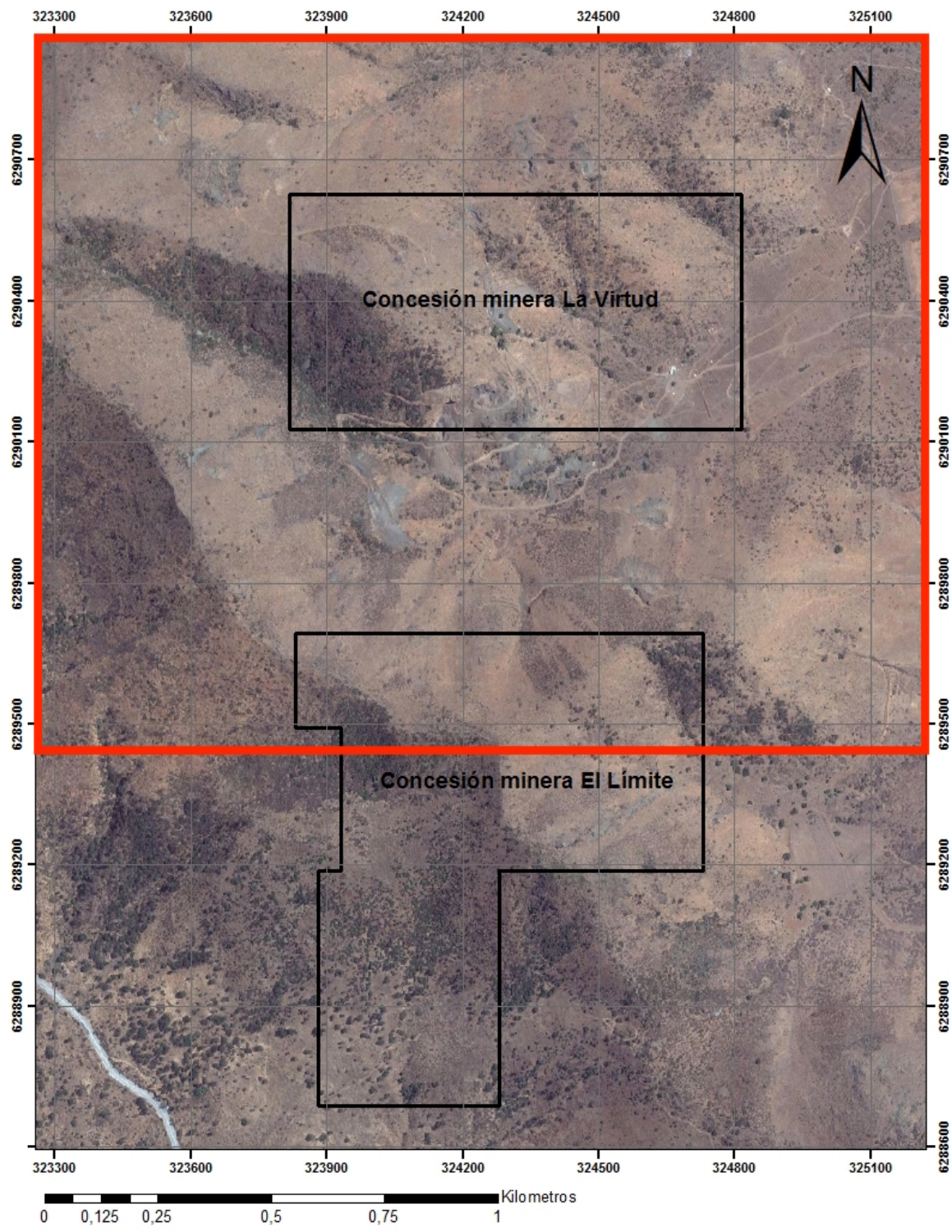


Figura 1.1. Concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite con coordenadas UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). En color negro se demarcan las áreas que cubren las concesiones mineras de explotación, mientras que en color rojo se delimita la zona de estudio.

### 1.3 Ubicación y accesos

El prospecto La Virtud – El Límite se ubica en la Cordillera de la Costa de Chile Central en la Provincia de Santiago, Región Metropolitana, Chile. Se encuentra aproximadamente a 22 kilómetros al oeste de la ciudad de Santiago. El área de estudio comprende un rectángulo de 1.55 x 1.34 km<sup>2</sup>, cuyo punto central está en las coordenadas 6.290.236 N y 324.130 E (Datum WGS 1984 Zona 19S). Esta área de estudio comprende parte de 2 concesiones mineras de explotación distintas: Las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite.

Desde Santiago se accede a la zona de estudio mediante la ruta 78, que une esta ciudad con la provincia de Melipilla. A los 12 kms se accede a mano derecha al Camino Rinconada de Maipú. Se avanza 5.3 kms a través de este camino y finalmente se sigue 5.2 kms en la misma dirección oeste, luego de intersectar con el Camino El Trebal, un camino rural en buen estado, para llegar finalmente al campamento de la Mina La Virtud – El Límite.



Figura 1.2. Ubicación y vías de acceso. En color rojo se demarca el área que encierra el Prospecto Cuprífero La Virtud – El Límite.

### 1.4 Geomorfología y clima

El prospecto La Virtud – El Límite se encuentra ubicado en la unidad geomorfológica de la Cordillera de la Costa. En esta zona la Cordillera vuelve a ser elevada y maciza, llegando sobre los 2000 m s.n.m y alcanzando alturas de 1000 m s.n.m en las serranías que bordean el Río Maipo. Más hacia el sur, se presenta discontinua, permitiendo el contacto entre la depresión intermedia y las planicies litorales.

El clima corresponde al tipo mediterráneo seco, caracterizado por abundantes lluvias invernales y una estación seca en los meses de verano. Entre el otoño y el invierno (desde mayo a septiembre) se registra el 80% de las precipitaciones anuales de un total de 356 mm, mientras que entre diciembre y marzo las lluvias no superan los 4 mm.

En cuanto a la temperatura, Santiago presenta un clima templado, con una media anual en el entorno de los 13°C. Al igual que las precipitaciones, las temperaturas varían en las distintas estaciones, con una media de 22°C en verano y de 7°C en los meses de invierno. La Cordillera de la Costa influye para que los rasgos marítimos no suavicen la temperatura del interior de la cuenca, hecho que explica las diferencias de promedio entre Valparaíso y Santiago (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, s.a., Junio 2016).

## **1.5 Hipótesis de trabajo**

En el prospecto minero La Virtud – El Límite existe mineralización del tipo vetiforme de cobre con plata y oro subordinado, la cual presenta en su distribución control del tipo estructural y en grado de ocurrencia del tipo litológico, constituyendo un potencial proyecto relevante de exploraciones en la región.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo principal**

Este trabajo tiene como objetivo principal definir un modelo de depósito para el prospecto cuprífero La Virtud – El Límite y hacer una estimación preliminar del potencial de recursos de cobre.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo corresponden a:

- Determinar el control litológico y/o estructural de la mineralización.
- Determinar los tipos de alteración hidrotermal y asociaciones mineralógicas metálicas, tanto hipógenas como supérgenas.
- Proponer un modelo de mineralización y estimar un potencial de recursos minerales.

## **1.7 Metodología de trabajo**

El estudio del prospecto involucra trabajo de terreno donde se generó un mapa geológico a escala 1:5.000, el cual se fue digitalizado posteriormente. En la zona se definió litología, mineralización, estructuras y tipos de alteración hidrotermal existentes.

Posterior al trabajo de terreno, se realizó una segunda campaña de revisión y mapeo de 1278 metros de testigos de sondajes que estuvieron a cargo de la compañía DV Drilling. Una vez revisados los testigos, se generaron perfiles de la zona y se determinaron las relaciones de contacto entre las unidades. Finalizada esta tarea, y usando esta información junto a la recopilada en superficie, se determinaron los cuerpos mineralizados y la geometría de ellos.

Una vez elegidas las muestras de la campaña de terreno y la campaña de sondajes, se enviaron aquellas muestras consideradas relevantes al Taller de Cortes del Departamento de Geología de la Universidad de Chile para confeccionar cortes transparentes y transparentes pulidos.

Consecutivamente, se realizó análisis de roca a través de cortes transparentes y transparentes pulidos usando microscopía óptica para determinar las asociaciones minerales tanto de alteración como de mineralización.

Además, se realizó análisis de microscopía electrónica de barrido en fenocristales y microlitos de plagioclasa con el fin de determinar la composición elemental de los cristales de este mineral. Este estudio se llevo a cabo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

Obtenidos los datos geoquímicos de la campaña de sondajes, esto sumado a los datos geoquímicos de la campaña en superficie realizada por la empresa GeoAV S.A durante la visita a terreno del 29 de diciembre de 2014, se determinaron las leyes de los cuerpos mineralizados y se realizó una estimación preliminar del potencial del prospecto.

## **1.8 Estudios anteriores**

El prospecto cuprífero La Virtud – El Límite fue reconocido inicialmente durante la exploración de la Mina Panales por la Sociedad Minera Pudahuel Ltda en el año 1960. Aunque el prospecto fue reconocido y se delimitó su área, sólo se realizaron tareas de extracción artesanales, y actualmente sólo se cuenta con un informe de evaluación de recursos realizado por la empresa consultora GeoAV S.A. (2015).

El área de Tiltill - Santiago y Talagante - San Francisco de Mostazal presenta numerosos yacimientos e indicios de minerales metálicos (cobre, oro y plata), principalmente en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, hospedados tanto en los cuerpos intrusivos como en las formaciones volcánicas y sedimentarias cretácicas. Mineralización vetiforme de cobre se aloja en intrusivos cretácicos al este de Tiltill y cerros de Lo Aguirre, y en rocas volcanoclásticas de la Formación Las Chilcas al este de Polpaico. En el sector de Lo Prado, vetas de cobre se alojan en rocas volcánicas de las formaciones Lo Prado y Veta Negra (cordón de cerro Las Minas y distrito Panales, en la quebrada La Plata). Entre los yacimientos de

forma irregular destaca Lo Aguirre, hospedado en el miembro Purehue de la Formación Veta Negra. Vetas de cobre-oro y oro-cobre se alojan en intrusivos cretácicos al norte de la cuesta La Dormida (Gana et al., 1999).

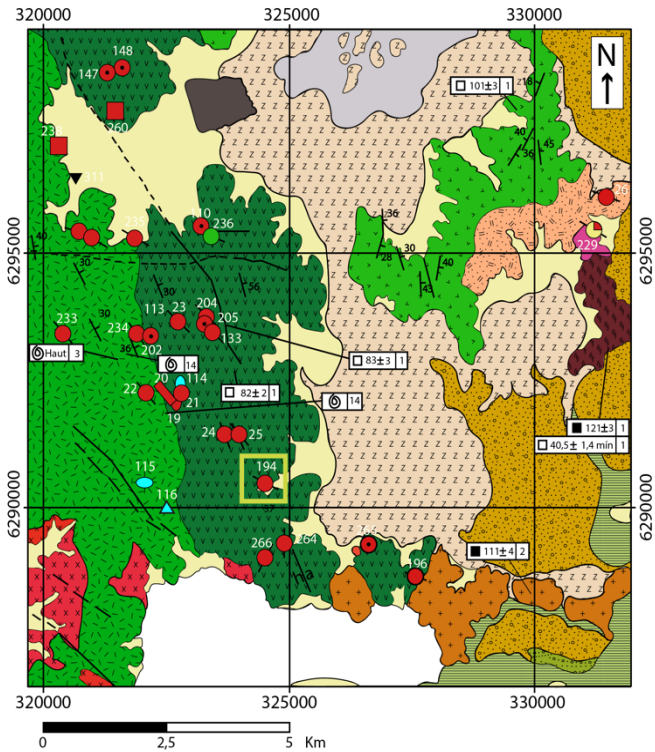
Entre los recursos no metálicos y rocas industriales, destacan las calizas, intercaladas en las formaciones Las Chilcas y Lo Prado, explotadas para la fabricación de cemento en la mina cerro Blanco de Polpaico y quebrada La Plata. La Ignimbrita Pudahuel representa una importante fuente de puzolana en sus afloramientos al oeste de Santiago. De igual modo, los depósitos aluviales y fluviales, que forman parte del relleno de la cuenca de Santiago, son objeto de intensa explotación como fuente de áridos para construcción (arenas y ripio). Yacimientos de arcillas, para fabricación de ladrillos, se asocian a los depósitos lacustres cuaternarios en Huechuraba y Batuco, al norte de Santiago (Gana et al., 1999).

Tabla 1.2. Yacimientos descritos en la Carta Tiltit - Santiago, ubicados en la proximidad de las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Limite (Gana et al., 1999).

Carta: Geología del Área Tiltit-Santiago								
Región Metropolitana de Santiago								
Número	Nombre del Yacimiento	Coordenadas UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S)		Mena/Recurso	Roca de caja o Roca Parental	Forma del Yacimiento	Rumbo/Manteo	Referencias
		Norte	Este					
133	Santo Cristo	6293456	323460	Cu	Andesita	Veta		Trask. 1962
147	San Antonio	6299510	321325	Cu	Andesita			Sociedad Minera Pudahuel, 1994
148	Carretón	6298660	321615	Cu	Andesita porfírica de grano grueso			Sociedad Minera Pudahuel, 1994
202	Águila Condor	6293350	322195	Cu	Andesita porfírica de grano grueso			Sociedad Minera Pudahuel, 1994
204	Portezuelo	6293760	323340	Cu	Pórfido diorítico			Sociedad Minera Pudahuel, 1994
205	Mantos Verdes	6293605	323305	Cu				Sociedad Minera Pudahuel, 1994
234	Quijote	6293428	321915	Cu	Andesita	Veta	N40°W	SERPLAC/MINMETAL, 1979
235	Cobre Grande	6295276	321881	Cu	Andesita	Veta	N59°W	SERPLAC/MINMETAL, 1979
233	San Francisco	6293398	320366	Cu	Caliza	Veta	N33°W	SERPLAC/MINMETAL, 1979
238	Lo Aguirre	6297095	320297	Cu	Andesita	Irregular		SERPLAC/MINMETAL, 1979
260	Lo Aguirre (Teatinos)	6297760	321500	Cu	Andesita	Irregular		Gana et al. 1999
311	sin nombre	6296450	320650	Roca chancada	Caliza	Irregular		Gana et al. 1999
110	Tractor	6295510	323215	Cu				
114	Universidad	6292400	322800	Caliza	Areniscas calcáreas	Estratiforme	NS	Muñoz et al. 1956
19	Fuentes, El Sapo, González	6292050	322600	Cu	Calizas, calcarenitas, calcilitas, areniscas tobáceas, andesitas porfíricas	Estratiforme	N60°W	Pérez, 1970
20	El Ojo, Quebrada Norte	6292250	322450	Cu	Calcilitas, andesitas porfíricas	Estratiforme	N20-40°W/20-40°W	Pérez, 1970
21	Riquelme, Mano Sandoval	6292250	322800	Cu	Calizas arenosas	Veta, estratiforme	N20-30°W/70°E	Pérez, 1970
22	Gamboa, Los Quillayes	6292250	322100	Cu	Andesitas brechosas, lamprófidio	Veta	N40°W/52°W	Pérez, 1970
23	Veta Filo Norte	6293650	322750	Cu	Andesita amigdaloidal, andesita porfírica de grano grueso	Veta	N45°W/58°NE	Pérez, 1970
26	La Africana	6296100	331450	Cu	Granodiorita	Veta	N70°W/70°W	Pérez, 1970, Rojas 1971 a,b

Tabla 1.3. Yacimientos descritos en la Carta Talagante - San Francisco de Mostazal, ubicados en la proximidad de las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite (Sellés y Gana, 2001).

Carta: Geología del Área Talagante - San Francisco de Mostazal								
Regiones Metropolitana de Santiago y Del Libertador General Bernardo O'Higgins								
Número	Nombre del Yacimiento	Coordenadas UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S)		Mena/Recurso	Roca de caja o Roca Parental	Forma del Yacimiento	Rumbo	Referencias
		Norte	Este					
24	Veta El Alba	6291450	323680	Cu	Andesita porfírica	Veta	N10-30°W/20-40°W	Pérez, 1970
25	El Carmen	6291450	323980	Cu	Andesita porfírica de grano grueso	Veta	N40°W/45-50°W	Pérez, 1970
194	La Virtud	6290485	324503	Cu	Andesita porfírica	Veta	N60°W	Sociudad Minera Pudahuel, 1994
196	Lautaro, Galvarino	6288650	327550	Cu	Andesita	Veta		SERPLAC/MINMETAL, 1979
264	sin nombre	6289300	324900	Cu	Andesita	Veta	N-S	Sellés y Gana, 2001
265	Nueva Imperial	6289280	326600	Cu	Andesita			Sellés y Gana, 2001
266	sin nombre	6289240	324500	Cu	Andesita	Veta	N30°E	Sellés y Gana, 2001
115	Santa Mónica	6290500	322050	Caliza		Estratiforme		SERPLAC/MINMETAL, 1979
116	Marruecos	6290000	322500	Caliza				SERPLAC/MINMETAL, 1979



**SIMBOLOGÍA DE YACIMIENTOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS**

MENA O RECURSO	FORMA DEL YACIMIENTO
<span style="color: red;">●</span> cobre	<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> Vetiforme (con indicación de rumbo)
<span style="color: gold;">●</span> oro	<span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Irregular, bolsón
<span style="color: green;">●</span> plata	<span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Estratoligado (orientado según rumbo)
<span style="color: cyan;">●</span> caliza	<span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Estratiforme, mantiforme (orientado según rumbo)
<span style="color: black;">●</span> óxido de hierro	<span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Estratiforme, mantiforme (sin orientación conocida)
<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> mena principal	<span style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Chimenea de brecha
<span style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> mena subordinada	<span style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> Irregular
	<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> Sin información

**FUENTE DE DATACIONES RADIOMÉTRICAS**

- 1 Gana et al. (1999)
- 2 Sellés y Gana (2001)

**MATERIAL FOSILÍFERO**

- ⊙ Invertebrados marinos

**FUENTE DE INFORMACIÓN BIOESTRATIGRÁFICA**

- 3 Tavera, 1952; Herm, 1965
- 14 Pérez, 1970

Figura 1.3. Mapa de ubicación de los yacimientos próximos a las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite, indicando tipo de depósito y rumbo general de las vetas de cobre. En el rectángulo amarillo se encierra el prospecto cuprífero vetiforme La Virtud – El Límite. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). Modificado de Gana et al. (1999) y de Sellés y Gana (2001).



## 2 MARCO GEOLÓGICO

### 2.1 Generalidades

La geología regional de la Cordillera de la Costa de Chile entre los 33° y los 34° latitud sur durante el Cretácico Inferior, se constituye principalmente por una secuencia de gran potencia de rocas volcánicas de la Formación Veta Negra, siendo subyacida en concordancia por la Formación Lo Prado (Levi, 1968), una secuencia marina batial cubierta por ignimbritas interestratificadas con rocas sedimentarias litorales y continentales. Sobreyaciendo a la Formación Veta Negra, se encuentran depósitos de materiales no consolidados que corresponden a suelo orgánico, fragmentos de roca y granos minerales. Estas secuencias fueron intruídas por granitoides del Cretácico Inferior a Superior (Vergara et al., 1995). En la Figura 2.1 se muestra como se distribuyen estas unidades en Chile Central:

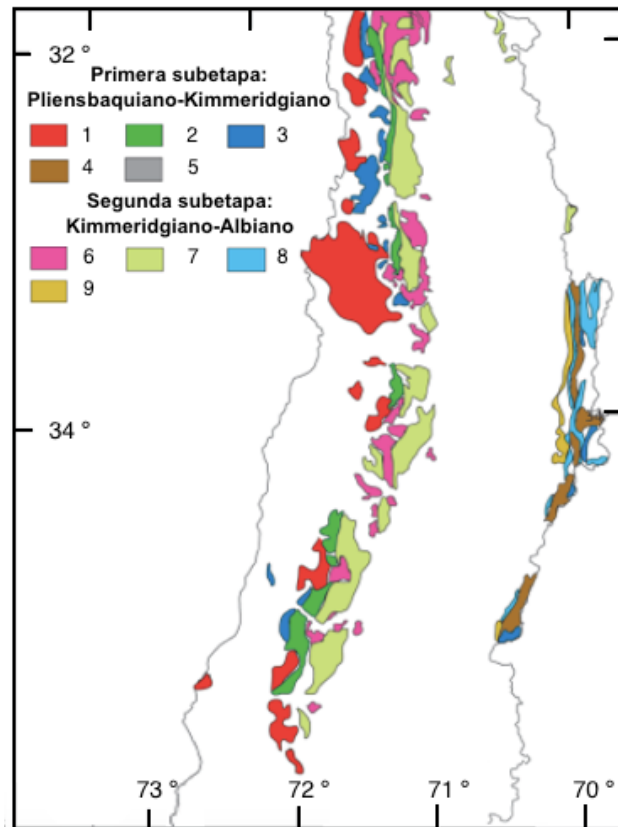


Figura 2.1. Distribución de las unidades de la primera y segunda subetapa de la primera etapa del Ciclo Andino. Primera subetapa: 1, rocas intrusivas; 2, depósitos de arco; 3, depósitos marinos de tras-arco; 4, depósitos continentales de tras-arco; 5, depósitos Kimmeridgianos (sucesiones continentales clásticas rojas y lavas). Segunda subetapa: 6, rocas intrusivas; 7, depósitos de arco; 8, depósitos marinos de tras-arco; 9, depósitos continentales de tras-arco. Modificado de Charrier et al. (2007).

## 2.2 Geología regional

### 2.2.1 Rocas estratificadas

#### 2.2.1.1 Formación Lo Prado Berriasiano-Hauteriviano (Piráces, 1976)

Unidad sedimentaria marina y volcánica que consiste en una secuencia marina batial cubierta por ignimbritas interestratificadas con rocas sedimentarias litorales y continentales. Esta formación se divide en un miembro inferior sedimentario marino coincidente con la Formación Patagua de Carter et al. (1961) y un miembro superior continental con alternancias marinas correspondientes a las formaciones Pachacama y Lo Prado definidas por Thomas (1958). Se dispone en pseudo-concordancia (Piráces, 1976; Nasi, 1981), en discordancia (Vergara et al., 1995) y en aparente concordancia (Gana et al., 1996) sobre la Formación Horqueta o sobre granitoides del Cretácico Inferior y subyace en concordancia a la Formación Veta Negra y localmente, a los Estratos de Horcón de Piedra (Cretácico Inferior), estos últimos correlacionables con la Formación Las Chilcas (Wall et al., 1996).

Su asociación de fauna cronoestratigráficamente de mayor relevancia corresponde a bivalvos y ammonites, los que en conjunto señalan el intervalo Berriasiano-Hauteriviano (Nasi, 1981). Esta edad se corrobora con la edad plateau  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 132 Ma en plagioclasa en un dique mineralizado del yacimiento El Soldado (32°38'S) que Boric y Munizaga (1994) asignaron al volcanismo de esta formación.

Cerca de la zona de estudio se encuentra intruida por granitoides del Cretácico datados en 114-104 Ma mediante  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  en biotita y  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  en anfíbola (Sellés y Gana, 2001) que generan extensas aureolas de contacto y zonas de alteración hidrotermal que hospedan principalmente mineralización estratiforme de cobre y se presentan asociada a mantos de calizas.

Su potencia aumenta hacia el sur junto con el aumento en la proporción de los depósitos volcánicos y la disminución de rocas calcáreas en su base. El espesor máximo estimado al sur del río Maipo es de 5.800 metros.

- Miembro Inferior (ó Patagua): Secuencia sedimentaria marina, compuesta por calizas, limolitas, areniscas calcáreas fosilíferas marinas, lutitas calcáreas, areniscas y conglomerados con escasas intercalaciones de lavas riolíticas y andesíticas. En su base presenta estratificación gradada, graywackas o brechas sedimentarias seguidas hacia arriba por limolitas finamente laminadas y localmente calizas, indicando para su formación un ambiente marino batial. Lentas de conglomerados sobreyacidos por capas de coquinas en la base del miembro y algunas ignimbritas en su parte superior indican un ambiente desde inicio a fin, como litoral a sublitoral. La fauna corresponde a ammonites y pelecípodos, en base

a la cual se determinó una edad Neocomiana para este miembro, Valanginiana al norte del río Aconcagua y Berriasiana al sur del río Maipo. De acuerdo a la fauna fósil y a la litología se estableció un ambiente batial a sublitoral (Vergara et al., 1995).

- Miembro Superior: conformado por rocas sedimentarias marinas y continentales intercaladas con voluminoso volcanismo bimodal que consiste principalmente en ignimbritas ácidas y menor cantidad de lavas básicas tipo ocoítas. Son comunes los cambios de facies verticales y laterales a escala pequeña, en que las rocas marinas y continentales sedimentarias pasan de una manera abrupta a rocas volcánicas. Se observa una interestratificación hacia el este de rocas sedimentarias continentales con marinas (Levi, 1968). Está intruído por abundantes diques y cuerpos subvolcánicos ácidos, de similares características petrográficas y espaciales a las rocas volcánicas ácidas del miembro, en base a lo cual se ha propuesto que estos cuerpos intrusivos corresponden a los alimentadores de las rocas extrusivas ácidas (Levi et al., 1973; Klohn et al., 1960). Las rocas volcánicas ácidas son más abundantes en su parte inferior, en donde se interestratifican con calizas y gradan a brechas y areniscas volcanoclásticas de depósito en ambiente marino (Vergara et al., 1995). Las ocoítas se tornan más abundantes en la parte superior del miembro, especialmente al sur del río Aconcagua, en donde se han descrito peperitas (Dávila y Galatzan, 1979; Morata et al., 2004), y lavas almohadillas al norte del río Aconcagua (Vergara et al., 1995). Las rocas sedimentarias clásticas marinas son principalmente areniscas gris verdosas con cemento de calcita, comúnmente con restos de plantas (Nasi y Thiele, 1982). Las rocas sedimentarias continentales, areniscas gris rojizas y lentes de conglomerados, son más abundantes en la parte superior del miembro, y presentan características de sedimentación de ambiente deltaico (Levi et al., 1968). Se ha indicado para este miembro un ambiente sublitoral a litoral de acuerdo a la asociación faunística, su litología y relaciones estratigráficas. En base a la fauna presente, se le asignó una edad Neocomiana, Valanginiana en la parte inferior y Hauteriviana en la parte superior.

#### 2.2.1.2 Formación Veta Negra Barremiano-Albiano (Thomas, 1958)

Unidad volcánica que consiste en una gruesa pila de flujos básicos a intermedios, tipo “ocoítas”, con intercalaciones sedimentarias subordinadas, emplazados en un ambiente continental. La morfología de estos flujos andesíticos fue descrita por Åberg et al. (1984) como *flood basalts*. Se dispone concordantemente sobre la Formación Lo Prado y su contacto superior con la Formación Las Chilcas ha sido descrito como discordante (Levi, 1968) y concordante (Thomas, 1958). Al sur del río Maipo localmente subyace concordantemente a los Estratos de Horcón de Piedra (Cretácico Inferior?). Se encuentra intruída por granitoides del límite Cretácico Inferior-Superior (Albiano-Cenomaniano). Thomas (1958) distinguió dos miembros en esta formación:

- Miembro Purehue (inferior): conformado por rocas volcánicas y sedimentarias rojas. Las rocas volcánicas son lavas andesíticas, frecuentemente brechosas y/o vesiculares. Hacia el techo disminuyen las rocas volcánicas y predominan los sedimentos rojizos, principalmente areniscas, conglomerados y brechas. El ambiente de formación es continental volcánico. En el sector de Valparaíso-Curacaví se estimó una potencia máxima de 900 metros, la que más al norte alcanza hasta los 2400 metros (Gana et al., 1996).

- Miembro Ocoa (superior): formado casi en su mayoría por “ocoítas”, con menores intercalaciones de tobas y areniscas. Las condiciones de depositación corresponden a un ambiente continental volcánico. En la localidad de Ocoa, presenta una potencia de 4000 metros (Gana et al., 1996).

Al sur del río Maipo, el espesor de esta formación disminuye a una potencia máxima de 2350 metros (Nasi y Thiele, 1982), constituyéndose por lavas e intrusivos ocoíticos, lavas afaníticas andesíticas, tobas de cenizas rojas intermedias-ácidas, areniscas rojas y escasos lentes calcáreos, no diferenciándose entre ambos miembros (Wall et al., 1996; Sellés y Gana, 2001), en donde las intercalaciones marinas de areniscas calcáreas, calizas bioclásticas y micritas, se encuentran en toda la unidad evidenciando la persistencia de episodios marinos hasta fines del Cretácico Inferior (Nasi y Thiele, 1982). Sin embargo, no ha sido posible determinar una edad en base a la asociación faunística.

En base a sus relaciones estratigráficas se le asigna una edad Barremiano-Albiano, subyacida por la Formación Lo Prado de edad Hauteriviana e intruída en su parte superior por granitoides de edad Cenomaniana (Munizaga y Vicente, 1982). Edades radiométricas realizadas mediante K-Ar en plagioclasas de “ocoítas” han datado el volcanismo entre 105 Ma (Vergara y Drake, 1979) y 119 Ma (Aguirre et al., 1999; Fuentes et al., 2005). En el yacimiento El Soldado (32°38'S) una edad plateau  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en plagioclasa de  $122,7 \pm 1,1$  Ma proveniente de un dique ocoítico emplazado en la Formación Lo Prado (Barremiano), es asignada a la edad del magmatismo ocoítico de la Formación Veta Negra (Boric y Munizaga, 1994). Edades obtenidas en minerales secundarios presentes en ocoítas, así como en roca total de ocoítas muy alteradas, oscilan entre los 102-92 Ma. Estas edades han sido interpretadas como la edad del evento metamórfico que las afectó ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  en roca total alterada y epidota en amígdala, Åberg et al., 1984;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en feldespato, Morata et al., 1997;  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en adularia, Aguirre et al., 1999), por lo que en base a edades radiométricas, el magmatismo es coincidente con una edad Albiano-Aptiano.

## **2.2.2 Rocas intrusivas**

### **2.2.2.1 Intrusivos Cretácicos**

El plutonismo fue casi nulo durante gran parte del Cretácico Inferior, reactivándose en el Aptiano (118 Ma, Corvalán & Munizaga, 1972). Estos plutones

conforman la franja oriental del Batolito Costero aflorando en el flanco este de la Cordillera de la Costa entre los 18°30' - 35°S (Parada et al., 1990). Hacia el sur, afloran de manera discontinua en la Cordillera Principal (Hervé et al., 1988), mientras que hacia el norte del río Aconcagua, entre los 30°30' - 32°30'S, constituyen la Superunidad Illapel (Rivano et al., 1985).

En la zona de estudio se disponen como una franja NS que varía a NE al sur de los 33°40' en donde se encuentra la Anomalía de Melipilla. Se encuentra constituida por granodioritas de anfíbola y tonalitas silicificadas y epidotizadas (Unidad Puangue) que representan el Cretácico Inferior (118 Ma, Corvalán & Munizaga, 1972); granodioritas de hornblenda y biotita y tonalitas (Unidad La Dormida), que representan el límite Cretácico Inferior-Superior (85-96 Ma, Dávila et al., 1979; Gana et al., 1996). En forma subordinada se observan gabros, dioritas, leucogranitos y pórfidos (Gana et al., 1994a). Se caracteriza por ser una serie calcoalcalina, tipo I, metaluminosa.

Intruyen a la secuencia volcano-sedimentaria del Jurásico Superior y Cretácico Inferior-Medio, correspondiente a estratos de las formaciones Horqueta, Lo Prado, Veta Negra, Las Chilcas y a cuerpos plutónicos del Jurásico y Paleozoico. Estos cuerpos intrusivos están relacionados a zonas de alteración hidrotermal y/o depósitos de cobre-skarn (Gana et al., 1994a).

### **2.2.3 Cuaternario**

Los depósitos cuaternarios están compuestos por depósitos coluviales, ubicados en las faldas y a los pies de los cerros, en los costados de quebradas y en pequeños valles intermontanos. Además, existe presencia de depósitos fluviales y fluviales antiguos (Pleistoceno superior - Holoceno), siendo estos últimos vinculados a cursos fluviales abandonados, como depósitos fluviales aterrizados y depósitos en cauces abandonados, inundados esporádicamente. También se encuentran en la zona de estudio depósitos aluviales del río Maipo (Plioceno-Pleistoceno superior), que corresponden a barras fluviales en zonas proximales de abanicos aluviales, y arenas, limos y arcillas en zonas más distales. Finalmente, se encuentran depósitos de la Ignimbrita Pudahuel, que corresponden a depósitos piroclásticos de ceniza y lapilli pumíceos, de composición riolítica, con una potencia máxima de 5 metros al sur de Melipilla (Wall et al., 1996).

### **2.2.4 Estructuras tectónicas**

Entre los 32° - 34°S, las secuencias estratificadas que forman parte de la Cordillera de la Costa se disponen según una estructura homoclinal de rumbo general NS-NNW y manteo variable entre los 25°-60°E, con los mayores buzamientos correspondientes a las rocas más antiguas (Nasi, 1981).

Las estructuras principales corresponden a lineamientos y fallas verticales a subverticales, de tendencia N-S a NNW-SSE, paralelas a subparalelas a los valles,

que involucran movimientos de rumbo, rotación y alzamiento de bloques durante el Cretácico. Estas fallas antes mencionadas aparentemente se alinean de forma paralela al rumbo general de las formaciones (N-S variando a NNW-SSE) y perpendiculares a sus manteos, indicando que posiblemente son fallas extensionales asociadas a los mismos conductos volcánicos que generaron las unidades de roca caja, previo al basculamiento y deformación general de la zona.

La estructura de orden regional más importante corresponde al Oroclino del Maipo y sus estructuras asociadas, donde las formaciones jurásicas y cretácicas son cortadas por estas estructuras NW-SE entre los 33° y 34° latitud sur. La forma en que afecta esta megaestructura a las formaciones es cambiando la dirección de los contactos entre ellas: éstas se disponen N-S a NNW-SSE al norte del oroclino, mientras que la disposición es N-S a NNE-SSW al sur de él, donde la dirección sufre una rotación aproximada de 30° (Arriagada et al., 2013).

La segunda estructura en orden importancia regional corresponde a la Falla Melipilla (33°40', Wall et al., 1996), de orientación EW en el sector de San Antonio-Melipilla variando a W-NW hacia el oeste del Estero Puangue en donde coincide con la foliación de ortogneisses y ortoanfíbolitas. Desplaza granitoides paleozoicos-cretácicos y a la sucesión mesozoica, exponiendo hacia la costa niveles corticales más profundos y deformados. Es interpretada como una falla subvertical de rumbo dextral y/o transpresional (Gana et al., 1994b; Gana y Tosdal, 1999). La Falla Melipilla coincide con un importante lineamiento magnético, de mediana a gran intensidad, denominado Anomalía de Melipilla, y con el valle del río Maipo. Esta anomalía estaría asociada a un cuerpo máfico tabular inclinado suavemente hacia el sur (Yañez et al., 1998). Lineamientos y fallas de dirección NW de gran extensión (coincidente con la depresión de la Laguna de Aculeo) se continúan hacia el occidente con una orientación NW a WNW y forman parte de la Falla Melipilla.

Para las estructuras NW se ha inferido una edad mínima Pensilvaniano (Carbonífero tardío), basado en una posible relación con el emplazamiento de plutones básicos con edades entre 300 y 320 Ma (Deckart et al., 2014) expuestos en el sector entre Valparaíso y Quintay que presentan una foliación magmática predominante y deformación milonítica orientada paralelamente a las fallas noroeste en las cercanías a éstas (Yañez et al., 1998).

Este sistema tiene una larga historia de deformación, activo entre el Triásico Superior y el Cretácico Superior (Yañez et al., 1998). La reactivación de las fallas normales (episodio compresivo) habría tenido lugar al comienzo del Cretácico Superior, alrededor de los 98-90 Ma, probablemente relacionada al alzamiento de la Cordillera de la Costa (Gana y Zentilli, 2000).

## **2.3 Metalogénesis**

Los depósitos estratoligados de cobre con plata subordinada ocurren a lo largo de la Cordillera de la Costa almacenados en rocas volcánicas y volcano-

sedimentarias del Jurásico y Cretácico Inferior (Maksaev et al., 2007). Estos depósitos estratoligados históricamente fueron la segunda mayor producción de cobre en Chile después de los depósitos Pórfido Cuprífero del Cenozoico, aunque recientemente han sido desplazados al tercer lugar por la explotación de los depósitos tipo IOCG-IOA, representados por los yacimientos Candelaria y Manto Verde (Marschik & Fontboté, 2001a; Vila et al., 1996; Zamora & Castillo, 2001).

En Chile, existen 2 franjas metalogénicas en la Cordillera de la Costa para este tipo de depósitos: una franja del Jurásico entre los 21°50' y 26°S, y otra franja del Cretácico Inferior, entre los 30° y 34°S. Estos depósitos están hospedados en rocas volcánicas y volcano-sedimentarias del Jurásico y Cretácico Inferior, teniendo en menor medida aporte de rocas sedimentarias o piroclásticas (Maksaev y Zentilli, 2002) (Figura 2.2).

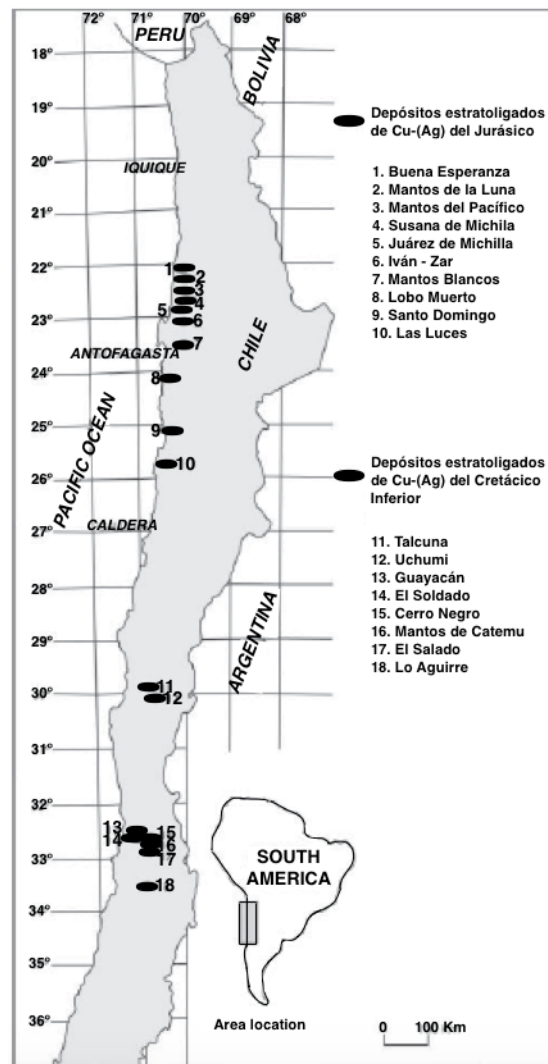


Figura 2.2. Depósitos estratoligados de Cu-(Ag) en Chile. En la figura se observan 2 franjas principales: entre los 21°-26°S se ubica la franja correspondiente al Jurásico, mientras que entre los 30°-34°S están los depósitos del Cretácico Inferior. Modificado de Maksaev et al. (2007).

En un comienzo, se postuló que estos depósitos tenían un origen singenético (Ruiz et al., 1965, 1971; Stoll, 1965), planteando que los sulfuros de cobre cristalizaban junto con las lavas hospedantes y que en parte podrían derivar de actividad exhalativa asociada al volcanismo. Sin embargo, el hallazgo posterior de cuerpos de mena discordantes y otras evidencias indican que estos depósitos estratoligados son epigenéticos (Maksaev y Zentilli, 2002). El origen más aceptado para estos depósitos, es el de carácter hidrotermal asociado a intrusivos subvolcánicos (Espinoza, 1982; Espinoza et al., 1996; Chavez, 1985; Palacios, 1986), donde los yacimientos y la alteración hidrotermal estarían directamente relacionados al emplazamiento de pequeños cuerpos intrusivos subvolcánicos, que representarían los conductos del volcanismo Jurásico en el caso de los depósitos ubicados en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, y los conductos volcánicos del Cretácico Inferior en el caso de los depósitos presentes en la Cordillera de la Costa de Chile central. En este caso, el cobre y otros elementos habrían derivado del mismo magma que generó los intrusivos, pero estos en general no presentan mineralización económica. Chavez (1985), plantea que la mineralización de cobre pudo haberse depositado primero por actividad exhalativa y haber sido removilizada y concentrada por los intrusivos hipabisales. Finalmente, ambas posibilidades se han considerado factibles (Palacios y Definis, 1981; Camus, 1986; Oyarzún, 1985).



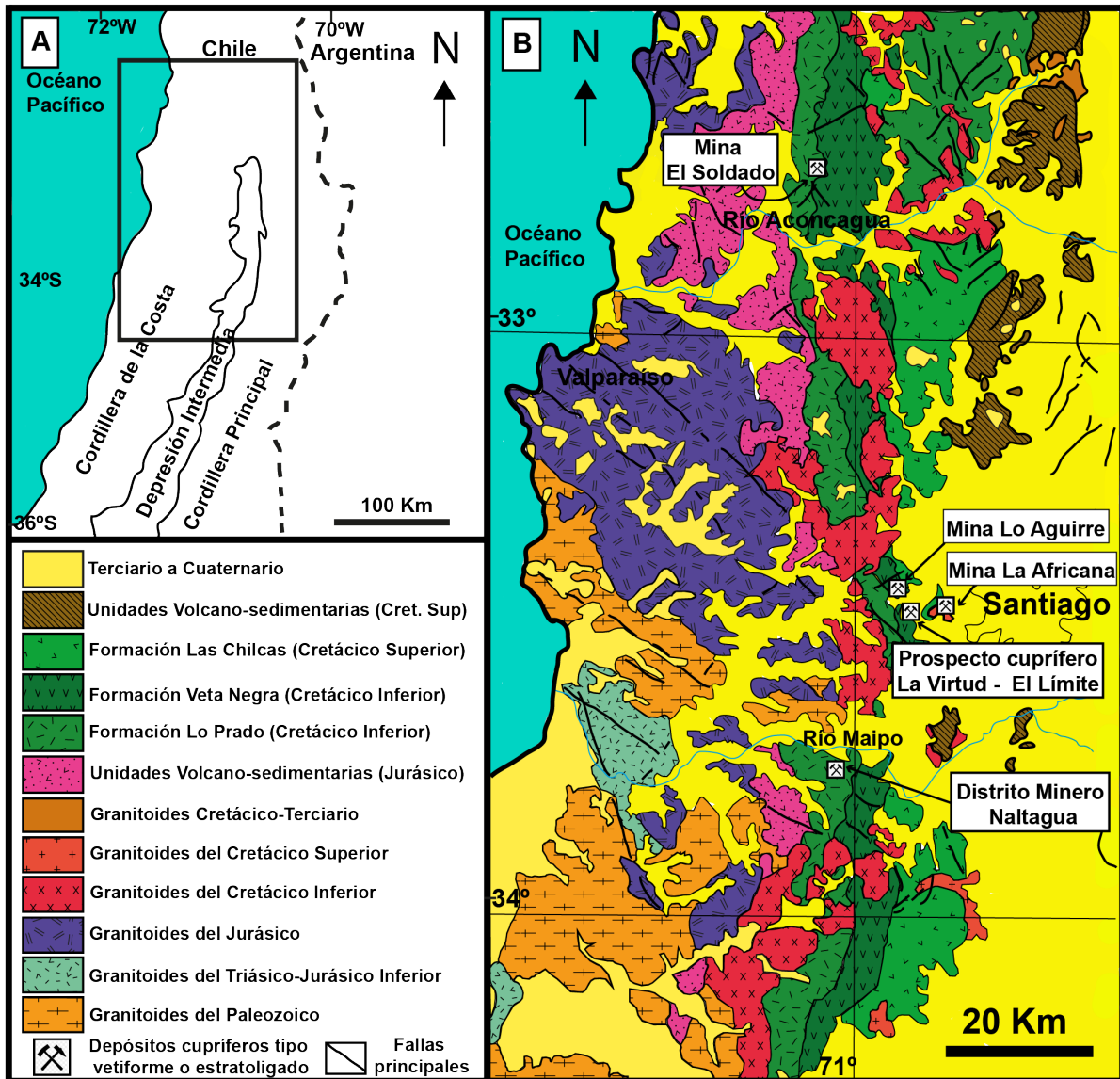


Figura 2.3. A) Principales dominios morfoestructurales de Chile Central. B) Mapa geológico esquemático de la Cordillera de la Costa entre los 32°30' y 34°15' donde se muestra la Mina El Soldado, Mina Lo Aguirre, Mina La Africana, el Prospecto cuprífero La Virtud - El Límite y el Distrito Minero Naltagua. Simplificado de Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, Sernageomin (2002).

## 2.3.1 Yacimientos estratoligados de cobre con plata subordinada en Chile Central

### 2.3.1.1 El Soldado

Corresponde al depósito estratoligado de cobre más grande de Chile central. Su producción, sumado a sus recursos, superan los 200 Mt con ley 1.4% Cu (Boric et al., 2002). Este depósito está ubicado a unos 120 kilómetros al norte de Santiago, en la Cordillera de la Costa. Está hospedado en una secuencia de unidades félsicas y basálticas que mantienen aproximadamente 30° al este en el

miembro superior de la formación Lo Prado (Rivano et al., 1993). El depósito consiste en una docena de cuerpos o bloques mineralizados, estando aislados unos de otros por zonas estériles. Los bloques están espacialmente distribuidos dentro de un volumen cercano a 2 kilómetros de largo por 1 kilómetro de ancho y 600 metros en extensión vertical (Wilson & Zentilli 1999). Estos bloques tienen tamaño muy variable entre ellos, desde muy pequeño hasta 450 metros de largo, por 150 metros de ancho y 450 metros en vertical (Boric, 1997; Boric et al., 2002). Aunque ha sido descrito como un depósito estratoligado a escala regional, en detalle los cuerpos de El Soldado son distintivamente discordantes, mostrando un fuerte control estructural (Ruge, 1985). Los cuerpos están preferencialmente desarrollados dentro de un sistema regional de fracturas NS a NNW, especialmente donde las fallas NS, EW y NW se intersectan formando trampas estructurales. Lejos de estas zonas de permeabilidad estructural, los cuerpos pueden ser descritos de mejor manera como vetas (Boric, 1997). El control litológico es ejercido en los flujos riolíticos félsicos más frágiles y sus alimentadores, los cuales poseen una mineralización más rica en comparación a los flujos basálticos, tobas, y rocas sedimentarias subyacentes (Boric, 1997).

La mineralización hipógena consiste en calcopirita, bornita y calcosina presentando un estilo de mineralización diseminado y en vetillas, llenando en gran parte la porosidad primaria y secundaria de la roca caja volcánica. Según Boric (1997), muchos cuerpos mineralizados muestran una mineralización zonada: un núcleo de calcosina-hematita o calcosina-bornita-hematita es seguido hacia fuera por zonas concéntricas de bornita-calcopirita, calcopirita y piritita en las zonas más alejadas. Las zonas más profundas de los cuerpos contienen mayor cantidad de piritita que las terminaciones superiores y están rodeadas por un halo de piritita diseminada.

La mayoría de estos depósitos se ha formado en 2 etapas: una de baja temperatura, cercana a la edad de la roca caja, y otro episodio hidrotermal tardío. Aunque las zonas de cobre oxidado existen cerca de la superficie y los yacimientos mixtos son explotados, el enriquecimiento supérgeno no es significativo. Minerales de ganga comunes son piritita, hematita, calcita, clorita, albita, microclina, bitumen y menores cantidades de esfalerita, galena y arsenopiritita. La ley de cobre es extremadamente variable (Klohn et al., 1990). Los cambios en los límites laterales de los cuerpos mineralizados están caracterizados por cambios abruptos en la ley de cobre, desde un núcleo con 2% de Cu, hacia zonas más externas en escala de metros que contienen entre 1.2 - 0.5% de Cu (Ruge 1985; Klohn et al., 1990). La roca caja entre los cuerpos mineralizados generalmente es estéril (<0.15% de Cu, Klohn et al., 1990). La alteración hidrotermal consiste en abundante calcita, clorita, albita, microclina, epidota, ópalo, titanita, rutilo-anatasa, y pequeñas cantidades de sericita y minerales de arcilla, pero las texturas primarias de la roca están fuertemente preservadas (Holmgren 1987; Boric 1997).

Muchas edades radiométricas reportadas para El Soldado (K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , Rb-Sr) varían desde 131 a 96 Ma, apoyando la edad Cretácica Inferior para este depósito de cobre (Boric & Munizaga, 1994; Boric, 1997). Las edades radiométricas

más antiguas para El Soldado (desde 131 a 118 Ma) son coetáneas con la edad estratigráfica Neocomiana para las rocas volcánicas. Un grupo de edades más jóvenes desde 113 a 96 Ma es considerada que representa el evento de alteración/mineralización: este grupo de edades radiométricas jóvenes incluyen edades de vetillas de feldespatos potásico y albita asociadas a sulfuros de cobre que están en su mayoría concentrados entre los 105 y 101 Ma (Boric, 1997). Wilson et al. (2003a) ha datado 10 muestras de feldespatos potásico (adularia) desde El Soldado por el método *step-heating*  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Para el feldespatos potásico hidrotermal en asociación cercana con la precipitación de sulfuros de cobre, las edades varían desde  $100,5 \pm 1,5$  Ma a  $106 \pm 1,1$  Ma, con un promedio de  $103 \pm 1,3$  Ma, donde estos autores lo interpretan como la edad principal de mineralización de cobre en El Soldado. Acorde a datación radiométrica, la mineralización en el Soldado coincide temporalmente con el rango de edad K-Ar (118-96 Ma; Rivano et al., 1993) de los batolitos cretácicos que están emplazados dentro de la secuencia volcano-sedimentaria del Cretácico Inferior y que afloran cerca de 12.5 kilómetros al NE y 18 kilómetros al SE de El Soldado. Esto también es válido para el rango de edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  117-94 Ma del Plutón Caleu que atraviesa la secuencia del Cretácico Inferior a unos 25 kilómetros al sur de El Soldado (Parada & Larrondo, 1999; Parada et al., 2001a).

### **2.3.1.2 Lo Aguirre**

En las afueras del sector poniente de la ciudad de Santiago, los cuerpos mineralizados de cobre dentro de las lavas andesíticas y las brechas de la Formación Veta Negra de edad Aptiana-Albiana, forman un cuerpo principal irregular de 600 metros de largo, 200 metros de ancho y 150 metros de alto (11,1 Mt con 2,14% Cu; ley de corte 0,8% Cu), con disposición N-S/40°E. Lo Aguirre y 2 cuerpos menores mineralizados (San Antonio y Carretón) se encuentran de manera periférica a un stock diorítico estéril (Saric et al., 2003). La mineralización hipógena es una diseminación de calcosina y bornita con sucesivas zonas exteriores de bornita-calcopirita, calcopirita-pirita y pirita. Los sulfuros de cobre se concentran en los niveles de mayor porosidad de las rocas volcánicas que los hospedan, y son parcialmente oxidados por procesos supérgenos. Minerales de alteración hidrotermal corresponden a calcita, cuarzo, hematita, clorita, epidota y minerales de arcilla. Una edad K-Ar en roca total de  $110 \pm 4$  Ma fue obtenida para una muestra de andesita, y una isócrona Rb-Sr de  $113 \pm 3$  Ma se interpretó como representativa de una posible edad de alteración hidrotermal relacionada a la mineralización de Lo Aguirre (Munizaga et al., 1988b). Sin embargo, nuevas edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en albita para rocas mineralizadas, arrojaron una edad de  $102 \pm 5$  Ma, lo que sitúa la mineralización de Lo Aguirre de manera temporalmente simultánea con El Soldado (Saric et al., 2003).

### **2.3.1.3 Distrito Minero Naltagua**

El distrito minero San Vicente de Naltagua se encuentra ubicado en la Región Metropolitana de Chile, en la comuna de Isla de Maipo, inmediatamente al SSE del poblado de San Antonio de Naltagua, aproximadamente a 77 km al SSW

de Santiago.

Se conocen antecedentes de explotación minera en los yacimientos del distrito desde 1905, a cargo de la empresa francesa “Société des Mines de Cuivre de Naltahua”, la cual disponía de una planta con fundición establecida en el lugar. La capacidad de la fundición permitía tratar 300 toneladas por día de mineral, usando preferentemente minerales oxidados de cobre y eventualmente mixtos con leyes de 4% de cobre, provenientes en parte del distrito y principalmente comprados a diferentes productores de la zona central. La mineralogía principal correspondía a minerales oxidados de cobre y algunos mixtos. Esta actividad se habría paralizado en 1946 y posterior a esa fecha sólo se han efectuado trabajos de explotación esporádica en minas del distrito, con entrega de pequeñas remesas a la Sociedad Minera Pudahuel y plantas de Cabildo y Catemu.

El área de estudio comprende rocas asignables al miembro superior de la Formación Lo Prado, de edad Neocomiana, y a la sección basal de la Formación Veta Negra de edad Aptiano – Albiano (Thomas, 1958) y corresponde a una secuencia volcánica – sedimentaria marina, intruída por diques riolíticos, sieníticos y andesíticos (Oyarzún, 1994), de rumbo general N20°W a 20°E con inclinación monoclinal al este variable de 15° a 50° con preferencia aproximada de 30°.

En el distrito existen 18 minas y numerosos laboreos menores, donde la distribución de las minas y laboreos permiten definir dos niveles prospectivos, separados entre sí por 450-500 metros de andesitas estériles. La mineralización está encajada en calizas masivas y lutitas fisibles calcáreas-carbonosas, y parte de algunos mantos se encuentran en una toba brechosa de matriz lutítica. La mineralización la constituyen mantos lenticulares de 1 a 6 m de potencia paralelos a la estratificación y consisten en calcopirita, pirita, bornita, algo de especularita, esfalerita y galena. En la zona oxidada ocurren malaquita, crisocola, minerales oxidados negros y “almagre”. La zona de enriquecimiento no existe o está poco desarrollada con calcosina, covelina y minerales oxidados de cobre. La ocurrencia es diseminación fina, pervasiva en calizas masivas y formando bandas paralelas a la estratificación en lutitas, preferentemente en niveles más carbonosos. En los fragmentos de tobas y andesitas, los estilos de mineralización corresponden a diseminación gruesa, relleno de vesículas y vetillas cortas. Las alteraciones asociadas son débiles y consisten en una diseminación de epidota-clorita-calcita-arcillas y vetillas tardías de calcita, calcita-pirita y/o calcopirita-(especularita) (ENAMI, 2007).

La mineralización es del tipo epigenética asociada a un moderado metasomatismo, donde las sedimentitas calcáreas y carbonosas jugaron un rol importante en la precipitación de la mineralización y por ende en la formación de los yacimientos del distrito Naltagua.

Hasta el año 2006, gran parte de las minas del distrito pertenecían al empresario minero Alejandro López Aliaga, quien mantuvo una producción mensual de 2.000 – 2.500 ton de mineral escogido con ley promedio de 2,5% de Cu, tanto

en minerales oxidados como sulfuros de cobre, provenientes de las minas Venus, Consuelo y Diamante.

#### **2.3.1.4 La Africana**

La mina La Africana se ubica en el flanco oriental del cordón de cerros Lo Aguirre, 22 kilómetros al W de Santiago, Región Metropolitana (Saric, 1978).

En 1953 se tomó la decisión de explotar la mina, la cual entró en producción finalmente en el año 1957. Estudios de factibilidad consideraron una cubicación de 1,4 Mt con 4.12% de Cu (Saric, 1978).

El conjunto de rocas volcánicas, con intercalaciones sedimentarias marinas en la base y continental en su parte media y superior, presenta un rumbo general NNW a NNE con manteo fuerte hacia el este y una potencia entre 13350 (Thomas, 1958) y 16000 metros (Levi, 1968). Se le asigna una edad Cretácica inferior, encontrándose intruída por un batolito de edad Cretácico Superior, que se visualiza rodeando la serie volcánica-sedimentaria.

Este es un yacimiento epigenético hidrotermal, vetiforme, emplazado en una falla normal que afecta a un intrusivo de edad Cretácico, casi en el contacto con las rocas volcánicas. Sin embargo, las rocas andesíticas alteradas, con limonita proveniente de sulfuros primarios y cortada en la parte norte mediante sondajes en lo que sería la corrida de la veta, hace suponer que ésta veta posiblemente puede estar en parte encajada en las rocas volcánicas de la formación Las Chilcas, que aparecen intruídas por el batolito en el sector de la mina. Numerosos diques que muestran contactos bastante claros, acompañan o atraviesan la veta, siendo afectados por un fallamiento posterior que altera el rumbo de estos localmente.

La roca caja se encuentra alterada por procesos hidrotermales relacionados con el emplazamiento de la veta. Esta alteración varía según la proximidad a la veta (Saric, 1978), y se observa desde ésta hacia fuera:

- Zona de silicificación-cloritización, cuya asociación principal es clorita, calcita y cuarzo. Además, se observa abundante specularita en venillas y penetrativa.

- Zona de feldespatos potásicos, caracterizada por una menor o mayor proporción de ortoclasa, epidota, clorita, cuarzo, calcita y turmalina.

- Zona propilítica, que corresponde a la zona más externa o alejada de la veta. Los minerales de alteración son cuarzo, epidota, clorita, calcita y ceolita. Se caracteriza por una sericitización de las plagioclasas y cloritización de los máficos.

Las estructuras más comunes se pueden agrupar en 2 grupos (Saric, 1978): el primer grupo es aquel donde las estructuras siguen una dirección paralela o ligeramente oblicua a la veta. Estas son las más importantes, manteando desde

75° W a subvertical, concordando con la estructura en la cual está emplazada la mineralización. El segundo grupo corresponde a las estructuras que forman un ángulo apreciable con la veta. En general, estas estructuras cortan a la veta en un alto ángulo, mostrando manteos tanto al norte como al sur. Estas fallas afectan los diques y a la mineralización, produciendo desplazamientos de escala centimétrica a métrica (0,5 metros a 1 metro).

Asociado a estos 2 grupos de fracturas, se encuentra el desarrollo de carbonatos que son fácilmente lavados, aumentando de esta manera el espacio abierto que sirve de cauce para el agua.

La mineralización ocurre en lentes o ramificaciones que conforman una veta de rumbo general N10°W con manteo de 70° - 80° W (Saric, 1978). La potencia de la veta es variable alcanzando como máximo anchos de hasta 20 metros para luego adelgazarse y convertirse en vetillas. La veta está conformada principalmente de sulfuros primarios: calcopirita, pirita y en menor cantidad calcosina y cobre nativo, productos de enriquecimiento supérgeno. En su parte sur, debido al buen desarrollo de una zona de oxidación, se explotó chalcantita, crisocola, malaquita y kroenkita. Junto con los minerales de mena se encuentra abundante especularita masiva o en bandas, magnetita subordinada y cuarzo, ya sea en vetillas, geodas o bandas silíceas.

Este yacimiento es epigenético y sus características lo clasifican como mesotermal de poca profundidad (Saric, 1978). El conjunto volcánico-sedimentario fue intruído en el Cretácico por un batolito que ocupa toda la parte oriental del área. Este intrusivo diorítico fue afectado por una tectónica en el Cretácico Superior que produjo en la zona de la mina un fracturamiento N-S en ésta roca competente, dejando espacios abiertos por los cuales ascendieron soluciones hidrotermales; aprovechando estos espacios posteriormente intruyeron numerosos diques. Tanto la veta como estos diques fueron afectados por un fallamiento E-W provocado por esfuerzos compresivos. La mineralización sufrió un control térmico (Saric, 1978), depositando cobre hacia la superficie y hierro en profundidad. Paralelamente a este evento, se produjo alteración de la roca caja. Finalmente se produjo un enriquecimiento supérgeno que llevó a la formación de una delgada zona de oxidación, siendo ésta última casi totalmente borrada hacia el norte producto de la erosión, para luego ser cubierta por material de relleno del valle central.

## **2.4 Metamorfismo**

Un metamorfismo de muy bajo a bajo grado se desarrolló ampliamente desde el Mesozoico al Cenozoico a lo largo del margen continental occidental sudamericano, desde Colombia a la Patagonia, en un ambiente geodinámico extensional de ascenso del manto astenosférico y la consecuente generación de cuencas (Levi et al., 1989). En el Cretácico, la magnitud de los procesos de extensión asociados a subducción varía a lo largo del margen continental sudamericano generando cuencas marginales con diversos grados de

adelgazamiento cortical y tasas de subsidencia, cuyas secuencias presentan metamorfismo de muy bajo grado que varía del tipo metamorfismo de piso oceánico a metamorfismo de enterramiento (Aguirre, 1993).

El metamorfismo de las secuencias estratificadas depositadas en la Cordillera de la Costa y de los Andes en Chile central se ha caracterizado por ser de carácter regional, no-deformativo, con preservación de texturas y estructuras y con un grado metamórfico que varía con la profundidad, con isógradas paralelas a subparalelas a la estratificación, desde facies ceolitas, prehnita-pumpellyita a esquistos verdes coincidente con un metamorfismo de tipo enterramiento (Levi, 1970; Aguirre, 1993) que fue seguido por una leve deformación compresiva, emplazamiento de intrusivos y posterior alzamiento y erosión. Cada ciclo dura alrededor de 40 Ma y le sigue la creación de una nueva cuenca al este y en discordancia a la anterior. Dentro de cada ciclo se distingue un patrón metamórfico que incrementa con la profundidad y con límites paralelos a la estratificación indicando que el metamorfismo se produce previo a la compresión. En coincidencia con cada discordancia mayor, se observa un quiebre en la mineralogía metamórfica, en donde, asociaciones de mayor grado metamórfico sobreyacen a otras de menor grado, generadas en el episodio cíclico anterior (Levi, 1970).

Entre los 31° y 35°S, la potencia combinada de las formaciones Veta Negra y Lo Prado es aproximadamente de 14 km. La unidad inferior (Formación Lo Prado) está constituida por turbiditas de antearco sobreyacida por calizas sublitorales a litorales junto con ignimbritas ácidas y, subordinadamente, lavas básicas con rocas volcanoclásticas deltaicas. La unidad superior (Formación Veta Negra), es una gruesa pila de lavas de composición básica a intermedia y flujos de brechas con menores intercalaciones de rocas volcanoclásticas de tipo continental. La distribución de las facies es similar a la presente en el Cerro Bustamante (Levi et al., 1989), situada 10 km al norte del área de estudio, donde la existencia de metamorfismo de carga o enterramiento fue establecida por primera vez en Los Andes. La asociación mineral en el primer kilómetro inferior de estas 2 formaciones corresponde a epidota, actinolita±calcita; el resto de la Formación Lo Prado contiene clorita, epidota, feldespato potásico±pumpellyita. Las asociaciones cambian hacia arriba a clorita, feldespato potásico, epidota±prehnita, celadonita, pumpellyita en el miembro inferior (Purehue) de la Formación Veta Negra, mientras que el miembro superior (Ocoa) está caracterizado por una asociación monótona con clorita, feldespato potásico, pumpellyita, epidota±prehnita, calcita, celadonita y laumontita (Levi et al., 1989).

En Chile central, cuatro episodios metamórficos fueron descritos por Levi (1970) en la Cordillera de la Costa, donde la secuencia Cretácica Inferior presenta una continua transición con la profundidad desde facies ceolitas (techo Formación Veta Negra), facies prehnita-pumpellyita y facies esquistos verdes (base Formación Lo Prado), encontrándose sobreyacida en discordancia por una secuencia cretácica tardía de facies esquistos verdes. Además, describió las variaciones de facies y asociaciones mineralógicas a escala de flujos de lava, registrando un

aparente, aunque de escala local, aumento en el grado desde la base masiva al techo amigdaloidal de un flujo. Para esta secuencia de alta tasa de subsidencia (>250 m/Ma, Vergara et al., 1995), se ha estimado un gradiente termal superior a los 20-30 °C/km (Aguirre et al., 1999) calculado posteriormente en 40-45 °C/km (Parada et al., 2005).

De manera coetánea a la subsidencia de cuenca y posterior metamorfismo de muy bajo grado, el cual alcanzó un *peak* a los 93-94 Ma en Chile central (Aguirre et al., 1999), se produce el último evento plutónico del Cretácico, sugiriendo que este metamorfismo no es el resultado de un simple metamorfismo de enterramiento, sino que también a un aumento en el gradiente termal regional relacionado al emplazamiento de cuerpos intrusivos. Este evento termal, producido por la intrusión de plutones durante el Cretácico, obliteraría algunas asociaciones de metamorfismo de enterramiento (Aguirre et al., 1999; Fuentes et al., 2005; Parada et al., 2005).

## 2.5 Evolución geodinámica

Durante el Jurásico-Cretácico Inferior, el margen occidental de Chile central estuvo dominado por la subducción, de alto ángulo, de la placa oceánica denominada Aluk bajo la placa sudamericana, lo cual dio paso a un régimen de bajo estrés (tipo Mariana), en donde el ascenso del manto astenosférico conlleva a un ambiente extensional generándose cuencas de intra-arco, de tras-arco o ambas, con alta y variable tasa de subsidencia y de adelgazamiento cortical, con presencia de volcanismo bimodal (Aguirre et al., 1989; Vergara et al., 1995; Figura 2.5). Este adelgazamiento cortical varía a lo largo del margen sudamericano, de moderado (Chile central) a intenso (Perú) en los Andes Central, sin generación de corteza oceánica (cuenca marginal abortada), a máximo en los extremos del margen sudamericano con ruptura cortical y generación de corteza oceánica (cuenca marginal) en los Andes Norte (Colombia) y Patagónicos (Aguirre et al., 1989). La extensión y alta tasa de subsidencia forman una topografía de bajo relieve cercana al nivel del mar (Vergara et al., 1995).

En Chile central, durante el Cretácico Inferior, se emplazan en esta cuenca de intra-arco las formaciones Lo Prado y Veta Negra, desarrollándose hacia el oriente de esta cuenca, en la actual posición de la Cordillera Principal, una cuenca de tras-arco formada por una delgada sucesión sedimentaria con menor cantidad de magmatismo con aporte cortical (Vergara y Nyström, 1996). La tasa de erupción estimada para el magmatismo de la Formación Lo Prado es 140 km<sup>3</sup>/Ma y de 500 km<sup>3</sup>/Ma para la Formación Veta Negra, con una tasa de subsidencia para la cuenca de intra-arco entre 100-300 m/Ma para el Jurásico y Cretácico Temprano, con valores sobre 250 m/Ma durante el Cretácico Temprano (Vergara et al., 1995). Diversos gradientes geotermales han sido propuestos, de 20-30 °C/Km, y posteriormente de 40-45 °C/Km (Aguirre et al., 1999; Parada et al., 2005).



Cabe señalar que el área de estudio se encuentra situada cercana a la zona de transición entre el segmento “flat-slab” (28°-33°S), caracterizado por subducción de bajo ángulo y ausencia de volcanismo moderno, y la zona volcánica del sur (33°-46°S), caracterizada por una zona de subducción de mayor ángulo y volcanismo actual, además del término de los valles transversales dando paso a una depresión intermedia que se extiende por 1000 Kms hacia el sur. Esta zona de transición es coincidente con un retorcimiento en la placa de Nazca asociado a la subducción de la dorsal Juan Fernandez (Yañez et al., 2001).

**Segunda subetapa: Kimmeridgiano - Albiano**

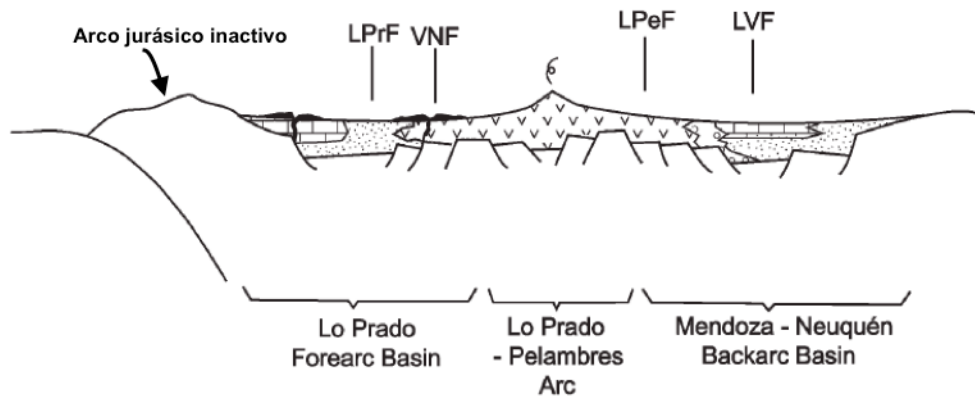


Figura 2.4. Perfil paleogeográfico esquemático de la Segunda subetapa de la Primera etapa del Ciclo andino en Chile central entre los 32°S y los 33°S. Como los depósitos del oeste representados en la sección están expuestos en la Cordillera de la Costa y los del lado este afloran en la Cordillera Principal, se infiere que las partes de la mitad del perfil se ubican en el presente en la Depresión intermedia. Abreviaciones de las unidades estratigráficas: LPeF, Formación Los Pelambres; LPrF, Formación Lo Prado; LVF, Formación Lo Valdés; VNF, Formación Veta Negra. Modificado de Charrier et al. (2007).

### 3 GEOLOGÍA LOCAL

El Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite (Figura 3.1) corresponde a un sistema de vetas hospedadas en una secuencia de rocas volcánicas de composición intermedia, de texturas afanítica, porfírica y porfírica de grano grueso, con intercalaciones de tobas y brechas, pertenecientes a la Formación Veta Negra del Cretácico Inferior, e intrusivos subvolcánicos que constituyen diques de composición diorítica con textura fanerítica, y diques andesíticos de textura porfírica gruesa principalmente. Hacia el SW de la zona de estudio se presentan intercalaciones de rocas piroclásticas intermedias, cuyo manteo varía entre 55° y 70° hacia el este, las cuales son asociables al miembro Purehue de la Formación Veta Negra. La mayor parte de la zona se encuentra cubierta por un regolito parcialmente consolidado. El contacto entre el miembro Purehue y el miembro Ocoa no fue observado directamente por lo que se definió en base a la distribución de los afloramientos de andesitas porfíricas de grano grueso (“ocoítas”) en el prospecto observados en terreno, el mapa geológico distrital del yacimiento Lo Aguirre (Saric et al., 2003), el Mapa Geológico del área Tiltil - Santiago (Gana et al., 1999) y el Mapa Geológico del área de Talagante - San Francisco de Mostazal (Sellés y Gana, 2001). En base a las mediciones de rumbo y manteo que se obtuvieron en terreno en rocas piroclásticas con estratificación y areniscas estratificadas en la mina Panales en el sector de Quebrada La Plata, fue posible extender el contacto a través de la zona de interés. Finalmente, los afloramientos son de mediana calidad donde unos corresponden a áreas despejadas por maquinaria pesada para la construcción de caminos y plataformas de sondajes, y otros a zonas vegetadas de difícil acceso al interior de las quebradas.



*Figura 3.1. Vista en dirección NW del Prospecto Cuprífero La Virtud – El Límite. Notar los despejes de camino de las áreas cubiertas por trabajos de maquinaria pesada y la alta densidad de vegetación hacia el interior de las quebradas.*

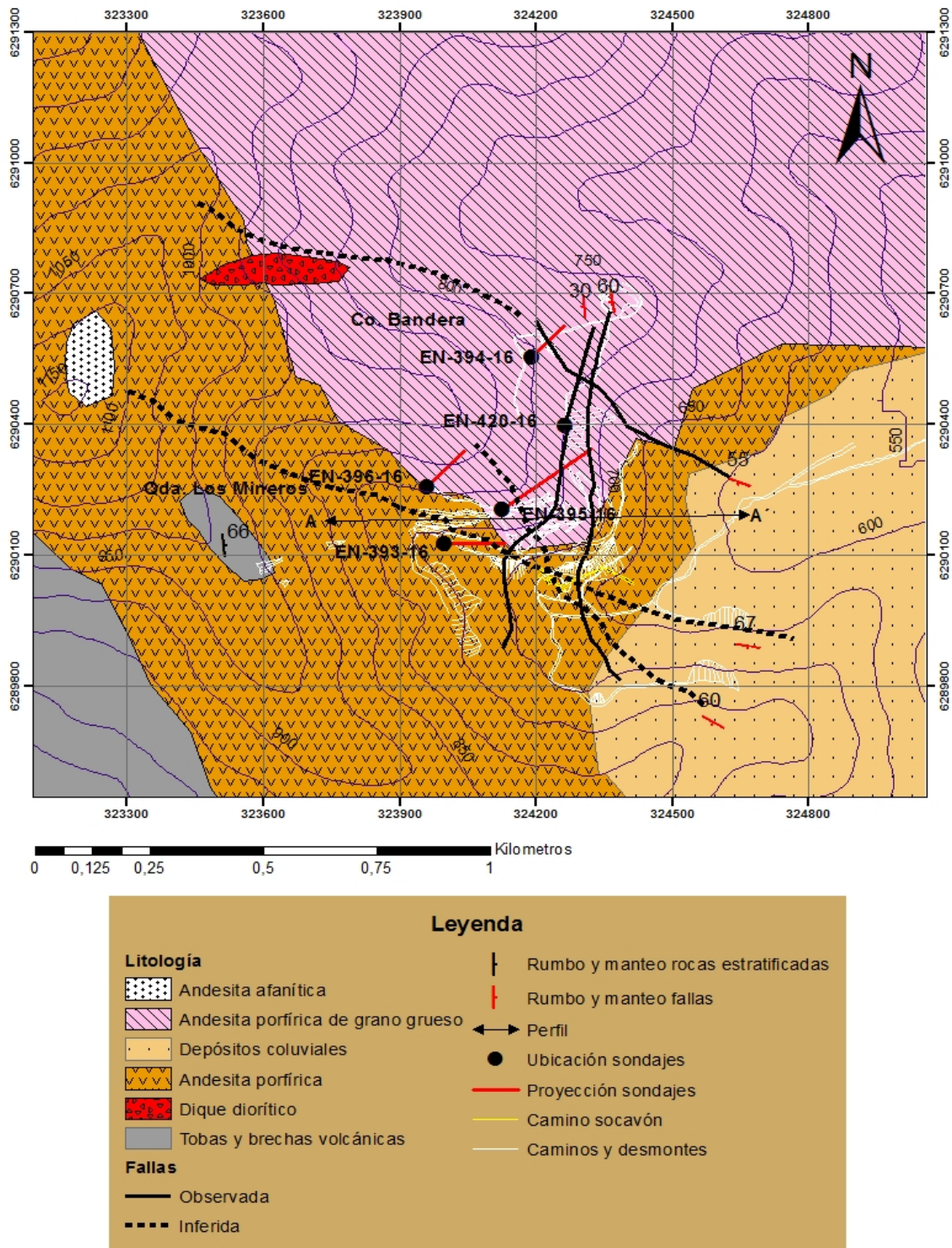


Figura 3.2. Mapa Geológico Local del Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

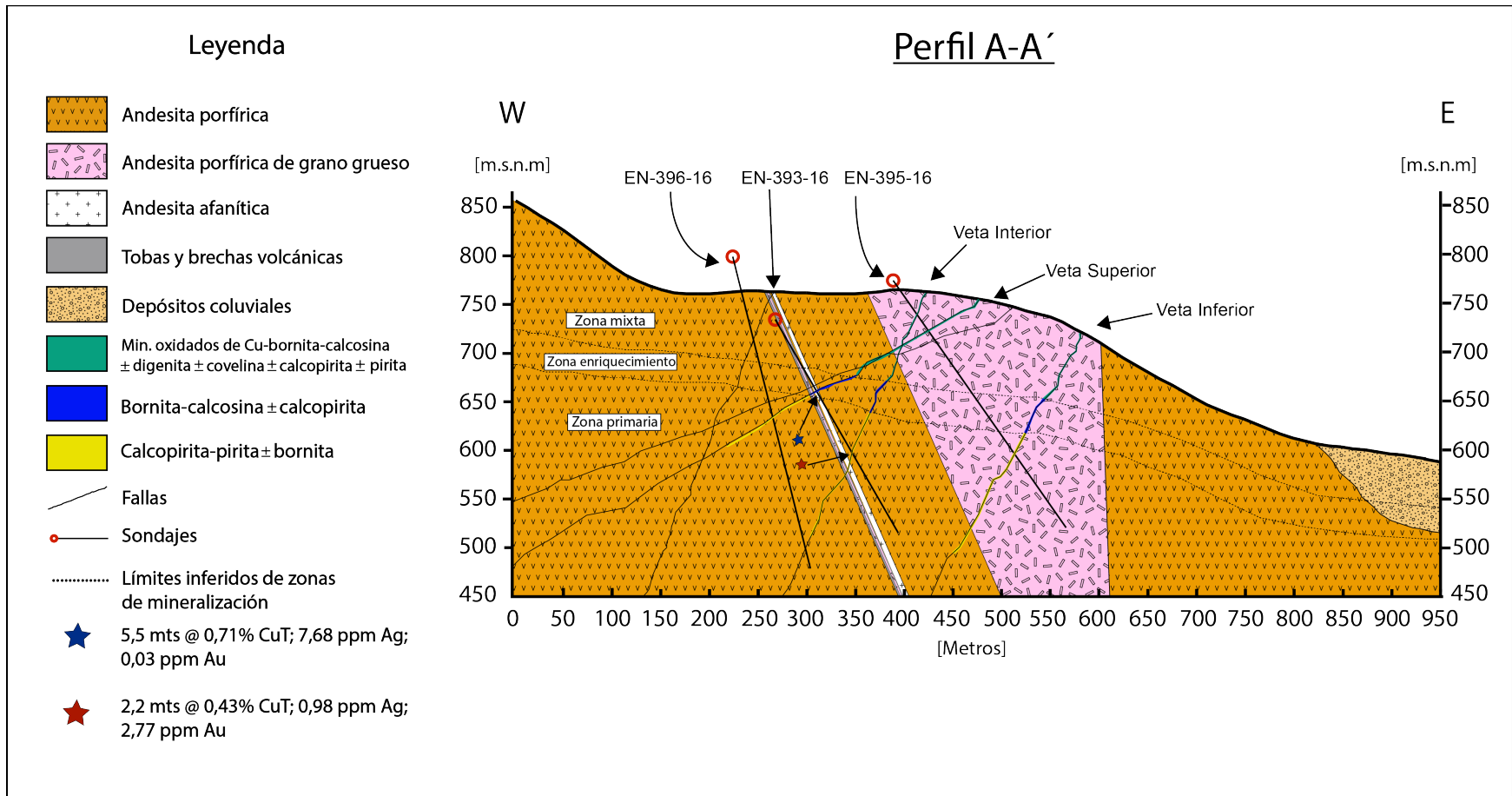


Figura 3.3. Perfil Litológico A – A'.

## 3.1 Geología local

### 3.1.1 Rocas de la Formación Veta Negra

Las rocas de esta formación corresponden a lavas de composición andesítica intermedia con texturas afanítica, porfírica y porfírica de grano grueso, y rocas piroclásticas que se manifiestan como brechas y tobas en la zona de estudio. Las secuencias lávicas serían las rocas encajadoras de los diques presentes en el prospecto, los cuales presentan composiciones diorítica, afanítica y andesítica. La distribución de los afloramientos dentro del prospecto es de mediana calidad, donde estos corresponden a áreas despejadas por maquinaria pesada para la construcción de caminos, o zonas de quebrada con alta densidad de vegetación y difícil acceso. En base a mediciones de rumbo y manteo que se obtuvieron en terreno en rocas piroclásticas estratificadas del área La Virtud – El Límite, y en capas de areniscas estratificadas en la zona de Quebrada de la Plata, fue posible determinar una orientación local con rumbo entre N10°W y N40°W, y una inclinación entre 55° a 70° hacia el este.

#### 3.1.1.1 Andesita porfírica

Las andesitas porfíricas son de color gris a verde (Figura 3.4) y de textura porfírica de grano fino a medio. Los fenocristales, que constituyen entre un 10 y un 25 % del volumen total de la roca, tienen un tamaño entre 0,5 y 7 mm y son de plagioclasa. La masa fundamental está constituida por un arreglo microcristalino de plagioclasa y magnetita, y ha sufrido una cloritización pervasiva que le otorga su tono verduzco. Además de clorita, minerales secundarios como epidota, calcita y cuarzo se pueden presentar en amígdalas y cavidades irregulares de tamaños entre 1 mm y 5 mm o vetillas entre 1 y 4 mm de espesor, donde estas estructuras no superan el 3 % en volumen total de roca, estando ausentes en varias partes de la secuencia volcánica.



*Figura 3.4. Andesita porfírica con cloritización débil.*

### 3.1.1.2 Andesita porfírica de grano grueso ("ocoíta")

Roca de color gris verdoso con textura porfírica seriada (Figura 3.5). Los fenocristales son de plagioclasa, constituyen entre un 10 y un 15 % del volumen total de la roca y tienen un tamaño entre 0,8 y 1,5 cms. La masa fundamental está constituida por microcristales de plagioclasa y magnetita, conformando una textura intergranular. El tono verde de la roca se debe a la característica cloritización pervasiva que ha sufrido la secuencia lávica. En menor medida pero también presentes, se observan minerales secundarios como epidota, calcita y cuarzo, manifestándose en amígdalas y cavidades irregulares de tamaños entre 1 mm y 1 cm o vetillas de 1 a 5 mm de espesor, donde estas estructuras no superan el 5 % en volumen total de roca y están ausentes en varios tramos de la secuencia volcánica.



Figura 3.5. Andesita ocoítica.

### 3.1.1.3 Rocas piroclásticas

Corresponden a tobas cristalinas (Figuras 3.6 y 3.7), brechas tobáceas y brechas volcánicas monomícticas o polimícticas. Su color varía entre gris rojizo a gris verdoso.

Los cristales de las tobas y brechas tobáceas presentan tamaños entre 0,2 y 0,5 mm, con formas subangulares a subredondeadas y están compuestos por plagioclasa (60%), magnetita (25%), clorita en los espacios intersticiales (10%) y epidota en reemplazo a parches de los cristales de plagioclasas (5%). En menor cantidad, las tobas cristalinas y la matriz de las brechas tobáceas presentan un 5% de fragmentos líticos en su composición.



Figura 3.6. Toba cristalina estratificada con intercalaciones centimétricas de andesitas porfíricas. La estratificación presenta distintos niveles de tobas, donde las diferencias corresponden a diferentes tamaños de cristales y porcentajes de fragmentos líticos, los cuales varían desde 5 a 10 % en volumen de roca.

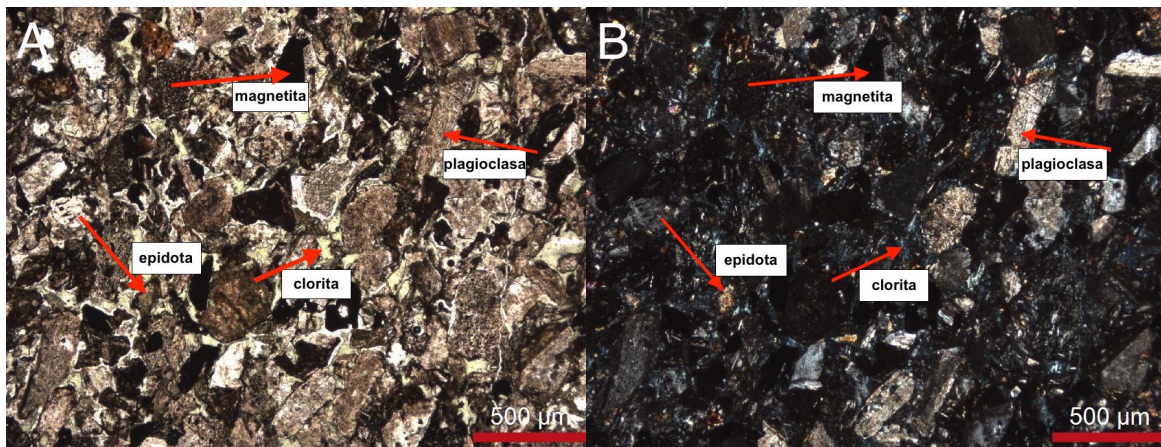


Figura 3.7. A) Nícoles paralelos. Toba cristalina con textura fragmentada que presenta cristales de plagioclasa, fragmentos de cristales de plagioclasa, magnetita y clorita en los intersticios entre la magnetita y la plagioclasa producto de la cloritización que ha sufrido la roca. Además, se observan escasos reemplazos de plagioclasa por epidota en algunos cristales, lo cual no se percibe en muestra de mano. B) Imagen observada en A) a nícoles cruzados.



Las brechas volcánicas presentan clastos de color verde de tamaño variable en una matriz o cemento verde grisáceo claro. Los clastos son mayoritariamente de composición andesítica, con una intensa carbonatización de ellos, mientras que la matriz de la roca puede ser de tipo andesítica similar a los clastos, o de magnetita y plagioclasa microcristalina, siendo ésta última característica de las andesitas porfíricas de la zona.

### 3.1.2 Rocas intrusivas

La expresión de rocas intrusivas en el prospecto La Virtud – El Límite corresponde a diques afaníticos, andesíticos y dioríticos, según análisis de microscopía óptica.

Los diques afaníticos se observan como afloramientos irregulares de mala calidad en terreno, por lo que no se pudieron obtener datos de rumbo y manteo para esta litología. El espesor mínimo observable en terreno varía entre 1 y 4 m y aparentemente están emplazados en fallas preexistentes.

Los diques andesíticos presentan un rumbo preferente NW (Figura 3.8), aunque existen algunos filones menores que se emplazan en zonas de falla con rumbo E-W. Estos diques se encuentran emplazados en el miembro Purehue y Ocoa de la formación Veta Negra. Los manteos en su mayoría son cercanos a 45° hacia el suroeste y sus espesores varían entre 1 y 4 m. Sus características son similares a las descritas para las andesitas efusivas y sólo se observan diferencias menores con respecto al tamaño de los fenocristales y al porcentaje que cubren en la matriz de la roca (70 %).



Figura 3.8. Dique andesítico cloritizado. Esta roca presenta un aumento de fenocristales de plagioclasa en relación a las lavas andesíticas de la roca caja. Este aumento corresponde a un 70 % de fenocristales en volumen total de roca en relación al 15 % promedio que presentan las andesitas porfíricas y porfíricas de grano grueso. El dique presenta un rumbo de N10°W con un manteo de 40° al oeste.

Finalmente, los diques dioríticos (Figura 3.9) presentan rumbos E - W y manteos entre 30 y 40 grados hacia el sur, con espesores entre 1 y 3 metros. Estos atraviesan claramente andesitas y andesitas ocoíticas de los miembros Purehue y Ocoa de la formación Veta Negra y no presentan indicios de mineralización. Son de color gris verdoso y presentan textura sacaroidal compuesta principalmente por plagioclasa, con cantidades menores de cuarzo, magnetita, clorita y epidota (Figura 3.10). Los minerales ferromagnesianos corresponden a hornblenda, donde algunos están parcialmente reemplazados por clorita.

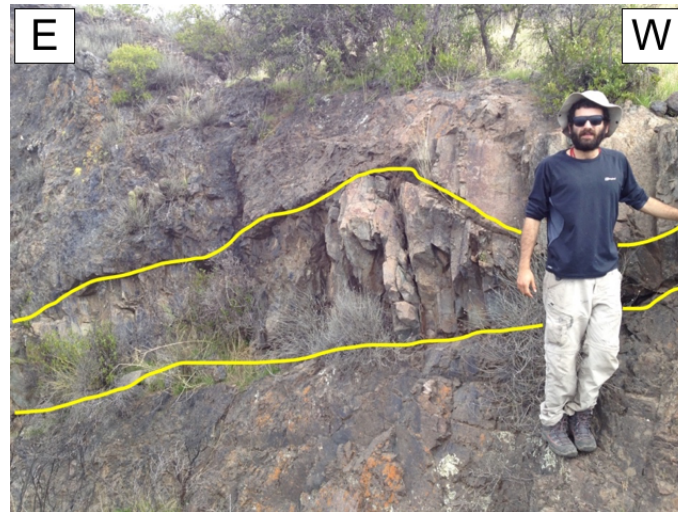


Figura 3.9. Dique diorítico. En color amarillo se delimita el espacio que rellena el cuerpo intrusivo, el cual se encuentra hospedado en andesitas porfíricas de los miembros Purehue y Ocoa de la formación Veta Negra.

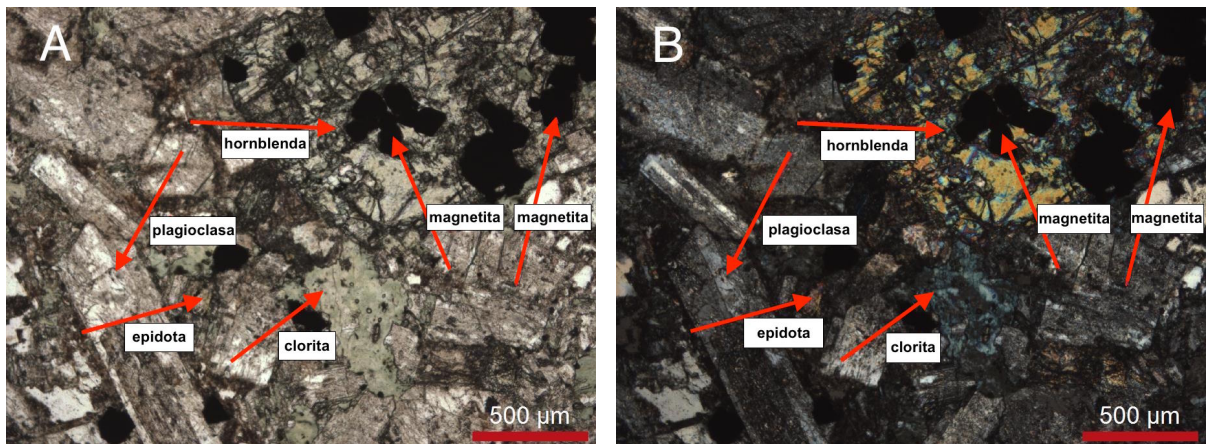


Figura 3.10. Petrografía de dique diorítico. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. La roca intrusiva presenta textura fanerítica caracterizada por un alto contenido de plagioclasa reemplazada escasamente por parches de epidota, mientras que la clorita se observa tanto en los intersticios de los minerales como reemplazando parcialmente a la hornblenda.

### 3.1.3 Alteración

La alteración hidrotermal que afecta a las rocas de las concesiones mineras La Virtud y El Límite consta de la presencia de minerales secundarios como clorita, epidota, calcita, albita, cuarzo, jaspe, hematita (especular y de hábito pulverulento), hidróxidos de hierro y arcillas. Estos minerales se manifiestan de diversas maneras, cubriendo aproximadamente un 60% de la masa fundamental de la roca en el caso de la clorita, u ocupando vetas, vetillas, amígdalas y cavidades irregulares como en el caso de la calcita, epidota, cuarzo y jaspe. Minerales de ambiente oxidante como hematita, hidróxidos de hierro y arcillas se desarrollan principalmente en fracturas de la roca hasta por lo menos unos 30 metros de profundidad. Sólo se pudo observar prehnita en una muestra bajo análisis petrográfico de microscopio óptico (ver ANEXO B, muestra G1M7), donde este mineral y la asociación mineral de alteración antes mencionada indicarían que las rocas estuvieron sometidas a metamorfismo hidrotermal regional de bajo a muy bajo grado. A través del mapeo de testigos de sondajes realizados durante las campañas de terreno, se ha podido clasificar el tipo de alteración presente y establecer una correlación entre este tipo de alteración hidrotermal y la zonación mineral de mena en profundidad.

La alteración hidrotermal puede expresarse principalmente como cloritización, epidotización, carbonatización, albitización y silicificación, correspondiendo esta asociación mineral (clorita-epidota-calcita-albita±cuarzo±jaspe) a una alteración hidrotermal del tipo propilítica (Meyer & Hemley, 1967). La cloritización es el proceso hidrotermal que afecta de manera más intensa a las rocas de caja, cubriendo aproximadamente un 60% del volumen total de roca, y ubicándose a lo largo de toda la secuencia volcánica, afectando tanto la masa fundamental de la roca, como también rellenando amígdalas, cavidades irregulares y vetillas. Generalmente no se presenta asociada a la mineralización, pero puede presentarse escasamente en vetillas junto a pirita o calcopirita. La carbonatización es el segundo evento hidrotermal de mayor intensidad, afectando ampliamente a las andesitas y llegando a cubrir aproximadamente un 10% del volumen total de roca, presentándose tanto en la masa fundamental como en amígdalas, cavidades irregulares, vetas y vetillas. En ciertos tramos de la secuencia volcánica, los fenocristales de plagiocasa presentan alto contenido de carbonatos. La calcita puede observarse en las estructuras antes mencionadas junto a pirita, calcopirita, bornita o calcosina. La epidotización se encuentra afectando la matriz de la roca y reemplazando fenocristales de plagioclasa, así como también rellenando amígdalas, cavidades irregulares, vetas y vetillas. Este mineral se encuentra junto a pirita, calcopirita, bornita o calcosina. La silicificación está asociada a las zonas de calcopirita y minerales oxidados de cobre de los principales cuerpos mineralizados en forma de vetas o vetillas, aunque también puede observarse como vetas y vetillas de cuarzo-jaspe no mineralizadas en los sectores aledaños a la zona donde se encuentra la mineralización en la zona de estudio. La argilización supérgena se constituye de goethita, jarosita, lepidocrocita, hematita pulverulenta y de hábito especular, pirolusita y arcillas blancas, presentándose preferentemente en estructuras como fracturas o vetas que contienen minerales óxidados de cobre, y en menor grado sulfuros de cobre hipógenos y supérgenos. Esta argilización supérgena se ubica desde la superficie hasta una profundidad promedio de 30 metros.

Una hematitización general en la zona de estudio, estando en algunos sectores relacionada a mineralización de sulfuros y minerales oxidados de cobre, se manifiesta como hematita especular diseminada en la matriz de la roca o también como relleno de amígdalas, cavidades irregulares, vetillas y microvetillas junto a calcita, epidota y menor cuarzo, estando este mineral en distintas proporciones a través de la secuencia volcánica. Al interior del socavón minero, la hematita especular presenta un halo de alteración de 60 cms en la roca encajadora de la Veta Interior, donde el contenido de este mineral presenta aproximadamente un 5% en volumen total de roca.

La albitización tiene un desarrollo regular y se presenta como reemplazo total de fenocristales y microlitos de plagioclasa primaria. Esta albitización no presenta ningún tipo de relación con la zonación mineralógica de mena, siendo de carácter selectivo. Tampoco se presenta depositada en espacios abiertos como vetas, vetillas, amígdalas o cavidades irregulares, por lo que se interpreta como producto de procesos de alteración regional en la zona de estudio.

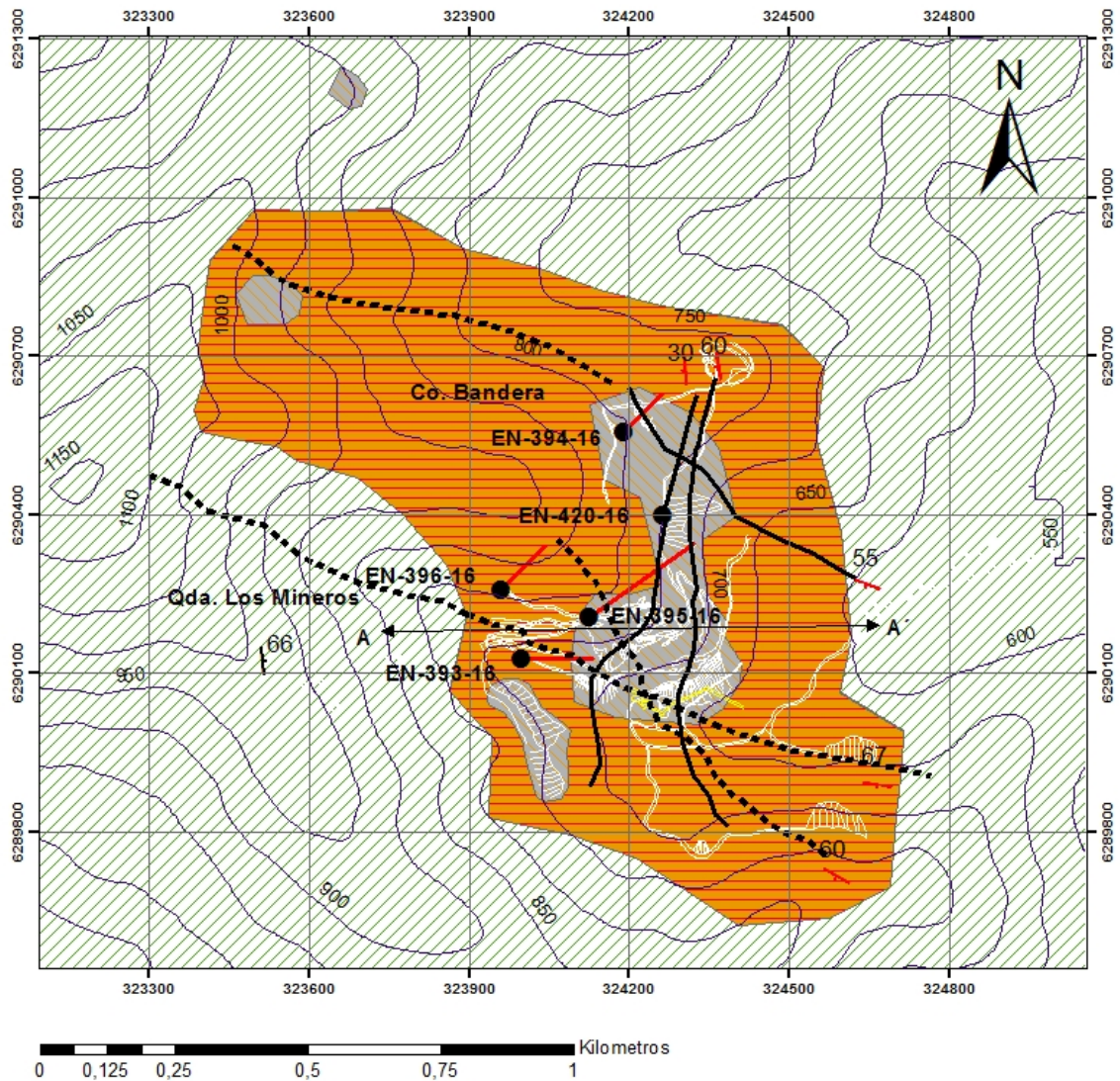


Figura 3.11. Mapa Geológico de Alteración Superficial en el Prospecto La Virtud - El Límite con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

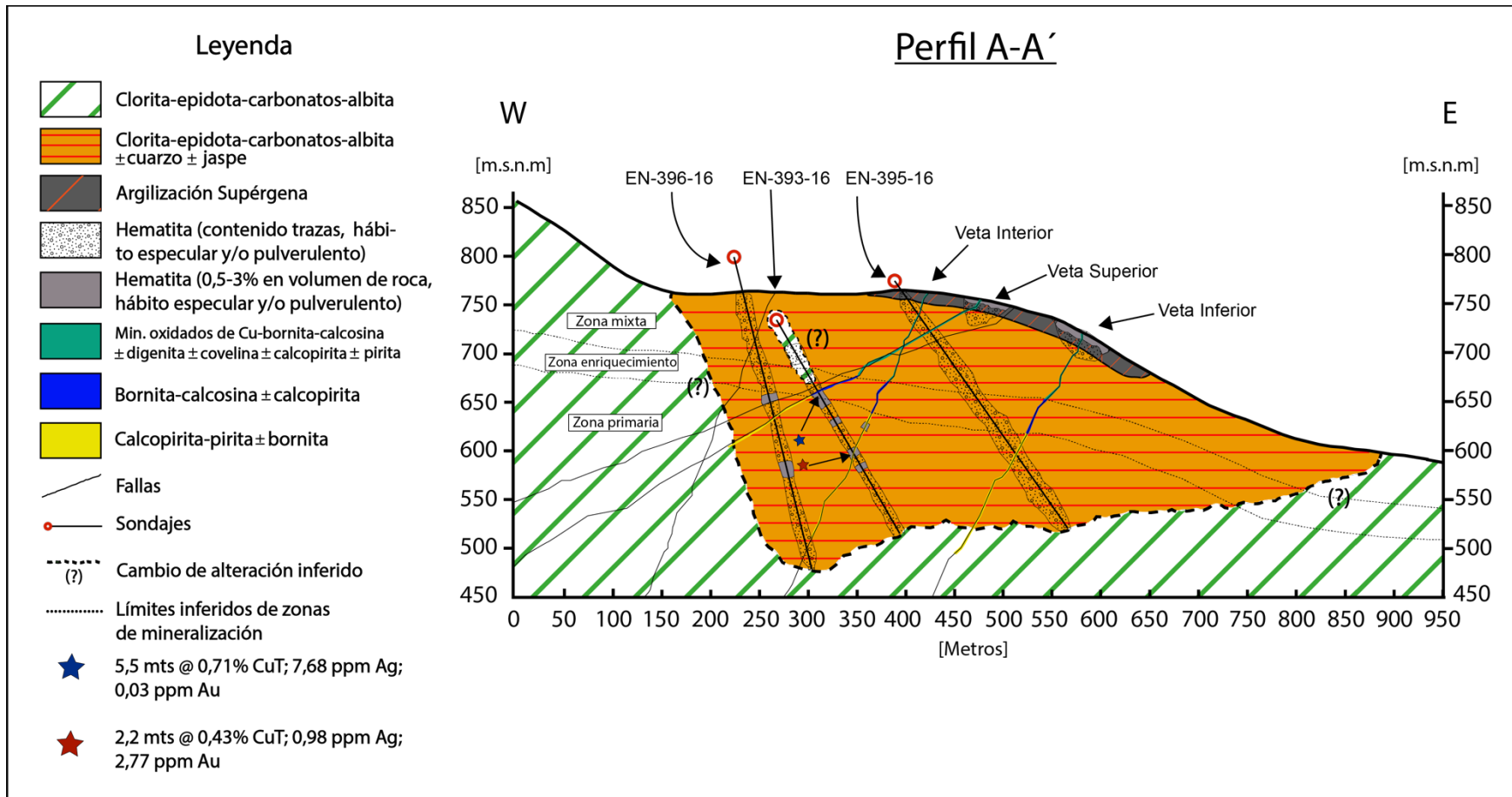


Figura 3.12. Perfil de Alteración A-A'.

### 3.1.4 Mineralización

La mineralización en la concesión minera La Virtud ocurre principalmente en 2 vetas (Veta Superior y Veta Inferior, Figura 3.13), los cuales presentan una disposición general de rumbo NS – N30°W, con manteos entre 30 y 60 grados hacia el oeste. En superficie, la mineralización metálica se compone por zonas mixtas con minerales óxidados de cobre, crisocola, bornita, calcosina y menor calcopirita, pirita, covelina y digenita, algunos de estos minerales asociados a vetas y vetillas de cuarzo con textura de peineta dentro de las vetas principales mencionadas anteriormente. Estos minerales presentan variaciones de contenido dentro del prospecto de acuerdo a la alteración, donde aquellos con predominancia de minerales oxidados de cobre, calcosina y bornita normalmente están asociados a zonas con vetas y vetillas de cuarzo y abundantes hidróxidos de hierro y arcillas, mientras que las zonas con sulfuros en profundidad se presentan asociados principalmente a microvetillas, vetillas y vetas de calcita, epidota o cuarzo cuyos espesores varían entre 1 mm y 15 cm de ancho.

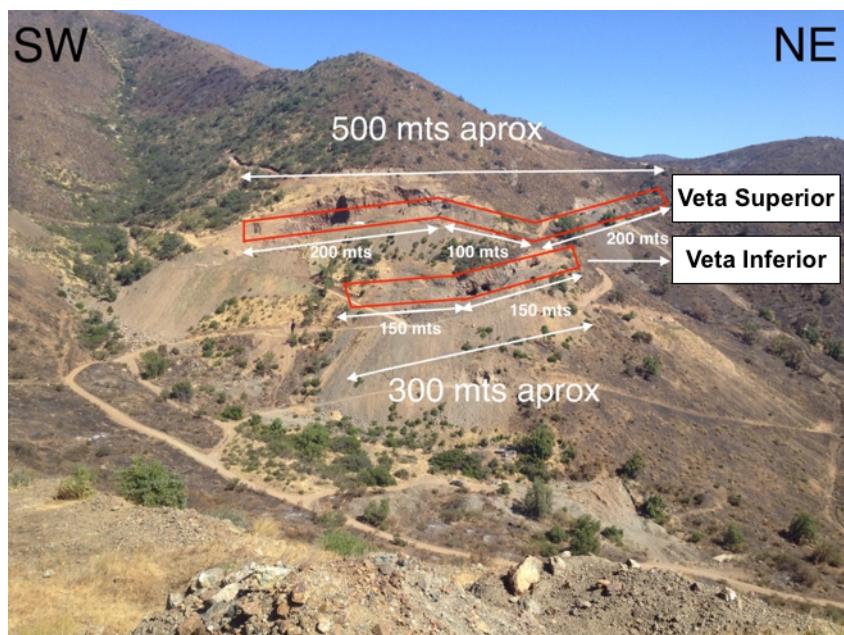


Figura 3.13. Imagen en dirección N45°W de la Concesión Minera La Virtud tomada desde la Concesión Minera El Limite. En color rojo se encierran las zonas en superficie que corresponden a las Vetas Superior e Inferior, las cuales presentan mineralización de oxidados de cobre, crisocola, calcopirita, bornita y calcosina. La extensión lateral aproximada en superficie de las Vetas Superior e Inferior, corresponde a 500 y 300 metros respectivamente.

En la **Veta Superior**, la mineralización metálica hipógena se manifiesta como bornita y calcopirita subordinada, mientras que la mineralización supérgena corresponde a minerales oxidados de cobre, crisocola, calcosina y menor digenita y covelina. Esta mineralogía de mena se encuentra hospedada principalmente en vetas y vetillas de cuarzo y calcita, donde además se observa mineralización en la roca de caja alrededor de 30 centímetros en torno a estas estructuras

mencionadas. La potencia visible de esta veta en superficie varía entre 3 y 5 metros, pudiendo tomar una potencia mayor ya que sólo se observa claramente el techo de la mineralización pero no así su base (Figura 3.14). El rumbo de esta veta varía entre NS – N15°W, con un manteo promedio de 30° al oeste. Los minerales de ganga observables en esta estructura mineralizada corresponden a clorita, calcita, cuarzo, hematita (especular y de hábito pulverulento), hidróxidos de hierro y arcillas blancas.

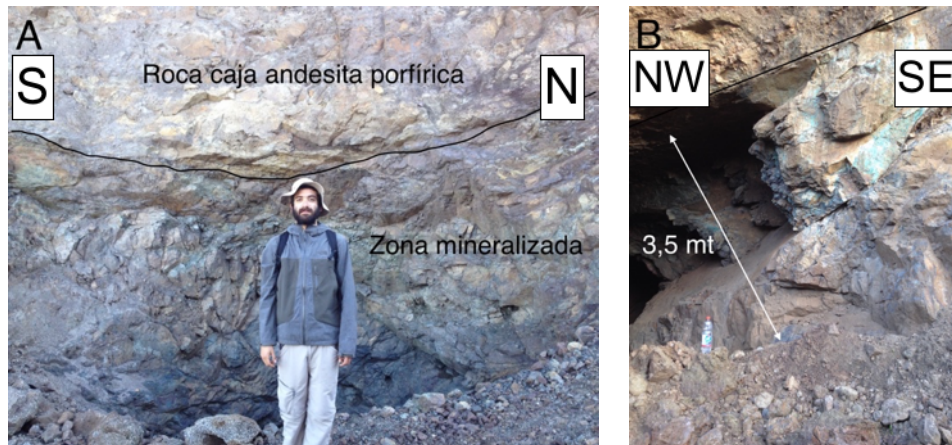


Figura 3.14. **Veta Superior.** A) Foto tomada en dirección oeste. Se observa el límite entre el techo de la Veta Superior mineralizada y la roca caja, la cual corresponde a una andesita porfírica cloritizada. B) Foto tomada en dirección N30°E a la parte sur de la Veta Superior en superficie. La veta en esta zona muestra una potencia mínima de 3,5 mt a la entrada del socavón, la cual crece hacia el interior de él. En la imagen se distingue la orientación de la estructura mineralizada, la cual presenta un rumbo de N15°W y manteo de 30° al oeste.

En la **Veta Inferior** (Figura 3.15), la mineralización metálica hipógena se presenta como bornita y calcopirita subordinada, mientras que la mineralización supérgena corresponde a minerales oxidados de cobre, crisocola, calcosina y menor digenita y covelina. Esta mineralogía de mena se encuentra hospedada principalmente en vetas y vetillas de cuarzo y calcita, donde además se observa mineralización en la roca de caja alrededor de 30 centímetros en torno a estas estructuras mencionadas. Su potencia varía desde 2 hasta 5 mts, pudiendo tomar valores mayores, ya que al igual que la **Veta Superior**, sólo se pudo visualizar el techo de la mineralización y no la base. El rumbo de esta veta es de N10°W con un manteo promedio de 60° al oeste. Los minerales de ganga incluyen cuarzo, hematita (especular y de hábito pulverulento), clorita, hidróxidos de hierro y arcillas. Esta veta se encuentra localizada 50 metros más hacia el este que la Veta Superior.





Figura 3.15. **Veta Inferior**. En color blanco se delimita el espacio de la veta con minerales oxidados de cobre, crisocola, bornita, calcosina y calcopirita, covelina y digenita subordinadas. Foto tomada en dirección hacia el norte.

Además, existe una labor minera que consiste en un socavón que fue explotado durante décadas pasadas por antiguos dueños de la concesión minera de explotación. El socavón comienza en superficie en las coordenadas 324.410 E / 6.290.036 N (Datum WGS 1984 Zona 19S), a una altura aproximada de 630 m s.n.m. En el interior del socavón se pudo reconocer labores de explotación de una veta mineralizada con calcopirita y menor bornita hipógenas de rumbo N60°W y manto de 60° al SW. Posteriormente, esta veta fue denominada **Veta Interior**. En un análisis geoquímico enviado a realizar por la empresa GeoAV S.A. a la veta mineralizada (Luca, 2015), éste arrojó una ley de 27,97 % de CuT (Tabla 3.14, muestra LV20). Además, análisis a otras 2 muestras de esquirlas de roca tomadas dentro del socavón a la roca de caja en torno a la veta mineralizada, cuyas dimensiones corresponden a un panel de 1 m<sup>2</sup> y 1 cm de profundidad, arrojaron valores entre 2,4 y 2,8 % de CuT (Tabla 3.14, muestras LV-18 y LV-19).

En la zona norte de la concesión minera La Virtud, con coordenadas 324.233 E / 6.290.582 N (Datum WGS 1984 Zona 19S), se observa una veta con rumbo N70°W y manto de 55°W, la cual fue denominada **Veta Principal Zona Norte** y atravesaría la secuencia volcánica en la zona de estudio. La veta donde aflora presenta una potencia aproximada de 4 mt y se puede dividir en 3 zonas distinguibles: la primera zona de 1,2 mt de potencia presenta vetillas de cuarzo sin

mineralización evidente, con escasos minerales oxidados de cobre. Una muestra de esquirlas de roca de un panel de 1 m<sup>2</sup> y 1 cm de profundidad de esta zona arrojó una ley de 0,19% de cobre total (Tabla 3.14, muestra LV-05). La segunda zona, de 0,8 mt de espesor, corresponde a roca con textura brechizada, presentando clastos volcánicos alterados y matriz de cuarzo con escasos minerales oxidados de cobre. La tercera zona, presenta cloritización, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro asociados a vetillas de cuarzo, con escasa mineralización visible (ver Figura 3.16). Una muestra de esquirlas de roca de un panel de 1 m<sup>2</sup> y 1 cm de profundidad de esta última zona arrojó una ley de 0,54% de cobre total (Tabla 3.14, muestra LV-06).

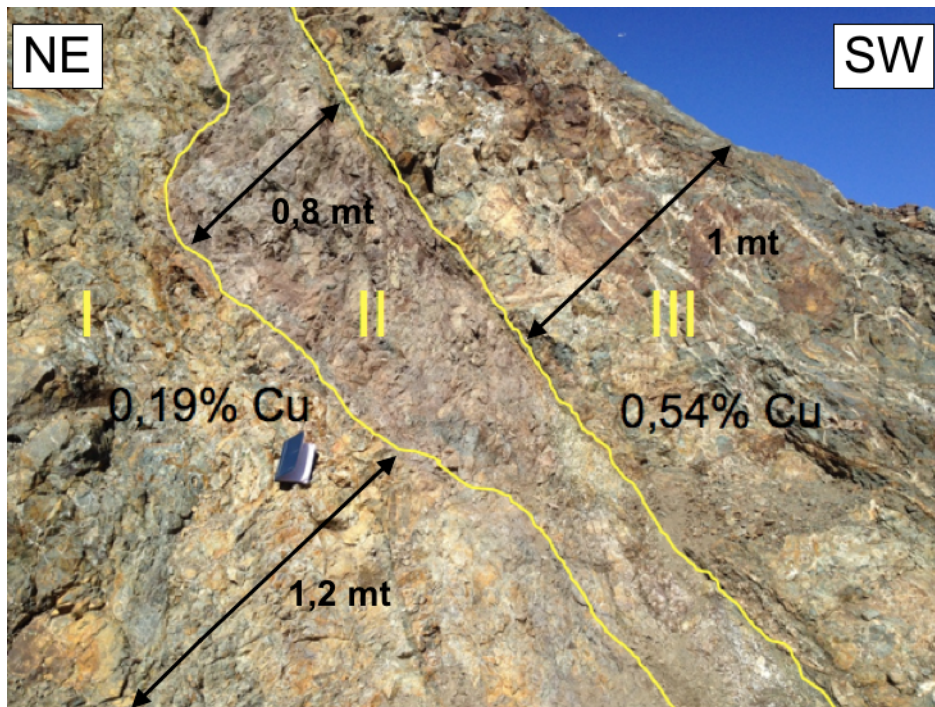


Figura 3.16. **Veta Principal Zona Norte.** Esta veta presenta 3 zonas distinguibles: I) Zona de vetillas de cuarzo en roca huésped cloritizada con escasa mineralización de oxidados de cobre, donde una muestra de esta zona arrojó un valor de 0,19% de CuT. II) Zona de roca brechizada y III) Zona de alteración con clorita, vetillas de cuarzo con presencia de óxidos de cobre, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro. Esta zona arrojó mediante análisis geoquímicos un valor de 0,54% de CuT.

En la concesión minera El Límite, la mineralización se presenta en una veta ubicada al suroeste del área de estudio con rumbo de N60°W y manteo de 60° al SW, que presenta mayoritariamente crisocola y minerales oxidados de cobre supérgenos, y escasamente bornita, calcopirita y pirita hipógenas (ver Figura 3.17). Posteriormente, esta veta fue denominada **Veta El Límite**. En superficie, la veta presenta una potencia que varía entre 3 y 4 metros de altura. Al igual que en las vetas anteriores y por colaboración de la empresa GeoAV S.A., análisis geoquímicos realizados a muestras de esquirlas de roca en la veta principal y en la roca caja arrojaron concentraciones de 3,16 % y 0,605 % de CuT respectivamente (Tabla 3.14, muestras LV-16 y LV-17). Además, existe una veta menor en la concesión minera El Límite, la cual está a una distancia de 150 metros en

superficie de la mencionada anteriormente y 90 metros más baja en cota, mostrando una disposición N55°W/50°SW y mineralización de minerales oxidados de cobre supérgenos, junto con pirita, calcopirita y bornita hipógenas. No se tienen datos geoquímicos de cobre total para esta última veta mencionada.

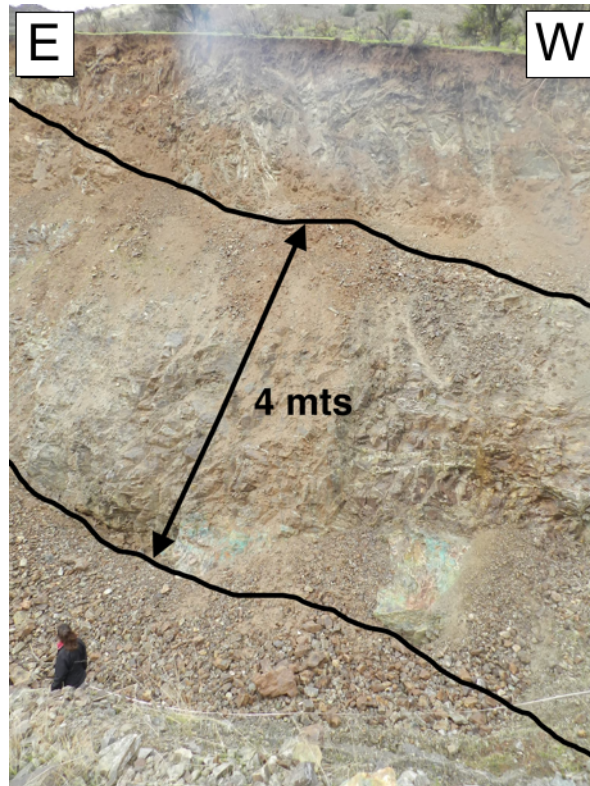


Figura 3.17. Veta El Límite. En color negro se delimita el espacio de la veta con mineralización de minerales oxidados de cobre, crisocola y escasos contenidos de pirita, calcopirita y bornita.

#### 3.1.4.1 Secuencia paragenética

La asociación de sulfuros hipógenos está representada por pirita, calcopirita, bornita y trazas de galena, mientras que la de sulfuros supérgenos por calcosina, covelina y digenita. No se encontraron minerales de plata de origen hipógeno, y éste elemento aparentemente está asociado con la calcopirita y bornita hipógenas y calcosina supérgena.

La pirita se ha encontrado como un sulfuro temprano presente en las vetas, vetillas, microvetillas, amígdalas y cavidades irregulares en profundidad, acompañada en cantidades variables por calcopirita e intercrecida junto a calcita, epidota y cuarzo. Diseminaciones de pirita en contenido de trazas también aparecen dentro de la matriz de las andesitas porfíricas en secciones profundas del prospecto. Así, este mineral es considerado como el sulfuro más antiguo dentro del Prospecto La Virtud – El Límite. La pirita es reemplazada por cantidades variables de calcopirita anhedral a lo largo de los bordes de los granos minerales (Figura 3.18 A). A su vez, la calcopirita ocurre como un remplazo mineral de la pirita

aproximadamente desde la cota 690 m s.n.m hacia niveles más profundos en la zona de estudio. En estas zonas, se observa acompañada por ganga de epidota, calcita y cuarzo relleno de vetillas, microvetillas, vetas, cavidades irregulares y amígdalas. Desde los 690 metros de altitud hacia niveles más someros, la calcopirita está parcialmente reemplazada por bornita y hematita supérgena (Figura 3.18 B y C), donde estos dos minerales se presentan relleno de las fracturas de los cristales de calcopirita. La bornita y hematita supérgena forman parte de rellenos de microvetillas, vetillas, amígdalas y cavidades irregulares, principalmente en compañía de epidota y/o calcita, y en menor grado junto a cuarzo. Este mineral también suele estar presente en zonas superficiales de mineralización mixta con minerales oxidados de cobre, bornita, calcosina y calcopirita, digenita y covelina subordinadas. La calcosina se presenta generalmente como un reemplazo de la bornita en microvetillas, vetillas, cavidades irregulares y amígdalas, observándose mayoritariamente entrecrecida con calcita y/o epidota. Evidencias de este reemplazo se presentan desde los 650 m s.n.m hasta la superficie (Figuras 3.18 D y E). Finalmente, en cantidades trazas, la bornita y calcosina fueron reemplazadas a través de los bordes de los granos minerales por contenidos de covelina y digenita supérgenas (Figura 3.18 F). La calcosina no fue observada en contacto con calcopirita ni hematita.

Se puede concluir que la distribución original de los sulfuros de cobre y hierro hipógenos y supérgenos está caracterizada por un progresivo enriquecimiento de cobre y un aumento en la fugacidad de azufre con el tiempo, primero por procesos hipógenos, y posteriormente por procesos supérgenos. La pirita temprana ha sido subsecuentemente reemplazada por calcopirita y bornita, para posteriormente la bornita ser reemplazada por procesos supérgenos por calcosina y cantidades trazas de digenita y covelina. En cantidades variables, el crecimiento de hematita de hábito especular y pulverulento acompaña estos procesos.

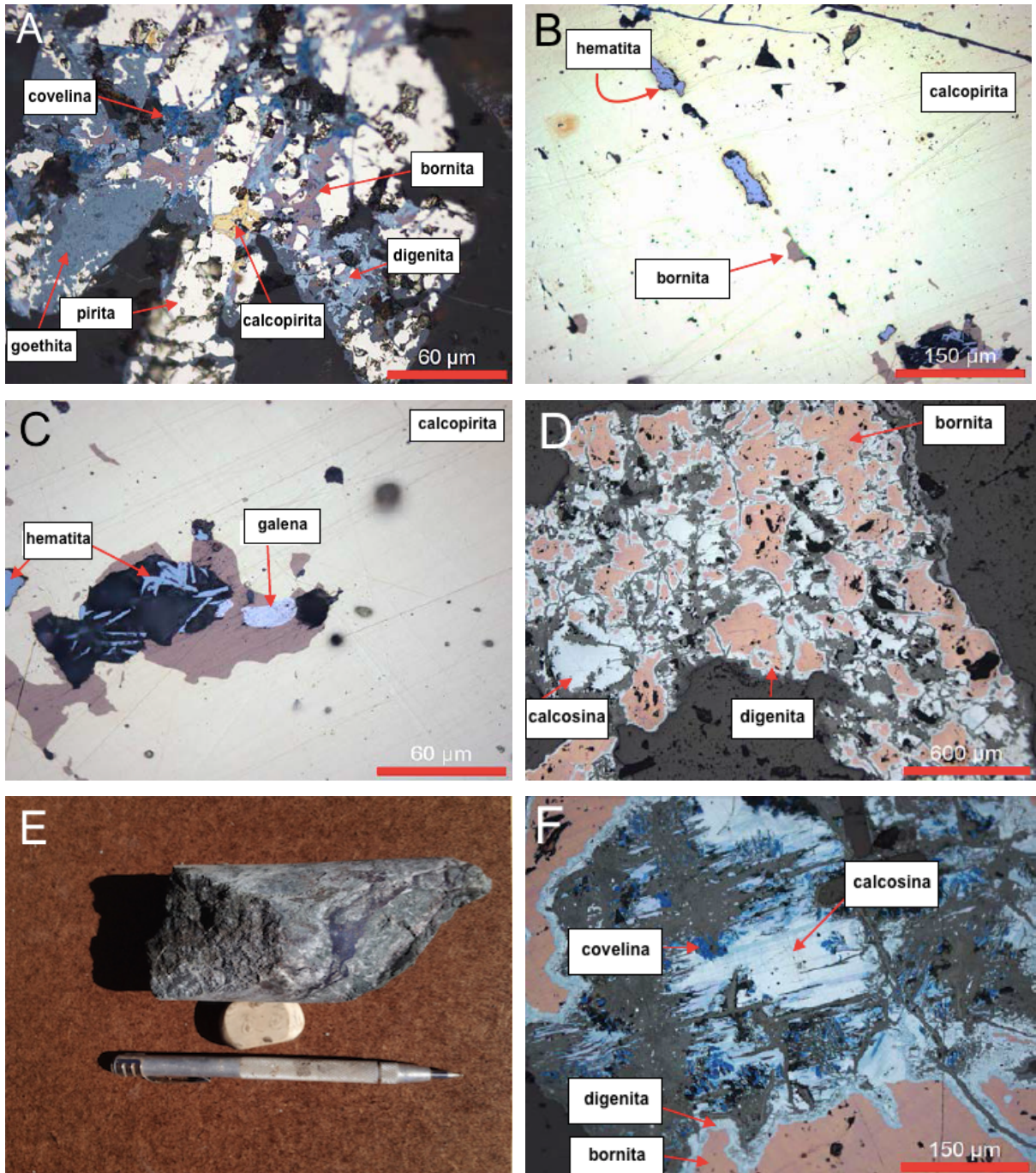


Figura 3.18. A) Entrecrecimiento de pirita, calcopirita y bornita (mineralización temprana). Digenita, covelina y goethita se presentan como producto de alteración de los minerales mencionados anteriormente, tanto en bordes de cristales como en microfracturas intracristalinas (mineralización tardía). B) Microvetilla discontinua rellena con hematita y bornita en cristal masivo de calcopirita. C) Galena junto a bornita en cristal masivo de calcopirita. Se presentan cristales de hematita especular relleno de cavidad de calcopirita masiva. D) Cristal masivo de bornita con reemplazo de calcosina en bordes y microfracturas. E) Vetilla de calcita con presencia de bornita siendo reemplazada por calcosina. F) Bornita masiva alterada a digenita en los bordes junto con entrecrecimiento de calcosina y covelina.

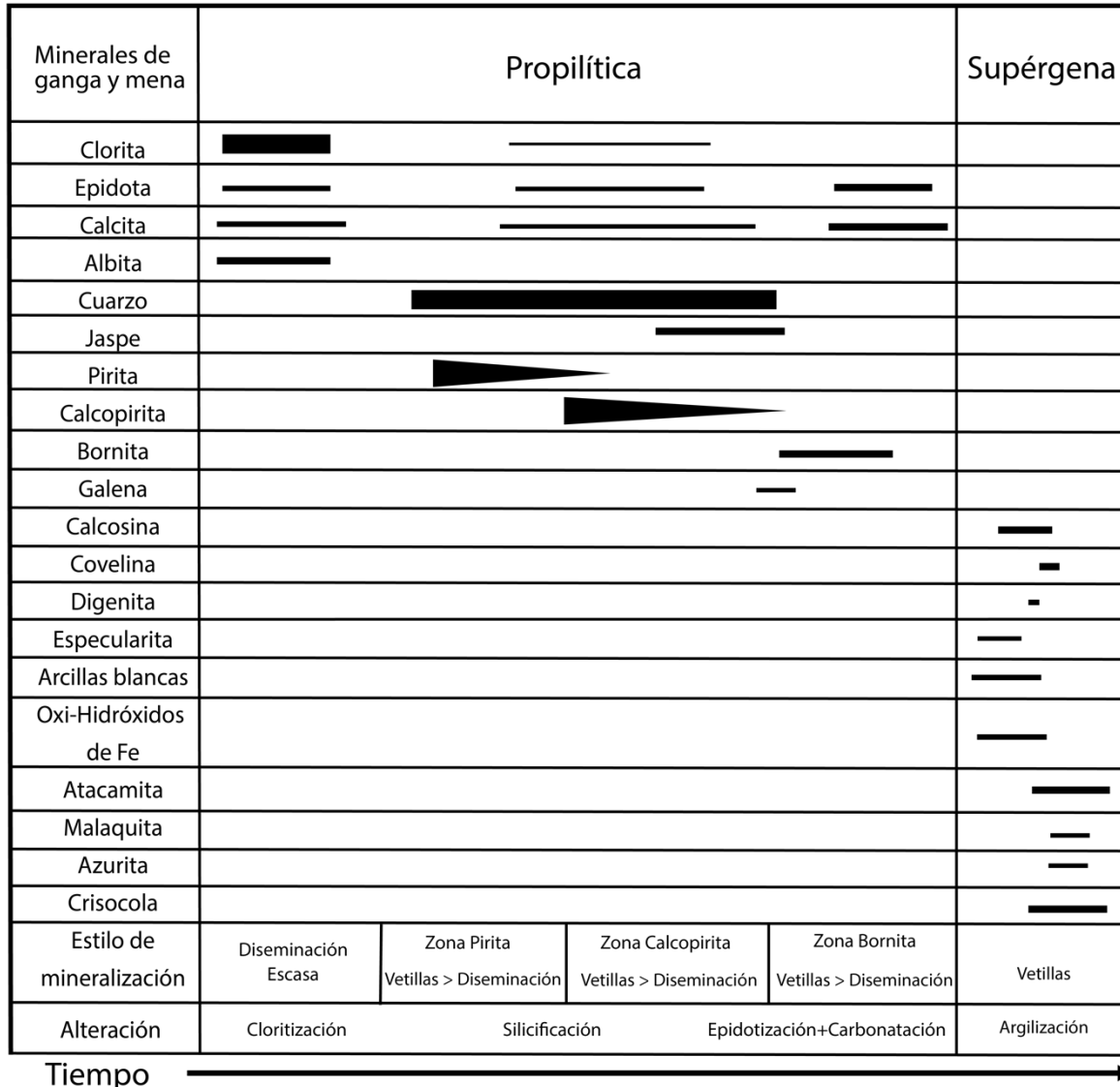


Figura 3.19. Secuencia paragenética en el prospecto cuprífero La Virtud – El Límite, éste trabajo. El grosor de las barras indica la abundancia del mineral.

### 3.1.5 Estructuras tectónicas

La expresión de fallas en la concesión minera La Virtud corresponden a aquellas que hospedan las vetas mineralizadas descritas anteriormente en la sección 3.14 (Mineralización). Estas fallas poseen rumbos que varían entre N-S y N15°W, donde los manteos corresponden a 30° W para la Veta Superior, y 60° W para la Veta Inferior. Además, se presenta la falla que alberga sulfuros de cobre y hierro en el interior del socavón minero, la cual presenta rumbo de N60°W y manteo de 60° SW, rumbo y manteo similar a la falla principal observada en la zona norte de la concesión minera La Virtud. En el caso de la concesión minera El Límite, la falla que presenta mineralización de minerales oxidados de cobre en

superficie tiene rumbo y manto de N60°W/60°SW, presentando el mismo rumbo y manto de la falla al interior del socavón minero en la concesión minera La Virtud.

En el sector norte de la concesión minera La Virtud, con coordenadas UTM 324.222 E/ 6.290.611 N (Datum WGS 1984 Zona 19S), se observa una falla con un marcado plano de falla con rumbo N70°W y manto de 55° al SW, la cual posee un espesor de 3 metros en superficie. Esta falla principal posee 3 zonas separables: I) zona de vetillas de cuarzo en roca huésped cloritizada con escasa mineralización de minerales oxidados de cobre, II) zona de roca brechizada y III) zona de alteración con clorita, vetillas de cuarzo con presencia de minerales oxidados de cobre, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro (ver Figura 3.20).

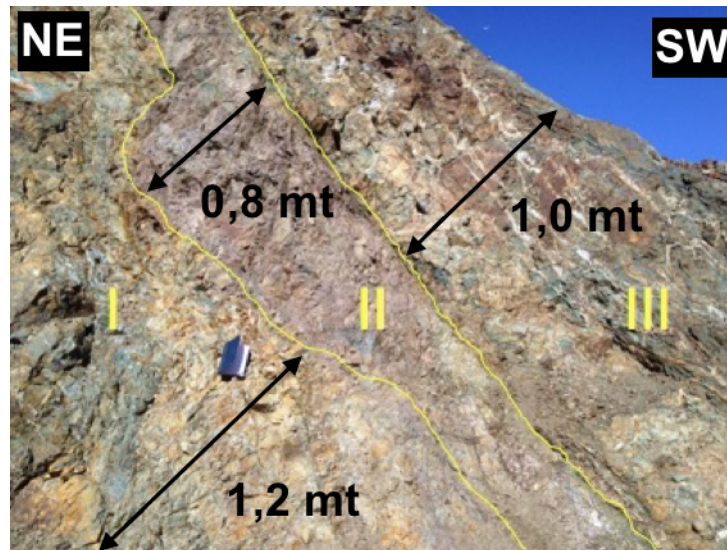
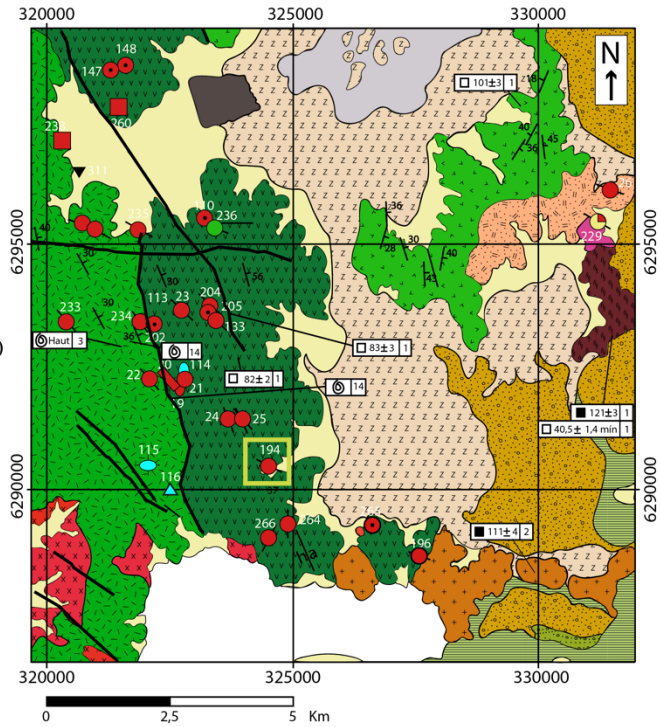
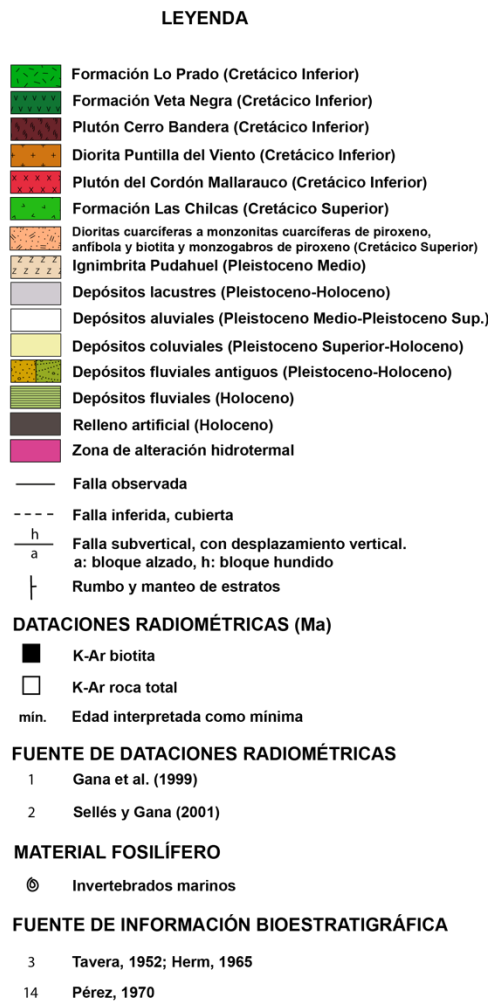


Figura 3.20. Falla Principal Zona Norte. Esta falla presenta 3 zonas distinguibles: I) Zona de vetillas de cuarzo en roca huésped cloritizada con escasa mineralización de oxidados de cobre, II) Zona de roca brechizada y III) Zona de alteración con clorita, vetillas de cuarzo con presencia de minerales oxidados de cobre, arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro.



**SIMBOLOGÍA DE YACIMIENTOS METÁLICOS Y NO METÁLICOS**

MENA O RECURSO	FORMA DEL YACIMIENTO
<span style="color: red;">●</span> cobre	<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> Vetiforme (con indicación de rumbo)
<span style="color: yellow;">●</span> oro	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">□</span> Irregular, bolsón
<span style="color: green;">●</span> plata	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">▭</span> Estratoligado (orientado según rumbo)
<span style="color: cyan;">●</span> caliza	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">◌</span> Estratiforme, mantiforme (orientado según rumbo)
<span style="color: black;">●</span> óxido de hierro	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">◌</span> Estratiforme, mantiforme (sin orientación conocida)
<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> mena principal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">△</span> Chimenea de brecha
<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">○</span> mena subordinada	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">▽</span> Irregular
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">○</span> Sin información

Figura 3.21. Lineamientos principales entre los 33°30' y 33°35'. Los lineamientos en color negro representan principales fallas observadas, inferidas y el contacto entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra. El rectángulo amarillo encierra el área del Prospecto cuprífero La Virtud - El Límite. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S). Modificado de Gana et al. (1999) y de Sellés y Gana (2001).

Lineamientos y fallas de dirección NW de gran extensión se continúan hacia el occidente con una orientación NW a WNW y forman parte de la Falla Melipilla.

Además, en las concesiones mineras La Virtud y El Límite pueden observarse sistemas de fracturas como diaclasas y fallas de potencias menores a 5 cms que presentan orientaciones en múltiples direcciones sin seguir algún patrón distintivo (Figura 3.22). Estas fracturas comúnmente presentan rellenos de cuarzo, óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas y en menor medida minerales oxidados de cobre y sulfuros de cobre y hierro.



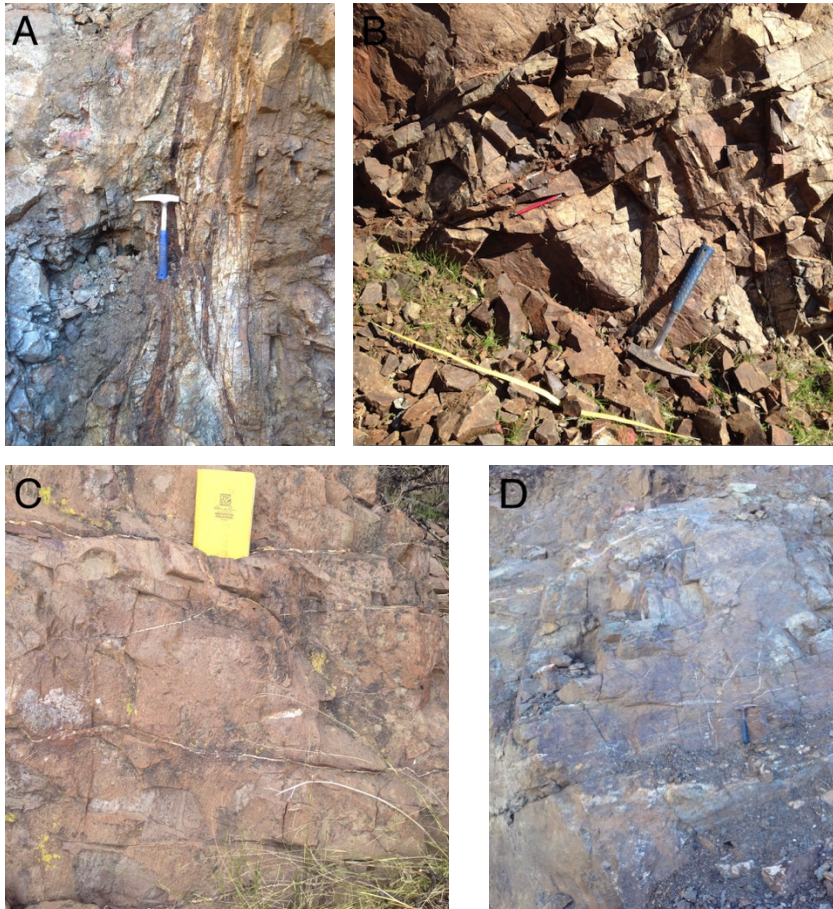


Figura 3.22. Fracturas multidireccionales en el Prospecto La Virtud - El Limite. A) Falla vertical de 3 cms de potencia con relleno de óxidos e hidróxidos de hierro, arcillas y escasos minerales oxidados de cobre. B) Sistemas de diaclasas de menos de 2 cm de potencia. C) y D) Sistemas de vetillas paralelas de cuarzo, donde las vetillas presentan potencias menores a 3 cms.

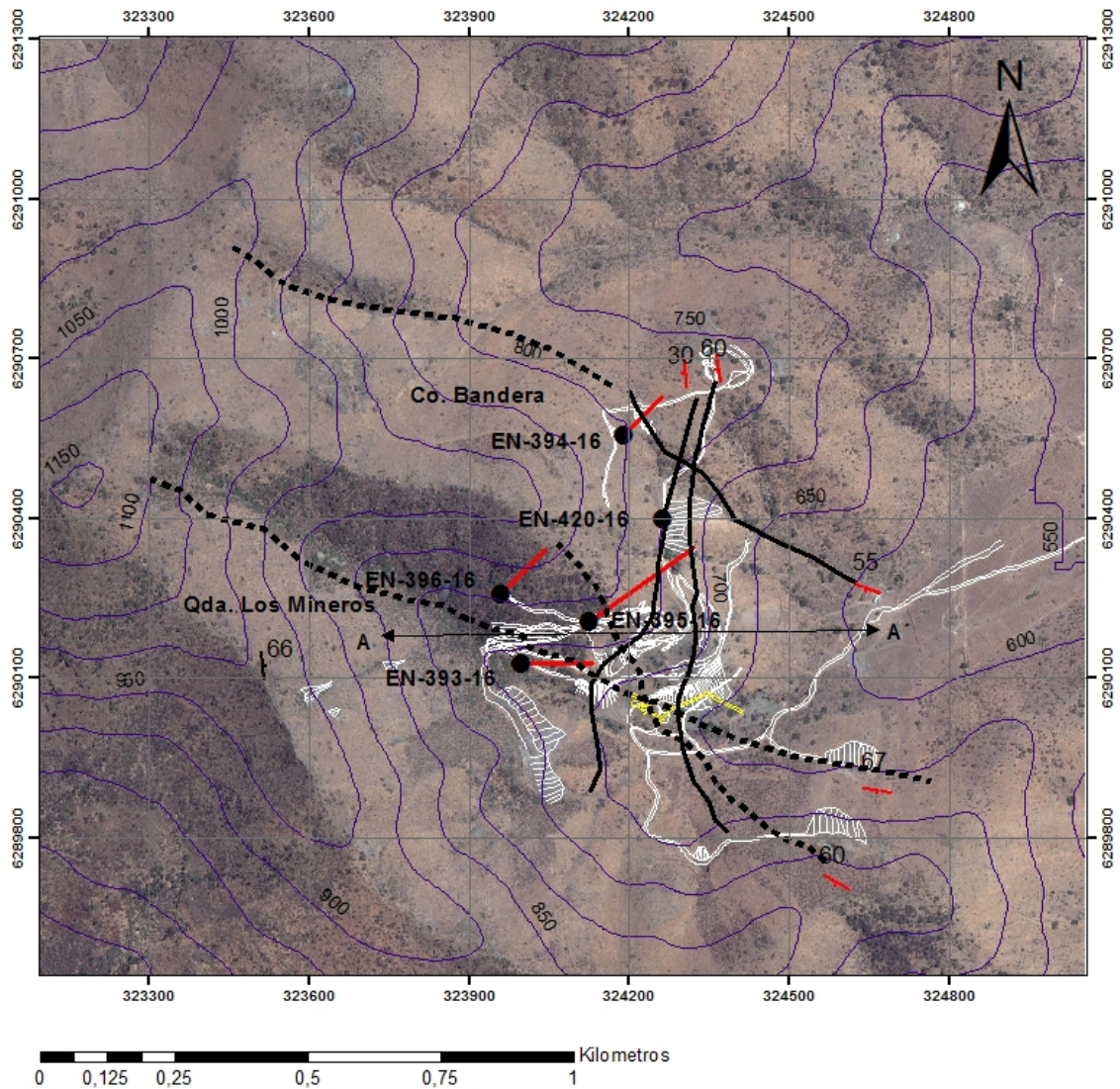


Figura 3.23. Mapa Estructural de la zona de estudio donde se indican las principales fallas y la ubicación de los sondajes realizados durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

## 3.2 Sondajes

A continuación se presentan los resultados del mapeo de los cinco testigos de sondajes de diamantina realizados por la empresa DV Drilling en el contexto de la campaña de exploración realizada en el año 2016. La ubicación de los sondajes EN-393-16 (coordenadas 324.008E 6.290.128N, datum WGS 1984 Zona 19S), EN-394-16 (coordenadas 324.190E 6.290.556N, datum WGS 1984 Zona 19S), EN-395-16 (coordenadas 324.126E 6.290.206N, datum WGS 1984 Zona 19S), EN-396-16 (coordenadas 323.959E 6.290.255N, datum WGS 1984 Zona 19S) y EN-420-16 (coordenadas 324.259E 6.290.400N, datum WGS 1984 Zona 19S) se detalla en la Figura 3.24.

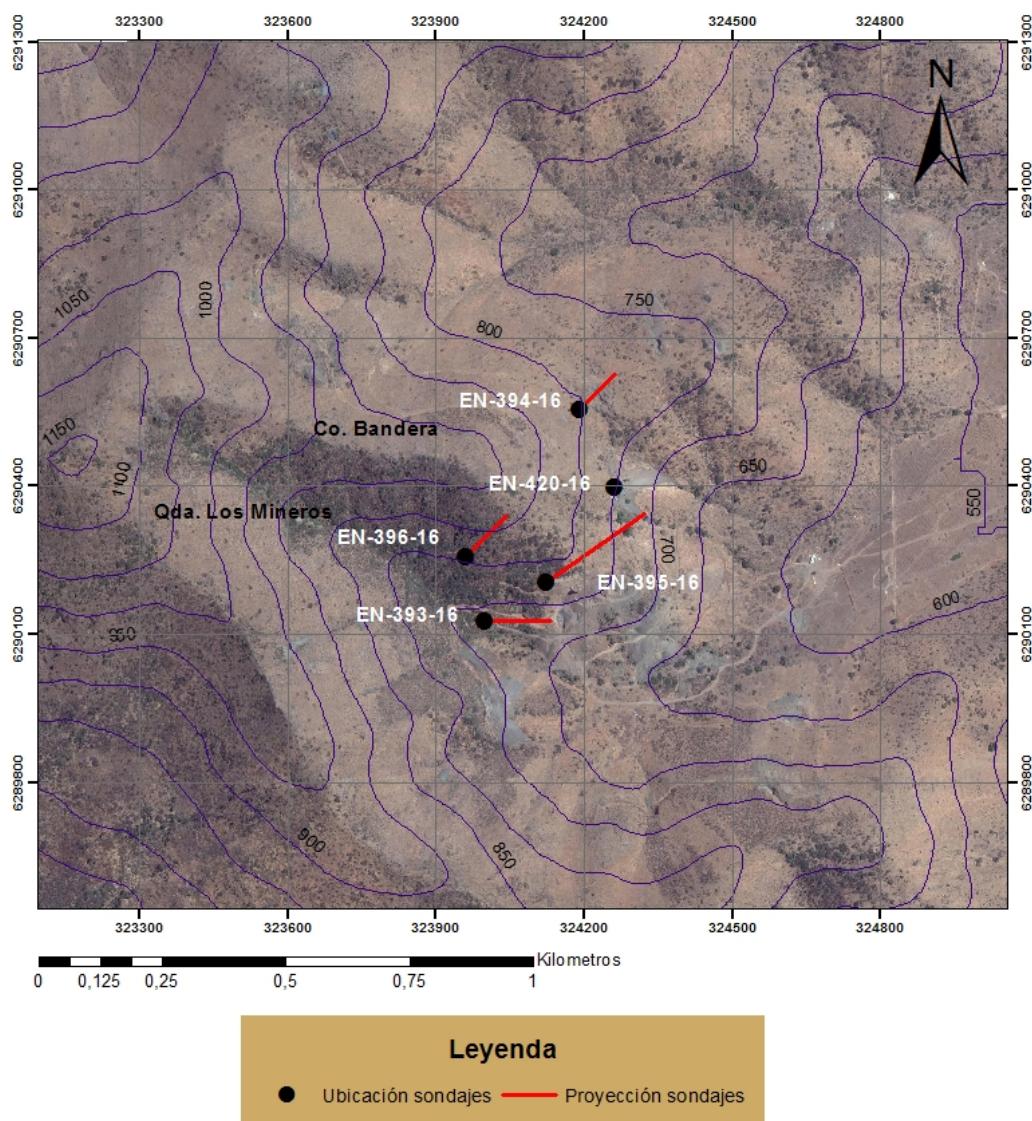


Figura 3.24. Distribución de los sondajes realizados por la empresa DV Drilling durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

### 3.2.1 Sondaje EN-393-16

El sondaje EN-393-16 se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 324.008E, 6.290.128N (Datum WGS 1984 Zona 19S), su longitud es de 264 m, azimut 90° e inclinación inicial -60°. Se reconocieron 5 litologías: andesita porfírica, andesita afanítica, andesita porfírica de grano grueso, brecha volcánica polimíctica y toba cristalina. Las asociaciones de alteración hidrotermal predominantes son: clorita-epidota-carbonatos-albita y clorita-epidota-carbonatos-albita±cuarzo±jaspe.

A continuación se detalla la nomenclatura usada para abreviar los minerales de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation*, usados en el mapeo de testigos de este sondaje descrito en la tabla 3.2:

Tabla 3.1. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation* presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-393-16.

Ganga		Mena	
Abreviación	Mineral	Abreviación	Mineral
chl	clorita	cpy	calcopirita
ep	epidota	bn	bornita
calc	calcita	cc	calcosina
carb	carbonatos	min. oxidados de Cu	minerales oxidados de cobre
alb	albita	<b>Otros</b>	
plg	plagioclasa	Abreviación	Significado
qz	cuarzo	c.i	cavidades irregulares
jsp	jaspe	RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
esp	especularita		
jar	jarosita		
lep	lepidocrocita		
ht	hematita (hábito pulverulento)		
goeth	goethita		
pir	pirolusita		
arc. blancas	arcillas blancas		
py	pirita		

Tabla 3.2. Mapeo de testigos de sondaje EN-393-16.

MAPEO DE TESTIGOS DE SONDAJE EN-393-16							
Sondaje	Coord. Norte	Coord. Este	Inclinación	Azimuth	Sist. Coord.	Diámetro Instrumento	Total Perforado
EN-393-16	6290128	324008	(-) 60 grados	90°	WGS 1984 ZONA 19S	NQ	264 metros
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	MIN.ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	OBSERVACIONES		
0,00	3,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb				
3,00	6,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
3,00	9,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
9,00	12,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
12,00	15,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
15,00	18,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb		Fenocristales de plg efervescen con ácido clohídrico		
18,00	21,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb		Fenocristales de plg efervescen con ácido clohídrico		
21,00	24,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb		Roca fracturada y molida entre 21,30 y 22,20; 22,80 y 23,00; 25,60 y 26,40 (RQD=0 en estos tramos)		
24,00	29,80	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
29,80	32,60	TOBA CRISTALINA	chl-ep	±esp	Especlarita diseminada		
32,60	37,95	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb	±esp	Especlarita diseminada en la matriz		
37,95	42,75	BRECHA VOLCÁNICA	chl-ep-alb-carb	±esp	Brecha volcánica polimíctica. Especlarita diseminada en la matriz y en clastos andesíticos		
42,75	48,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb	±esp±ht	Especlarita diseminada en la matriz y hematita pulverulenta relleno c.i		
48,00	51,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
51,00	54,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
54,00	57,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
57,00	60,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb				
60,00	63,95	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb	±esp	Especlarita diseminada en la matriz		
63,95	69,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht	Hematita pulverulenta en microvetillas de calcita		
69,00	72,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht	Hematita pulverulenta en microvetillas de calcita		
72,00	75,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	cpy±min. oxidados de Cu	Roca fracturada entre 72,50 y 73,20 (RQD=0 en este tramo)		
75,00	78,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	bn-cc	77,55: vetilla de 2 cms de calc con bn-cc. 78,40: bn-cpy en microvetillas de qz.		
78,00	81,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	bn-cpy±esp			
81,00	84,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±esp	82,00: microvetilla con cc.		
84,00	87,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp±cpy±py	Escasas diseminaciones de py y cpy		
87,00	90,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp-cpy±py	cpy en microvetillas de qz		
90,00	93,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp-py±cpy	py en microvetillas de qz		
93,00	96,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp-py±cpy	py en microvetillas de qz		
96,00	99,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp	Especlarita diseminada en la matriz		
99,00	102,00	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	cpy y py diseminadas, y en microvetillas de ep, qz o calc.		
102,00	106,40	ANDESITA AFANÍTICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp			

106,40	111,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy	cpy en vetillas de qz-jsp-ep
111,00	114,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-bn±py±esp	cpy y bn en microvetillas de calc o ep
114,00	117,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en microvetillas de calc o calc-ep
117,00	120,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-py-esp	cpy y py en microvetillas de ep o calc
120,00	123,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	bn-cpy±py±esp	bn, cpy y py en vetas y vetillas de ep, calc o qz
123,00	126,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	bn-cpy±py±esp	
126,00	129,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy±py±esp	cpy y py diseminadas o en vetillas de qz o calc
129,00	132,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	bn-cpy±py	En 129,40 veta de 4 cms de calc con bn y cpy
132,00	135,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py	cpy y py en microvetillas de calc, ep o qz
135,00	138,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py	Zona muy fracturada entre 135,90 y 136,60 (RQD=0)
138,00	141,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-py-esp	cpy y py en vetas, vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
141,00	144,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de calc, qz o calc-qz
144,00	147,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	py en vetillas y microvetillas de calcita, qz o calc-qz
147,00	150,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp±py	py en vetillas y microvetillas de calcita, qz o calc-qz
150,00	153,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp±cpy±py	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
153,00	156,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
156,00	159,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de calc o qz
159,00	162,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py	py en vetillas y microvetillas de calc o qz
162,00	165,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
165,00	168,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py	py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
168,00	171,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en veta de 5 cm cuarzo (169,85 m) y en vetillas de ep-qz
171,00	174,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp±cpy±py	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
174,00	177,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp±cpy±py	cpy y py en vetas, vetillas y microvetillas de qz. En 175,60 aumento de especularita a un 15% en masa fundamental de la roca y entre 177,70 y 179,90 sistema de 2,2 metros de vetas de cuarzo con 1-2% de cpy
177,00	180,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-py-esp	
180,00	183,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	En 181,15 decrece contenido de especularita a diseminaciones en contenido de trazas
183,00	186,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
186,00	189,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
189,00	192,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
192,00	195,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz

195,00	198,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
198,00	201,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
201,00	204,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
204,00	207,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita sólo se presenta en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
207,00	210,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en amígdalas de qz o ep
210,00	213,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
213,00	216,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
216,00	219,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
219,00	222,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
222,00	225,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz. Entre 225,10 y 225,90 la roca se presenta muy fracturada (RQD=0 en este tramo)
225,00	228,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
228,00	231,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
231,00	234,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
234,00	237,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
237,00	240,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
240,00	243,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
243,00	246,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
246,00	249,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz. Entre 250,30 y 250,90 la roca se presenta muy fracturada (RQD=0 en este tramo).
249,00	252,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
252,00	255,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz
255,00	264,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz



Figura 3.25. Andesita porfírica entre los 15,30 y 15,60 metros de profundidad con alteración clorita-epidota-albita-carbonatos. En la figura se aprecia la epidotización selectiva que presentan los fenocristales de plagioclasa.



Figura 3.26. Brecha volcánica polimíctica entre los 40,15 y 40,50 metros de profundidad. La matriz está compuesta de una andesita porfírica con fenocristales de 2 mm cubriendo un 15 % de la matriz de la roca. Los 2 tipos de fragmentos corresponden a clastos angulosos de andesita porfírica con tamaño entre 1 y 2 cms de largo, y clastos angulosos a sub-angulosos de andesita porfírica de grano grueso cloritizada con tamaños entre 8 y 10 cms de largo.





Figura 3.27. Andesita afanítica entre los 68,20 y 68,50 metros de profundidad. La roca presenta cloritización con escasas microvetillas de calcita.



Figura 3.28. Andesita afanítica mineralizada a los 77,55 metros de profundidad. Mineralización de bornita y calcosina en vetilla de calcita de 2 mm a 2 cm de potencia.



Figura 3.29. Andesita porfírica con fenocristales de albita rosada entre los 108,20 y 108,25 metros de profundidad. La coloración de los fenocristales se debe a la presencia de microinclusiones de hematita en la estructura cristalina de las plagioclasas, las cuales indican el carácter oxidante del proceso de alteración.



Figura 3.30. Mineralización de calcopirita y pirita en vetas de cuarzo, correspondientes al intercepto principal de 2,2 metros de potencia aparente. El tramo observado en la figura se ubica entre los 178,10 y 178,50 metros de profundidad del sondaje.

### 3.2.2 Sondaje EN-394-16

El sondaje EN-394-16 se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 324.190E, 6.290.556N (Datum WGS 1984 Zona 19S), su longitud es de 200 m, azimut 45° e inclinación inicial -60°. A lo largo de todo el tramo descrito se reconocieron 2 litologías: andesita porfírica y andesita porfírica de grano grueso. La asociación mineralógica de alteración hidrotermal observada corresponde a clorita-epidota-carbonatos-albita±cuarzo±jaspe.

A continuación se detalla la nomenclatura usada para abreviar los minerales de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation*, usados en el mapeo de testigos de este sondaje descrito en la tabla 3.4:

Tabla 3.3. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation* presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-394-16.

Ganga		Mena	
Abreviación	Mineral	Abreviación	Mineral
chl	clorita	cpy	calcopirita
ep	epidota	bn	bornita
calc	calcita	cc	calcosina
carb	carbonatos	min. oxidados de Cu	minerales oxidados de cobre
alb	albita	<b>Otros</b>	
plg	plagioclasa	Abreviación	Significado
qz	cuarzo	c.i	cavidades irregulares
jsp	jaspe	RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
esp	especularita		
jar	jarosita		
lep	lepidocrocita		
ht	hematita (hábito pulverulento)		
goeth	goethita		
pir	pirolusita		
arc. blancas	arcillas blancas		
py	pirita		

Tabla 3.4. Mapeo de testigos de sondaje EN-394-16.

MAPEO DE TESTIGOS DE SONDAJE EN-394-16							
Sondaje	Coord. Norte	Coord. Este	Inclinación	Azimuth	Sist. Coord.	Diámetro Instrumento	Total Perforado
EN-394-16	6290556	324190	(-) 60°	45°	WGS 1984 ZONA 19S	NQ	200 metros
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	MIN.ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	OBSERVACIONES		
0,00	3,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jsp	±cc±bn±min. oxidados de Cu	0,35-0,80 y 1,75-2,05: bn, cc y min. oxidados de Cu en vetas de qz		
3,00	6,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jsp				
6,00	9,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jsp	±cc±bn±min. oxidados de Cu	6,90-7,20 y 7,60-7,80: min. oxidados de Cu, py, bn y cc en vetillas de qz.		
9,00	12,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jsp	±cc±bn±min. oxidados de Cu			
12,00	15,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-pir-arc. blancas±qz±jsp		Plagioclasas argilizadas		
15,00	18,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-pir-arc. blancas±qz±jsp		Plagioclasas argilizadas		
18,00	21,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
21,00	24,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
24,00	27,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp		roca muy fracturada entre 26,20 y 26,60 (RQD=0 en este tramo)		
27,00	30,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
30,00	33,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
33,00	36,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
36,00	39,90	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				
39,90	42,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jsp	±cpy±py±min. oxidados de Cu	cpy, py y min. oxidados de Cu en microvetillas de qz-calc. Roca fracturada y molida entre 41,60 y 41,90; 42,60 y 43,45 (RQD=0 en estos tramos)		
42,00	45,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jsp	±cpy±py±min. oxidados de Cu			
45,00	48,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jsp	±cpy±py±min. oxidados de Cu			
48,00	51,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jsp	±cpy±py±min. oxidados de Cu			
51,00	54,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jsp				

54,00	57,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		Roca fracturada y molida entre 55,00 y 55,35,90; 56,35 y 56,70; 57,30 y 57,60; 58,20 y 59,00; 59,45 y 59,65; 60,05 y 60,35; 61,00 y 61,30 (RQD=0 en estos tramos)
57,00	60,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
60,00	63,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
63,00	66,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
66,00	69,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		Roca fracturada y molida entre 74,00 y 74,60 (RQD=0 en este tramo)
69,00	72,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
72,00	75,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
75,00	78,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
78,00	81,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		Especlarita diseminada en la matriz
81,00	84,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
84,00	87,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
87,00	90,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
90,00	93,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		cpy y py diseminadas, en amígdalas y c.i de ep-calc
93,00	96,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
96,00	99,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
99,00	102,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
102,00	105,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py	
105,00	108,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py	
108,00	111,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py	
111,00	114,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py	
114,00	117,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		cpy diseminada, en amígdalas y c.i de ep-calc
117,00	120,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±esp	
120,00	123,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep o calc
123,00	126,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep o calc
126,00	129,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep o calc
129,00	132,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep o calc. Roca fracturada y molida entre 132,55 y 133,70; 134,80 y 136,05; 136,85 y 137,15; 137,35 y 137,55 (RQD=0 en estos tramos)
132,00	135,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
135,00	138,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp	

138,00	141,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp±py±cpy	cpy y py diseminadas, en amígdalas, c.i y microvetillas de calc. Roca fracturada entre 145,90 y 146,10 (RQD=0 en este tramo)
141,00	144,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp±py±cpy	
144,00	147,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp±py±cpy	
147,00	150,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	cpy y py en amígdalas y c.i de calc
150,00	153,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy±py	
153,00	156,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy±py	
156,00	159,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
159,00	162,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
162,00	165,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
165,00	168,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy±py	cpy y py en vetillas, amígdalas y c.i de calc, ep o qz
168,00	171,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy±py	cpy y py en vetillas, amígdalas y c.i de calc, ep o qz. Roca fracturada entre 172,65 y 173,15 (RQD=0 en este tramo)
171,00	174,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy	
174,00	177,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy	cpy en vetillas, amígdalas y c.i de calc, ep o
177,00	180,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy	
180,00	183,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especcularita diseminada, en vetillas y microvetillas de ep, calc, qz
183,00	186,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
186,00	189,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
189,00	192,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
192,00	195,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
195,00	200,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Roca fracturada entre 193,30 y 193,70 (RQD=0 en este tramo)



*Figura 3.31. Epidotización selectiva de fenocristales de plagioclasa y venilla de calcita en andesita con textura porfírica seriada. El tramo de la figura se presenta entre los 6,00 y 6,25 metros de profundidad.*



*Figura 3.32. Mineralización de oxidados de cobre, pirita y calcopirita en vetas de cuarzo entre los 6,80 y 7,00 metros de profundidad. La presencia de zonas mixtas con sulfuros y óxidos, indica una lixiviación incompleta de los sulfuros hipógenos. En la figura también se observa la presencia de goethita, lepidocrocita y jarosita, subproductos de la descomposición de minerales sulfurados de cobre y/o hierro, principalmente pirita.*



Figura 3.33. Andesita porfírica de grano grueso entre los 15,40 y 15,70 metros de profundidad. El tamaño de los fenocristales varía entre 5 mm y 1,5 cms y éstos se encuentran parcial a totalmente albitizados o epidotizados e insertos en una matriz débilmente cloritizada.

### 3.2.3 Sondaje EN-395-16

El sondaje EN-395-16 se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 324.126E, 6.290.206N (Datum WGS 1984 Zona 19S), su longitud es de 340 m, azimut 55° e inclinación inicial -45°. A lo largo de todo el tramo descrito se hizo reconocimiento de sólo 1 litología: andesita porfírica de grano grueso. La asociación mineral de alteración hidrotermal predominante corresponde a clorita-epidota-carbonatos-albita±cuarzo±jaspe.

A continuación se detalla la nomenclatura usada para abreviar los minerales de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation*, usados en el mapeo de testigos de este sondaje descrito en la Tabla 3.6:



Tabla 3.5. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-395-16.

Ganga		Mena	
Abreviación	mineral	Abreviación	mineral
chl	clorita	cpy	calcopirita
ep	epidota	bn	bornita
carb	carbonatos	cc	calcosina
alb	albita	min. oxidados de Cu	minerales oxidados de cobre
plg	plagioclasa	<b>Otros</b>	
qz	cuarzo	Abreviación	Significado
jsp	jaspe	c.i	cavidades irregulares
esp	especularita	RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
jar	jarosita		
lep	lepidocrocita		
ht	hematita (hábito pulverulento)		
goeth	goethita		
pir	pirolusita		
arc. blancas	arcillas blancas		
py	pirita		

Tabla 3.6. Mapeo de testigos de sondaje EN-395-16.

MAPEO DE TESTIGOS DE SONDAJE EN-395-16							
Sondaje	Coord. Norte	Coord. Este	Inclinación	Azimuth	Sist. Coord.	Diámetro Instrumento	Total Perforado
EN-395-16	6290206	324126	(-) 45°	55°	WGS 1984 ZONA 19S	NQ	340 metros
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	MIN.ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	OBSERVACIONES		
0,00	3,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp	±esp	Plagioclasas argilizadas		
3,00	6,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp	±esp	Plagioclasas argilizadas		
6,00	9,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp		Plagioclasas argilizadas		
9,00	12,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp		Plagioclasas argilizadas		
12,00	15,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp		Plagioclasas argilizadas		
15,00	18,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jzp	±esp	Plagioclasas argilizadas		
18,00	21,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Especcularita diseminada y en c.i de qz		
21,00	24,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp			
24,00	27,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp			
27,00	30,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp			
30,00	33,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp			
33,00	36,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp			
36,00	39,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp				
39,00	42,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Roca fracturada entre 41,90 y 42,60 (RQD=0 en este tramo)		
42,00	45,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp				

45,00	48,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Especlarita diseminada en la matriz y en c.i de qz
48,00	51,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
51,00	54,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
54,00	57,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
57,00	60,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
60,00	63,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Roca fracturada entre 61,10 y 61,50; 62,45 y 62,80 (RQD=0 en estos tramos)
63,00	66,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
66,00	69,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
69,00	72,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±esp	cpy en c.i de calcita y en microvetillas de ep
72,00	75,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±esp	
75,00	78,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±bn±cpy±esp	cpy y bn en c.i y amígdalas de qz y en vetillas y microvetillas de ep o calc
78,00	81,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±bn±cpy±esp	
81,00	84,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	cpy±bn±esp	cpy y bn en c.i y amígdalas de qz y en vetillas y microvetillas de ep o calc
84,00	87,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	cpy±bn±esp	
87,00	90,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±esp	cpy en vetillas y microvetillas de ep o calc
90,00	93,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	bn±cpy±esp	cpy diseminada, y junto a bn en amígdalas de qz, vetillas y microvetillas de ep o calc
93,00	96,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	
96,00	99,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	
99,00	102,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	
102,00	105,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	
105,00	108,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	
108,00	111,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±bn±esp±ht	

111,00	114,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz o ep-calc
114,00	117,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
117,00	120,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
120,00	123,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
123,00	126,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
126,00	129,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
129,00	132,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de calc
132,00	135,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de calc
135,00	138,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de calc
138,00	141,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	cpy y py diseminadas, en vetillas, microvetillas, amígdalas y c.i de calc, y en vetillas de qz-jsp
141,00	144,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
144,00	147,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
147,00	150,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
150,00	153,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
153,00	156,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
156,00	159,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±cpy±py±esp	
159,00	162,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
162,00	165,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz o ep-calc
165,00	168,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
168,00	171,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
171,00	174,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
174,00	177,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	
177,00	180,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jzp	±esp	

180,00	183,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±bn±cpy±esp	cc, bn y cpy en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep o calc
183,00	186,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±cpy±esp	
186,00	189,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
189,00	192,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
192,00	195,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
195,00	198,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
198,00	201,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
201,00	204,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
204,00	207,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
207,00	210,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
210,00	213,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
213,00	216,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
216,00	219,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
219,00	222,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
222,00	225,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	cc-bn±esp	
225,00	228,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	cc y bn en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc. Roca fracturada entre 228,30 y 229,00 (RQD=0 en este tramo)
228,00	231,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
231,00	234,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
234,00	237,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
237,00	240,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cc±bn±esp	
240,00	243,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de calc, ep, calc-ep y en escasa ocurrencia acompañada por chl
243,00	246,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
246,00	249,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	

249,00	252,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	py diseminada, en vetillas y microvetillas de ep y qz-jsp. Roca fracturada entre 251,60 y 252,40 (RQD=0 en este tramo)
252,00	255,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
255,00	258,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
258,00	261,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
261,00	264,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Roca Fracturada entre 264,70 y 265,15 (RQD=0 en este tramo)
264,00	267,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
267,00	270,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	py en c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc. Roca fracturada entre 273,90 y 274,55; 275,30 y 275,75; 276,20 y 276,50 (RQD=0 en estos tramos)
270,00	273,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
273,00	276,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
276,00	279,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
279,00	282,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Roca fracturada entre 284,00 y 284,50 (RQD=0 en este tramo)
282,00	285,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
285,00	288,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
288,00	291,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
291,00	294,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±bn±cpy±esp	bn y cpy en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep. Roca fracturada entre 296,45 y 297,00 (RQD=0 en este tramo)
294,00	297,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±bn±cpy±esp	
297,00	300,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±bn±cpy±esp	
300,00	303,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
303,00	306,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
306,00	309,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		

309,00	312,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±bn±cpy±esp	bn y cpy en amigdalas, c.i, vetillas y microvetillas de calc, ep o ep-calc.
312,00	315,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±bn±cpy±esp	
315,00	318,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±bn±cpy±esp	
318,00	321,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±bn±cpy±esp	
321,00	324,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especlarita diseminada en la matriz y en c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz o ep-calc
324,00	327,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
327,00	330,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
330,00	333,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
333,00	336,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
336,00	340,00	ANDESITA PORFÍRICA DE GRANO GRUESO	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	

### 3.2.4 Sondaje EN-396-16

El sondaje EN-396-16 se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 323.959E, 6.290.255N (Datum WGS 1984 Zona 19S), su longitud es de 340 m, azimut 45° e inclinación inicial -70°. A lo largo de todo el tramo descrito se hizo reconocimiento de sólo 1 litología: andesita porfírica. La asociación mineral de alteración hidrotermal predominante corresponde a clorita-epidota-carbonatos-albita±cuarzo±jaspe.

A continuación se detalla la nomenclatura usada para abreviar los minerales de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation*, usados en el mapeo de testigos de este sondaje descrito en la tabla 3.8:

Tabla 3.7. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation* presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-396-16.

Ganga		Mena	
Abreviación	mineral	Abreviación	mineral
chl	clorita	cpy	calcopirita
ep	epidota	bn	bornita
carb	carbonatos	cc	calcosina
alb	albita	min. oxidados de Cu	minerales oxidados de cobre
plg	plagioclasa	<b>Otros</b>	
qz	cuarzo	Abreviación	Significado
jsp	jaspe	c.i	cavidades irregulares
esp	especularita	RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
jar	jarosita		
lep	lepidocrocita		
ht	hematita (hábito pulverulento)		
goeth	goethita		
pir	pirolusita		
arc. blancas	arcillas blancas		
py	pirita		



Tabla 3.8. Mapeo de testigos de sondaje EN-396-16.

MAPEO DE TESTIGOS DE SONDAJE EN-396-16							
Sondaje	Coord. Norte	Coord. Este	Inclinación	Azimuth	Sist. Coord.	Diámetro Instrumento	Total Perforado
EN-396-16	6290255	323959	(-) 70 grados	45°	WGS 1984 ZONA 19S	NQ	340 metros
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	MIN.ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	OBSERVACIONES		
0,00	3,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp	cpy y min. oxidados de Cu en vetillas y microvetillas de qz-jsp. Roca fracturada entre 2,20 y 2,75; 9,45 y 9,70; 10,40 y 10,80 (RQD=0 en este tramo)		
3,00	6,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp			
6,00	10,50	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp			
10,50	15,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jisp	±esp	Plagioclasas argilizadas		
15,00	18,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jisp	±esp	Roca fracturada entre 16,80 y 17,90 (RQD=0 en este tramo). Plagioclasas argilizadas		
18,00	21,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir-arc. blancas±qz±jisp	±esp			
21,00	24,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-pir±qz±jisp	±esp	Especlarita diseminada en la matriz		
24,00	27,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
27,00	30,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
30,00	33,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
33,00	36,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
36,00	39,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	ht±esp			
39,00	42,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht±esp	Especlarita diseminada en la matriz y hematita pulverulenta relleno de cavidades irregulares de menos de 1 mm de ancho		
42,00	45,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht±esp			
45,00	48,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especlarita diseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc con chl subordinada		
48,00	51,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
51,00	54,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
54,00	57,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
57,00	60,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
60,00	63,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
63,00	66,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
66,00	69,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
69,00	72,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
72,00	75,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			

75,00	78,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
78,00	81,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
81,00	84,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especcularita disseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc con chl subordinada
84,00	87,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
87,00	90,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
90,00	93,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
93,00	96,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
96,00	99,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
99,00	102,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
102,00	105,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht±esp	
105,00	108,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especcularita disseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc. La hematita de hábito pulverulento se presenta en vetillas y microvetillas de calcita
108,00	111,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
111,00	114,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp	
114,00	117,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±ht±esp	
117,00	120,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp		
120,00	123,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especcularita disseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
123,00	126,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
126,00	129,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
129,00	132,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
132,00	135,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
135,00	138,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
138,00	141,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
141,00	144,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
144,00	147,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en c.i, vetillas y microvetillas de calc, qz o calc-qz
147,00	150,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
150,00	153,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
153,00	156,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	esp±cpy±py	
156,00	159,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
159,00	162,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en c.i, vetillas y microvetillas de calc, qz o calc-qz. Roca fracturada entre 164,70 y 165,30 (RQD=0 en este tramo)
162,00	165,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	

165,00	168,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en c.i, vetillas y microvetillas de calc, qz o calc-qz
168,00	171,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
171,00	174,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
174,00	177,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
177,00	180,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	py en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
180,00	183,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	
183,00	186,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	
186,00	189,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	
189,00	192,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±esp	cpy en c.i, vetas, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz o ep-qz
192,00	195,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±esp	
195,00	198,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±esp	
198,00	201,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±esp	
201,00	204,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	cpy y py en c.i, vetas, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz, ep-calc o ep-qz. Entre 235,30 y 235,80 se observa posible intercepto entre el sondaje y la Veta Interior la cual muestra características similares a las observadas al interior del socavón (abundante cpy en vetas de qz con alto contenido de ht)
204,00	207,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
207,00	210,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
210,00	213,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
213,00	216,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
216,00	219,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
219,00	222,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
222,00	225,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	cpy-py-esp	
225,00	228,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
228,00	231,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp-py±cpy	
231,00	234,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	esp-py±cpy	
234,00	237,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	ht-cpy±py	
237,00	240,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±cpy±py±esp	
240,00	243,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	
243,00	246,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	py diseminada, en c.i, vetas, vetillas y microvetillas de ep, calc, qz, ep-calc o ep-qz. en. Roca fracturada entre 242,85 y 243,20; 243,30 y 243,70 (RQD=0 en estos tramos)
246,00	249,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	
249,00	252,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±py±esp	

252,00	255,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
255,00	258,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
258,00	261,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
261,00	264,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
264,00	267,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
267,00	270,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
270,00	273,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
273,00	276,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
276,00	279,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
279,00	282,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
282,00	285,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
285,00	288,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
288,00	291,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
291,00	294,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
294,00	297,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
297,00	300,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
300,00	303,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
303,00	306,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
306,00	309,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
309,00	312,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
312,00	315,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Roca fracturada entre 314,60 y 315,10 (RQD=0 en este tramo)
315,00	318,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
318,00	321,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de ep
321,00	324,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp		
324,00	327,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
327,00	330,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
330,00	333,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
333,00	336,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
336,00	339,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	
339,00	340,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jssp	±esp	



Figura 3.34. Tramo de posible intercepto de sondaje EN-396-16 con Veta Interior entre los 235,70 y 234,05 metros de profundidad. La veta de cuarzo presenta abundante hematita, calcopirita y pirita. En esta estructura, la hematita pulverulenta llega a contenidos de 60 % en volumen de roca, mientras que la calcopirita y pirita presentan contenidos de 15 % y 10 % respectivamente.

### 3.2.5 Sondaje EN-420-16

El sondaje EN-420-16 se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 324.259E, 6.290.400N (Datum WGS 1984 Zona 19S), su longitud es de 134 m e inclinación inicial  $-90^\circ$ . Se reconoció 1 litología característica: andesita porfírica. La alteración hidrotermal predominante está caracterizada por la asociación clorita-epidota-carbonatos-albita $\pm$ cuarzo $\pm$ jaspe.

A continuación se detalla la nomenclatura usada para abreviar los minerales de mena y ganga, cavidades irregulares y *Rock Quality Designation*, usados en el mapeo de testigos de este sondaje descrito en la tabla 3.10:

Tabla 3.9. Nomenclatura de mineralogía de mena y ganga, cavidades irregulares y Rock Quality Designation presentes en el mapeo de testigos del sondaje EN-420-16.

Ganga		Mena	
Abreviación	mineral	Abreviación	mineral
chl	clorita	cpy	calcopirita
ep	epidota	bn	bornita
carb	carbonatos	cc	calcosina
alb	albita	min. oxidados de Cu	minerales oxidados de cobre
plg	plagioclasa	<b>Otros</b>	
qz	cuarzo	Abreviación	Significado
jsp	jaspe	c.i	cavidades irregulares
esp	especularita	RQD	<i>Rock Quality Designation</i>
jar	jarosita		
lep	lepidocrocita		
ht	hematita (hábito pulverulento)		
goeth	goethita		
pir	pirolusita		
arc. blancas	arcillas blancas		
py	pirita		

Tabla 3.10. Mapeo de testigos de sondaje EN-420-16.

<b>MAPEO DE TESTIGOS DE SONDAJE EN-420-16</b>							
Sondaje	Coord. Norte	Coord. Este	Inclinación	Azimuth	Sist. Coord.	Diámetro Instrumento	Total Perforado
EN-420-16	6290400	324259	(-) 90 grados	-	WGS 1984 ZONA 19S	NQ	134 metros
DESDE	HASTA	LITOLOGÍA	MIN.ALTERACIÓN	MINERALIZACIÓN	OBSERVACIONES		
0,00	3,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp	cpy y min. oxidados de Cu en vetillas y microvetillas de qz-jsp. Plagioclasas argilizadas.		
3,00	6,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp			
6,00	9,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp	±esp			
9,00	12,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp	±cpy±min. oxidados de Cu±esp	cpy y min. oxidados de Cu en veta de 20 cms de qz-ep. Roca fracturada entre 12,10 y 13,00; 14,40 y 15,20 (RQD=0 en estos tramos)		
12,00	15,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp				
15,00	18,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp		Roca fracturada entre 20,00 y 20,40 (RQD=0 en este tramo)		
18,00	21,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp				
21,00	24,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb-jar-lep-ht-goeth-pir±qz±jisp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en vetillas y microvetillas de calc		
24,00	27,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
27,00	30,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	cpy en microvetillas de calc		
30,00	33,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy			
33,00	36,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	cpy en microvetillas de calc. Especcularita diseminada en la matriz y en c.i de calcita		
36,00	39,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp±cpy			
39,00	42,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especcularita diseminada en la matriz y en vetillas de qz-jsp		
42,00	45,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
45,00	48,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
48,00	51,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp			
51,00	54,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	py en vetillas y microvetillas de qz-jsp		
54,00	57,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp			
57,00	60,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py diseminadas y en vetillas de ep, calc o qz		
60,00	63,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp			
63,00	66,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	cpy-py-esp			
66,00	69,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	py±cpy±esp			

69,00	72,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o qz-jsp. Roca fracturada entre 74,20 y 74,60 (RQD=0 en este tramo)
72,00	75,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±py±esp	
75,00	78,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
78,00	81,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especlarita en vetillas y microvetillas de calc
81,00	84,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
84,00	87,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±esp	cpy en microvetillas de ep
87,00	90,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±bn±cpy±esp	bn y cpy en vetillas de ep, calc o ep-calc
90,00	93,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas de ep, calc o ep-calc
93,00	96,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±esp	cpy en vetillas de calc
96,00	99,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	Especlarita en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
99,00	102,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
102,00	105,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
105,00	108,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
108,00	111,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	cpy en vetillas y microvetillas de calc. Especlarita diseminada y en vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
111,00	114,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
114,00	117,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±esp	
117,00	120,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	cpy y py en amígdalas, c.i, vetillas y microvetillas de ep, calc o ep-calc
120,00	123,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
123,00	126,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
126,00	129,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	
129,00	134,00	ANDESITA PORFÍRICA	chl-ep-alb-carb±qz±jisp	±cpy±py±esp	



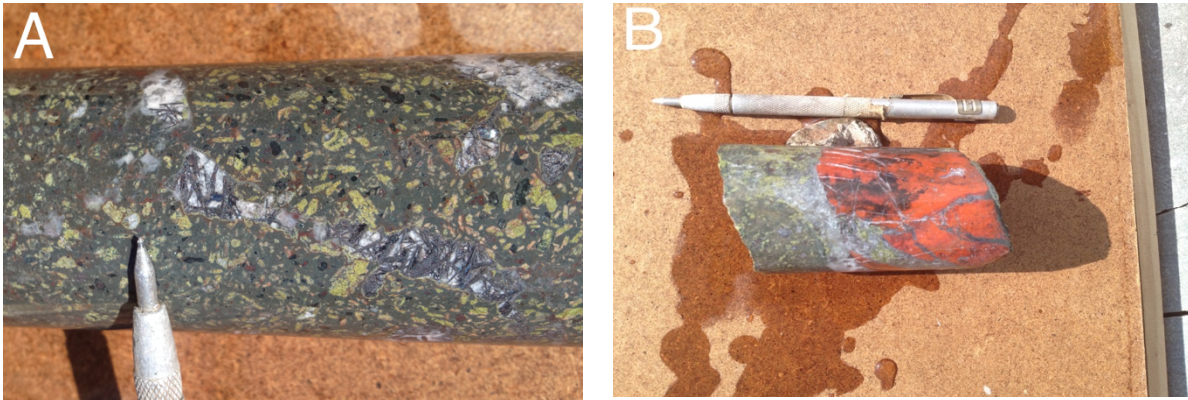


Figura 3.35. Sondaje EN-420-16. A) Epidotización parcial a total de fenocristales de plagioclasa insertos en matriz cloritizada entre los 10,80 y 10,95 metros de profundidad. Además, se observan vetillas de calcita-hematita especular junto con amígdalas y cavidades irregulares de clorita en la matriz. B) Veta de cuarzo-jaspe entre los 41,70 y 41,85 metros de profundidad.

### 3.3 Geoquímica

Con el objetivo de reconocer la distribución de los elementos de interés en la zona de estudio, se procedió a realizar dos campañas diferentes de muestreos y análisis químicos de rocas. La primera, corresponde a una campaña geoquímica con muestreo de esquirlas de roca (*chip sampling*) en superficie (Luca, 2015), y la segunda, una campaña de exploración realizada por DV Drilling donde se realizaron los sondajes diamantinos EN-393-16, EN-394-16, EN-395-16, EN-396-16 y EN-420-16.

#### 3.3.1 Campaña geoquímica de superficie en La Virtud – El Límite

Durante la visita a terreno del 29 de diciembre de 2014 realizada por GeoAV S.A., se tomaron 20 muestras, catalogadas como LV-XX, donde XX corresponde al número de la muestra, cuyo valor va entre 01 y 20. En la tabla 3.14 se detalla la ubicación de las muestras, junto con la zona de mineralización correspondiente.

##### 3.3.1.1 Metodología de muestreo de esquirlas de rocas para análisis químicos

La metodología de muestreo usada fue de esquirlas de roca (*chip sampling*) siguiendo los siguientes pasos:

1.- Se determinaron las principales zonas de mineralización en las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite.

2.- Para la determinación de las muestras, se tomaron aquellas de la zona mineralizada y de la roca caja.

3.- El área considerada para la obtención de cada muestra es de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> y de 1 cm de profundidad, con la excepción de la muestra LV-20 donde solamente se muestreó una veta al interior de un pique.

4.- Luego de limpiar el área de muestreo se tomaron en forma aleatoria esquirlas de roca (*chip sampling*) utilizando un martillo geológico hasta completar 2 kilogramos de material. Estas esquirlas deben presentar tamaños menores o iguales a 5 centímetros en cada una de sus 3 dimensiones (largo, alto y ancho).

Este muestreo de esquirlas de roca sólo constituye una primera aproximación de exploración para próximas campañas de terreno.

### 3.3.1.2 Metodologías analíticas

Los elementos de interés analizados, a cargo del laboratorio Andes Analytical Assay Ltda., fueron Au, Ag, Cu total, Cu soluble, Fe y Mo, los cuales fueron obtenidos mediante 3 metodologías diferentes:

- El elemento Au fue analizado mediante ensaye a fuego sobre 30 g de muestra.
- Los elementos Ag, Cu total, Fe y Mo fueron analizados mediante ICP óptico, posterior al ataque multi-ácido (digestión total).
- En el caso de que el contenido de Cu supere el límite de detección superior de un 1% en algunas de las muestras, esta será re-analizada mediante la metodología de absorción atómica.
- Cu soluble y lectura mediante absorción atómica.

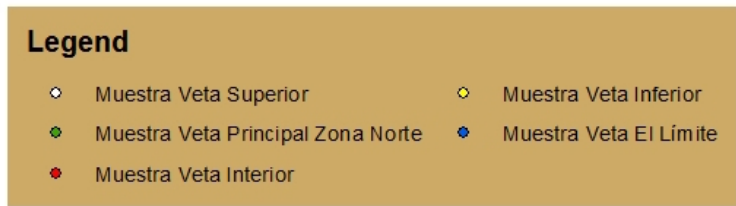
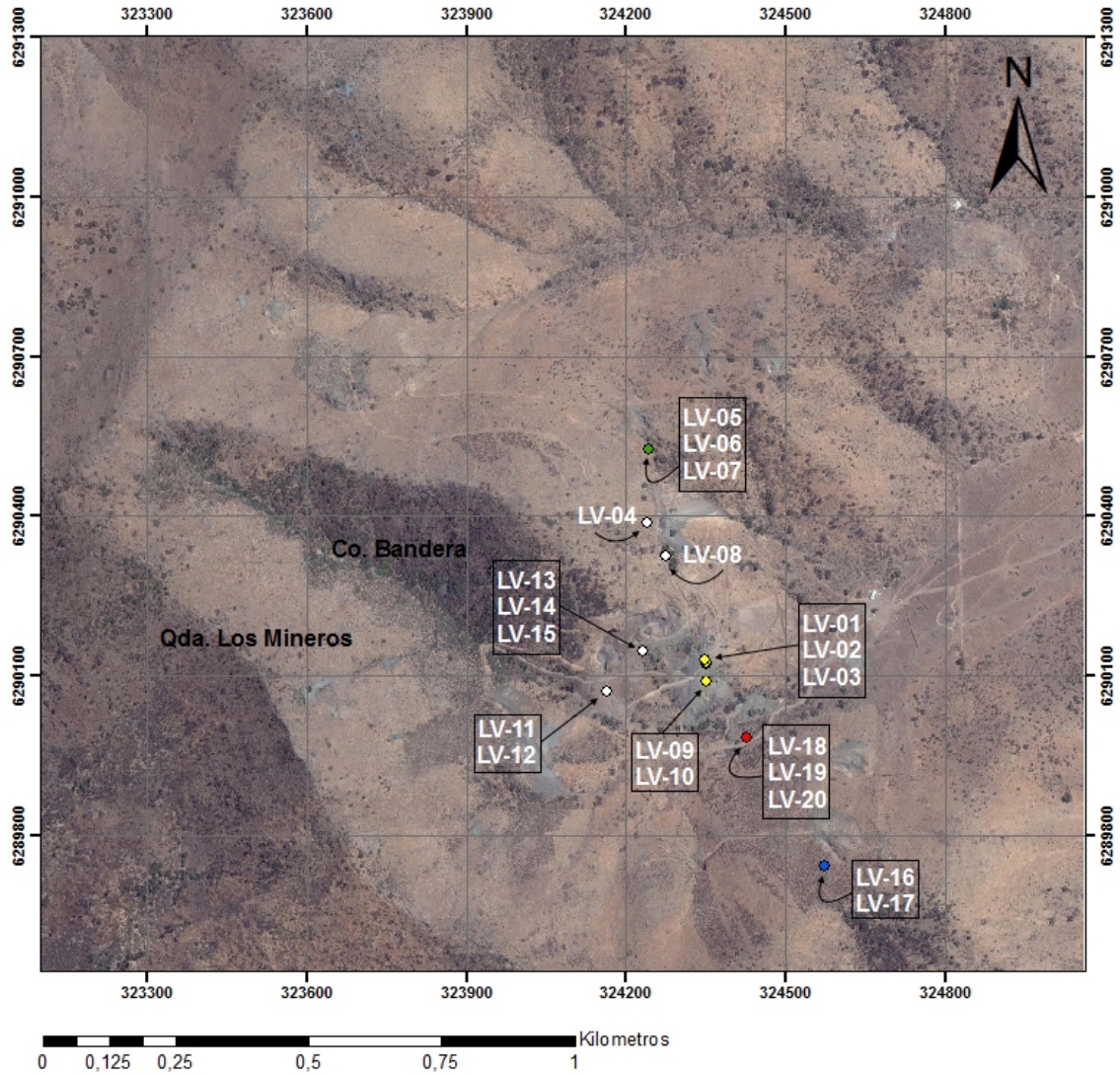


Figura 3.36. Ubicación de los puntos de muestreo para análisis químico de las muestras tomadas en las concesiones mineras La Virtud y El Límite durante la campaña de terreno del 29 de diciembre de 2014. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

El protocolo de preparación de las muestras es la misma para todos los análisis mencionados anteriormente y consiste en:

- 1.- Pesar las muestras.

2.- Chancar las muestras en el chancador primario hasta alcanzar un mínimo de 90% a -1/4# Ty (6350  $\mu\text{m}$ ).

3.- Chancar toda la muestra en chancador secundario hasta cumplir el mínimo de 80% a -10# Ty (1700  $\mu\text{m}$ ).

4.- Homogeneizar y cuartear.

5.- Pulverizar un mínimo de 400 a 500 g de material a una granulometría nominal de 95% a -150# Ty (106  $\mu\text{m}$ ).

6.- Generar las pulpas para análisis.

Para el análisis de oro, se pesan 30 g de muestra en una balanza analítica, se funde con Litargirio (PbO), copelar y disolver botón dore (masa que consiste en una aleación de Au y Ag que se produce durante la copelación), aforar 10 ml y medir por absorción atómica.

Para el análisis de Ag, Cu total, Fe y Mo se tomó 0,5 g de muestra y se le agregaron 3 ml de ácido fluorhídrico, 15 ml de ácido nítrico y 1 ml de ácido perclórico. Se agita y deja 30 minutos en frío. Luego se agregan 15 ml de ácido clorhídrico y se coloca sobre placas a 150° C por 1 hora. Luego se sube la temperatura de las placas a 300° C por 3 horas. Posteriormente se agregan 10 ml de ácido clorhídrico y se mantienen en placas por 1 hora a 300° C. Finalmente, se afora a 100 ml con agua destilada. La matriz final para lectura por ICP-OES se realiza al 25% en agua regia destilada apagada. Las muestras que poseen más de 10.000 ppm de Cu fueron re-analizadas mediante absorción atómica.

Para el análisis de Cu total en absorción atómica, se tomó 1 g de muestra y se le agregaron 3 ml de ácido fluorhídrico, 15 ml de ácido nítrico y 1 ml de ácido perclórico, dejando 30 minutos en frío. Luego se agregó 15 ml de ácido clorhídrico y se subió placas a 150° C por 1 hora. Nuevamente se suben las placas a 300° C por 3 horas. Se agregaron 10 ml de ácido clorhídrico y se dejó en placas a 300° C por 1 hora. Finalmente se lixivió con 25 ml de agua regia y se trasvasó a matraz de 100 ml con 25 ml de agua regia. Se aforó a 100 ml y se midió mediante absorción atómica.

Para el análisis por cobre soluble se realiza pesando 1 g de la muestra en balanza analítica. Se le agrega 50 ml de solución de ácido sulfúrico a 5% v/v, se lixivia a  $25 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 1 hora a 150 rpm. Se afora a 100 ml. Luego se mide mediante absorción atómica.

### 3.3.1.3 Control de Calidad

Para el resultado de laboratorio, y como medio de autofiscalización, Andes Analytical Assay Ltda realizó el siguiente detalle de análisis:

Para el cobre total y plata, se realizaron 2 muestras duplicadas, 1 muestra standard y 1 muestra en blanco.

Para el cobre soluble y el oro, se realizaron 2 muestras duplicadas, 2 muestras standard y 1 muestra en blanco.

Para los duplicados: se realizaron duplicados de las muestras LV-09 y LV-18 para el cobre total, LV-05 y LV-13 para la plata, y LV-03 y LV-05 para el oro y cobre soluble. A las muestras LV-03 y LV-05 se les realizó duplicados mediante Ensayo a Fuego FA-AAS y Extracción de cobre soluble mediante ácido sulfúrico diluido y análisis por AAS, y a las muestras LV-05, LV09 y L13 y LV-18 se les realizaron duplicados mediante Digestión Cuatro Ácidos AAS. Las diferencias entre los resultados entregados por el laboratorio para la muestra original y el duplicado fueron desde un mínimo de 0% para el Au y Ag, hasta un máximo de 50% para la Ag en la muestra LV-05, donde en éste último caso el orden de magnitud es de 0,01 ppm. Estos datos son muy buenos, haciendo confiable los resultados entregados por el laboratorio para los análisis mediante Digestión Cuatro Ácidos AAS, Extracción de cobre soluble mediante ácido sulfúrico diluido y análisis por AAS y Ensayo a Fuego AAS. Los resultados se pueden observar en la Tabla 3.11:

*Tabla 3.11. Valores de muestras originales y duplicados correspondientes para análisis geoquímico de campaña en superficie en la Propiedad Minera La Virtud.*

Muestra	%CuT (original)	%CuT (duplicado)	ppm Ag (original)	ppm Ag (duplicado)	ppm Au (original)	ppm Au (duplicado)	%CuS (original)	%CuS (duplicado)
LV-03					0,04	0,04	0,031	0,030
LV-05			<1	<1	0,02	0,01	0,143	0,142
LV-09	4,361	4,325						
LV-13			15	14				
LV-18	2,757	2,624						

Para los análisis de las muestras Standard: se realizaron 2 análisis mediante Ensayo a Fuego AAS para el Au, 1 análisis para el CuT y Ag mediante Digestión Cuatro Ácidos AAS y 1 análisis para el CuS mediante extracción con ácido sulfúrico y análisis por AAS. Los análisis para el Au, si es que presentan diferencias, serían menores a 0,01 ppm, mientras que la Ag presenta diferencias del orden de 0,1 ppm, equivalente a un 0,05%. El cobre total arrojó diferencias ínfimas de 0,001% entre el dato medido y certificado, mientras que el cobre soluble no presentó diferencias. Esto indica que los resultados son prácticamente iguales indicando una precisión de análisis bastante buena. No fue posible obtener la información los tipos de standard usados por el laboratorio para el análisis de las muestras.

Tabla 3.12. Control de calidad para muestras standard de la campaña en superficie del año 2014.

Elemento	Au	Ag	CuT	CuS
Método Analítico	FA-AAS	4ACID-AAS	4ACID-AAS	LIX-AAS
Unidades	ppm	ppm	%	%
Límite de detección	0,01	0,1	0,001	0,001
STD43 meas	<0,01			
STD43 cert	<0,01			
STD60 meas		13,6		
STD60 cert		13		
STD60 meas			1,084	
STD60 cert			1,080	
STD60 meas				0,335
STD60 cert				0,329

Para las muestras en blanco: los resultados arrojaron valores todos bajo el límite de detección, lo que muestra la nula presencia de contaminación en los procedimientos analíticos.

Tabla 3.13. Control de calidad geoquímico para las muestras en blanco de la campaña en superficie del año 2014.

Elemento	Au	Ag	CuT	CuS
Método Analítico	FA-AAS	4ACID-AAS	4ACID-AAS	LIX-AAS
Unidades	ppm	ppm	%	%
Límite de detección	0,01	0,1	0,001	0,001
bk	<0,01			<0,001
bk		<0,1		
bk			<0,1	

### 3.3.1.4 Resultados geoquímicos

Los resultados geoquímicos recibidos del laboratorio se resumen en la Tabla 3.14:

Tabla 3.14. Valores de Au, Ag, Cu, Cu soluble, razón de solubilidad, Fe y Mo en las muestras de las concesiones mineras La Virtud y El Limite.

Muestra	Norte	Este	Lugar	Au (ppm)	Ag (ppm)	CuT (%)	CuS (%)	CuS/CuT	Fe (%)	Mo (ppm)
LV-01	6290121	324349	Veta Inferior	0,09	5	0,7725	0,688	0,8906	9,65	3
LV-02	6290125	324349	Veta Inferior	0,37	13	1,893	1,611	0,8510	3,81	5
LV-03	6290130	324347	Roca Caja Veta Inferior	0,04	1	0,0905	0,031	0,3425	8,47	<2
LV-04	6290388	324239	Veta Superior	0,30	11	1,45	0,404	0,2786	6,23	<2
LV-05	6290525	324243	Veta Principal Zona Norte	0,02	0,5	0,1967	0,143	0,7270	5,10	<2
LV-06	6290525	324243	Veta Principal Zona Norte	0,09	5	0,5473	0,521	0,9519	4,96	<2
LV-07	6290525	324243	Veta Principal Zona Norte	0,03	0,5	0,2462	0,189	0,7677	7,13	<2
LV-08	6290326	324274	Veta Superior	0,30	6	0,7858	0,538	0,6847	8,55	3
LV-09	6290089	324350	Veta Superior	1,17	24	4,361	2,646	0,6067	4,96	6
LV-10	6290089	324350	Veta Superior	0,47	11	1,893	1,669	0,8817	6,35	6
LV-11	6290071	324163	Veta Superior	0,03	7	2,477	2,56	0,1033	11,010	<2
LV-12	6290071	324163	Veta Superior	0,02	15	3,291	3,388	0,1029	10,510	<2
LV-13	6290146	324232	Veta Superior	0,01	15	2,825	2,057	0,7281	8,65	<2
LV-14	6290146	324232	Veta Superior	2,03	7	1,46	0,766	0,5247	8,29	4
LV-15	6290146	324232	Veta Superior	0,02	7	2,242	2,268	0,10116	9,11	<2
LV-16	6289741	324572	Veta El Limite	0,27	5	3,16	2,638	0,8348	8,10	24
LV-17	6289741	324572	Veta El Limite	0,02	23	0,605	0,547	0,9041	9,58	4
LV-18	6289984	324426	Roca caja Veta Interior	0,32	2	2,757	0,355	0,1288	12,130	32
LV-19	6289984	324426	Roca caja Veta Interior	0,04	1	2,387	0,124	0,519	10,330	4
LV-20	6289984	324426	Veta Interior	0,09	41	27,97	0,533	0,191	>15,00	19

### 3.3.1.4.1 Cobre total y Cobre soluble

Los estudios geometalúrgicos favorecen la optimización de los procesos metalúrgicos, pudiendo llegar a ser un factor importante a considerar en la evaluación de yacimientos mineros. Un factor que puede incidir en cálculos de recuperaciones metalúrgicas de menas de cobre consiste en la utilización de resultados de análisis químicos, sin llevar controles mineralógicos paralelos.

Los análisis químicos de menas de cobre determinan el porcentaje de cobre total y el porcentaje de cobre soluble, obteniéndose el cobre insoluble por diferencia entre ambos. Hay dos limitantes principales a estas determinaciones: una química y otra mineralógica. En el primer caso, la solubilidad de una especie mineral puede depender del tipo de análisis efectuado, como por ejemplo, el uso de ácido cítrico o de ácido sulfúrico, cuyas capacidades lixiviantes son diferentes, resultando en diferentes porcentajes de cobre soluble para un mismo mineral. Para el caso de la limitante mineralógica, se considera el cobre total como el cobre contenido en las especies minerales solubles e insoluble, donde el cobre soluble corresponde al cobre contenido en especies oxidadas y el cobre insoluble, al de especies sulfuradas. Estas correlaciones pueden resultar erradas, ya que algunas especies sulfuradas, como el caso de la calcosina, pueden ser en parte solubilizadas al igual que los minerales oxidados de cobre, sobre todo si se usa un ácido fuerte como el ácido sulfúrico.

Considerando los datos de la tabla 3.14 se observa que el rango de valores entre los que fluctúan el cobre y el cobre soluble son 0,0905 – 27,97% y 0,031 – 3,388% respectivamente. El dato 27,97% para el cobre total de la muestra LV-20

se considera un *outlier* al no ser representativo para la distribución de los datos. Este dato es coherente con el lugar donde se recolectó esta muestra, que corresponde a una veta de sulfuros (Veta Interior), principalmente de calcopirita con bornita subordinada. El cobre soluble no presenta *outliers*.

Si se considera el promedio de las muestras analizadas de cobre total y cobre soluble para cada veta dentro del prospecto La Virtud – El Límite, y además se considera para cada muestra analizada un volumen que comprende un área de 1 mt<sup>2</sup> por 1 cm de profundidad, se tiene lo siguiente:

- 7 muestras de la Veta Superior con un promedio de 2,08% de cobre total y 1,71% de cobre soluble.
- 5 muestras de la Veta Inferior con un promedio de 2,23% de cobre total y 1,65% de cobre soluble.
- 3 muestras de la Veta Principal Zona Norte en la concesión minera La Virtud, con 0,33% de cobre total y 0,28% de cobre soluble.
- 3 muestras de la Veta Interior, una de ellas presentando un valor *outlier* de 27,97% de cobre total y 0,533 de cobre soluble. Las otras 2 muestras entregan un promedio de 2,57% de cobre total y 0,24% de cobre soluble.
- 2 muestras correspondientes a la veta observada en la concesión minera El Límite, con un valor promedio de 1,88% de cobre total y 1,59% de cobre soluble.

El valor de la razón CuS/CuT permite identificar el porcentaje de cobre que está presente en fases lixiviables en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tales como minerales oxidados de cobre, calcosina, bornita o de fases más resistentes y de lixiviabilidad excesivamente lenta, como calcopirita y covelina. Las diferencias notorias entre los valores de la razón CuS/CuT para las distintas vetas en las concesiones mineras La Virtud y El Límite es clara, mostrando valores altos para la Veta Superior e Inferior, las que presentan contenidos de minerales oxidados de cobre, calcosina y bornita, y valores bajos para las muestras tomadas a la Veta Interior, las cuales contienen altos contenidos de calcopirita.

#### 3.3.1.4.2 Plata

Este elemento varía desde concentraciones bajo 1 ppm hasta 41 ppm, considerándose este último valor un *outlier* y corresponde a la muestra LV-20 que presenta una ley total de cobre de 27,97% de Cu, tomada al interior del socavón minero en la Veta Interior.

Al tomar un volumen que comprende un área de 1 mt<sup>2</sup> y 1 cm de profundidad para cada muestra analizada, y sin considerar el valor *outlier* de 41 ppm, el



promedio aritmético de las muestras alcanza el valor de 8,37 ppm. Sin embargo, las vetas muestreadas en superficie sin considerar la Veta Principal Zona Norte, esto es, Veta Superior, Veta Inferior y Veta El Límite, presentan mayores valores de plata que las vetas en profundidad (Veta Interior). Estos valores, sin considerar el *outlier* de 41 ppm, presentan un rango entre 0,5 y 23 ppm, siendo un elemento importante a considerar como subproducto de interés.

#### 3.3.1.4.3 Oro

Este elemento presenta concentraciones desde 0,01 ppm hasta 2,03 ppm, asignando los valores 1,17 y 2,03 ppm como *outliers* al considerar la distribución de los 20 datos obtenidos.

Al tomar un volumen que comprende un panel de área de 1 m<sup>2</sup> y 1 cm de profundidad para cada muestra analizada, y sin considerar los valores *outliers* de 1,17 y 2,03 ppm, el promedio de las muestras corresponde a 0,14 ppm. Este promedio al considerar los *outliers* llega a 0,39 ppm. Las concentraciones promedio (aritmético) en la Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior, Veta El Límite y Veta Principal Zona Norte corresponden a 0,39; 0,52; 0,15; 0,15 y 0,05 ppm respectivamente. Estos valores se consideran bajos para algún tipo de explotación económica rentable a futuro, sin embargo, si el oro se presenta asociado a sulfuros recuperables mediante flotación, como el caso de la calcopirita, también junto con la plata podría ser considerado a futuro como un subproducto de la explotación del cobre en este depósito.

La información para los elementos restantes no es de interés económico.

Esta información para el cobre, plata y oro permite concluir que los mayores contenidos de Cu ocurren en la Veta Superior, Veta Inferior, Veta interior y Veta El Límite. En estas mismas zonas, es donde se presentan las mayores concentraciones de oro y plata. Los datos de cobre soluble son consistentes con las muestras tomadas en terreno, donde las razones más altas de CuS/CuT se obtuvieron en la Veta Superior, Veta Inferior y Veta El Límite, las cuales presentaban en su mayoría minerales oxidados de cobre junto con bornita y calcosina. Por otro lado, razones bajas de CuS/CuT fueron arrojadas en los resultados de las muestras de la Veta Interior, lo que se condice con el alto contenido de calcopirita en esta estructura, la cual posee un lixivialidad excesivamente lenta.

### 3.3.2 Campaña de sondajes realizada por DV Drilling

Durante el año 2016, la empresa DV Drilling, subcontratada por ENAMI, realizó una campaña de exploración en el sector de la concesión minera La Virtud, la que contempló la realización 1.278 metros de sondajes repartidos en cinco sondajes diamantinos (ver Figura 3.37): EN-393-16 (264 metros), EN-394-16 (200

metros), EN-395-15 (340 metros), EN-396-16 (340 metros) y EN-420-16 (134 metros).

Los resultados de esta campaña fueron entregados de manera parcial, de manera que sólo se cuenta con la información del sondaje EN-393-16, entregado por el laboratorio Activations Labs.

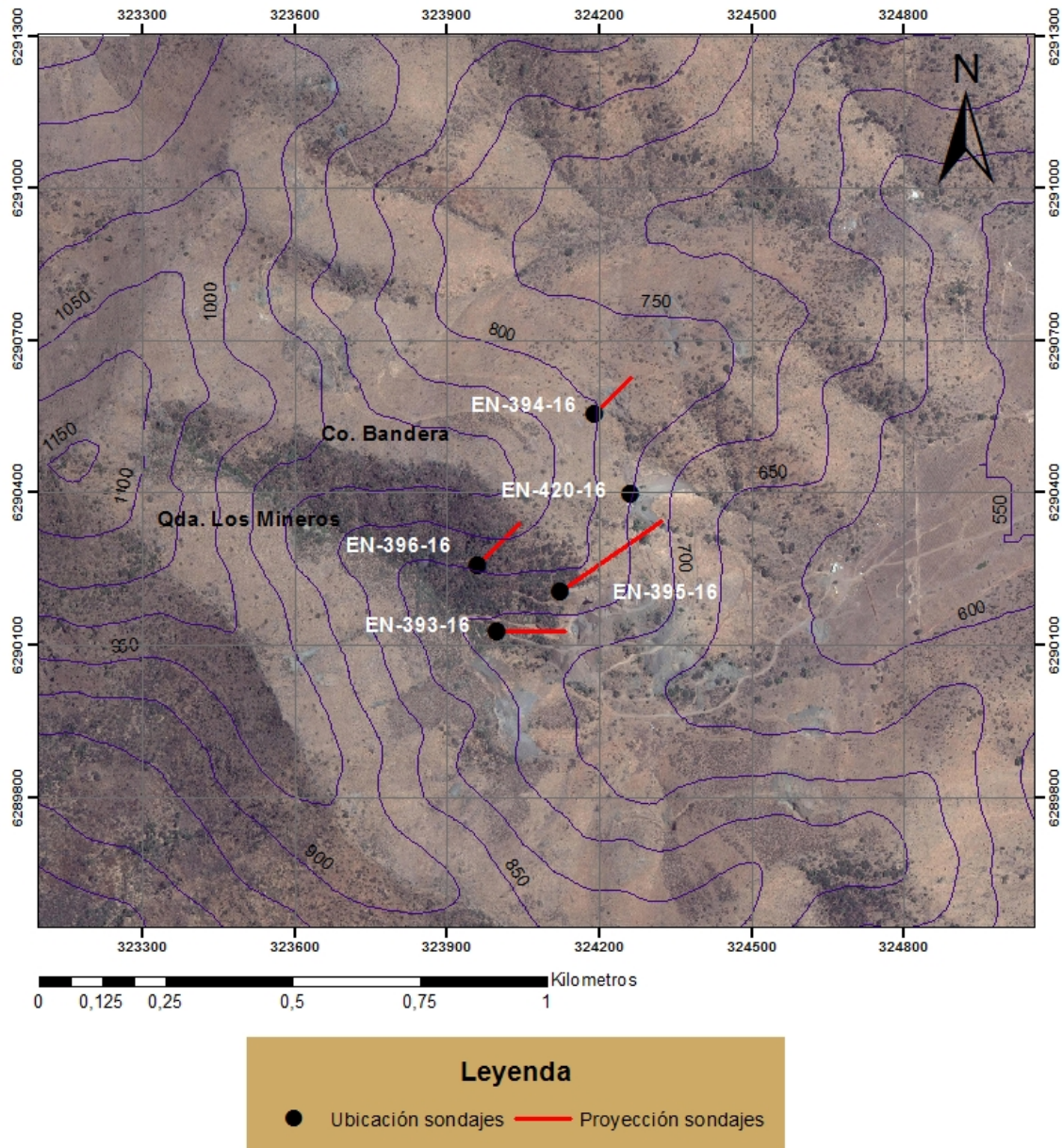


Figura 3.37. Distribución de los sondajes realizados por la empresa DV Drilling durante la campaña de exploración del año 2016. Coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

La primera etapa del protocolo consiste en el corte con sierra del testigo diámetro NQ de manera longitudinal para obtener dos secciones, una de ellas

queda como respaldo en la testigoteca y la otra se utiliza para las pruebas geoquímicas. Una vez separadas las secciones, que pueden ser de un metro de largo o menos, se procede a la trituración y molienda hasta que un 70% de la muestra posea una granulometría menor a 2 mm. Luego de 8 horas de secado, como mínimo, se separan entre 0,25 y 1 kilo de muestra, la cual es finalmente pulverizada hasta que el 85% del material sea menor o igual a 75 micrones. El polvo de roca resultante de este proceso es el que se utiliza para el análisis químico.

Respecto a los ensayos geoquímicos, se realizaron dos técnicas: Ensaye a fuego y absorción atómica (FA-AAS; Fire Assay – Atomic Absorption Spectrometry) para el oro y Digestión con Agua Regia AAS para el análisis de cobre total y plata. Los resultados se encuentran disponibles en el ANEXO A.

### 3.3.2.1 Control de Calidad

Para el resultado del laboratorio, y como medio de autofiscalización, Activation Labs realizó 16 muestras duplicadas, 7 muestras standard y 7 muestras en blanco. Los datos sirvieron para obtener los siguientes resultados:

Para los duplicados: se realizaron duplicados para las muestras 10658, 10667, 10673, 10688, 10694, 10717, 10723, 10736, 10756, 10758 y 10761 (ver ANEXO A) mediante Digestión por Agua Regia AAS, mientras que a las muestras 10688, 10699, 10723, 10750 y 10758 se les realizó duplicados mediante Ensaye a Fuego FA-AAS. Las diferencias entre los resultados entregados por el laboratorio para la muestra original y el duplicado fueron desde un mínimo de 0% para CuT y Ag hasta un máximo de 25% para la Ag en las muestras 10673 y 10756, donde los órdenes de magnitud corresponden a 0,1 y 0,001 ppm respectivamente. Estos datos son bastante buenos, lo que hace confiables los resultados entregados por el laboratorio para el análisis por Digestión por Agua Regia AAS. Las diferencias entre el resultado original y el duplicado para las muestras mediante Ensaye a Fuego fueron de 0%, por lo que la precisión sería muy buena para el Au en este tipo de análisis. Los resultados se pueden ver en la Tabla 3.15 y en la Figura 3.38.

Tabla 3.15. Valores de muestras originales y duplicados correspondientes para análisis geoquímico de sondaje EN-393-16.

Muestra	% CuT (original)	% CuT (duplicado)	ppm Ag (original)	ppm Ag (duplicado)	ppm Au (original)	ppm Au (duplicado)
10658	0,024	0,025	0,5	0,6		
10667	0,01	0,01				
10673	0,15	0,15	0,4	0,5		
10688	0,14	0,15	0,1	0,1	<0,01	<0,01
10694	0,111	0,112	0,5	0,6		
10699					<0,01	<0,01
10717	0,18	0,177	0,6	0,7		
10723	0,003	0,003	0,1	0,1	<0,01	<0,01
10736	0,024	0,022	0,5	0,5		
10750					<0,01	<0,01
10756	0,004	0,003	0,1	0,1		
10758	0,015	0,015	0,1	0,1	<0,01	<0,01
10761	0,013	0,013	0,1	0,1		

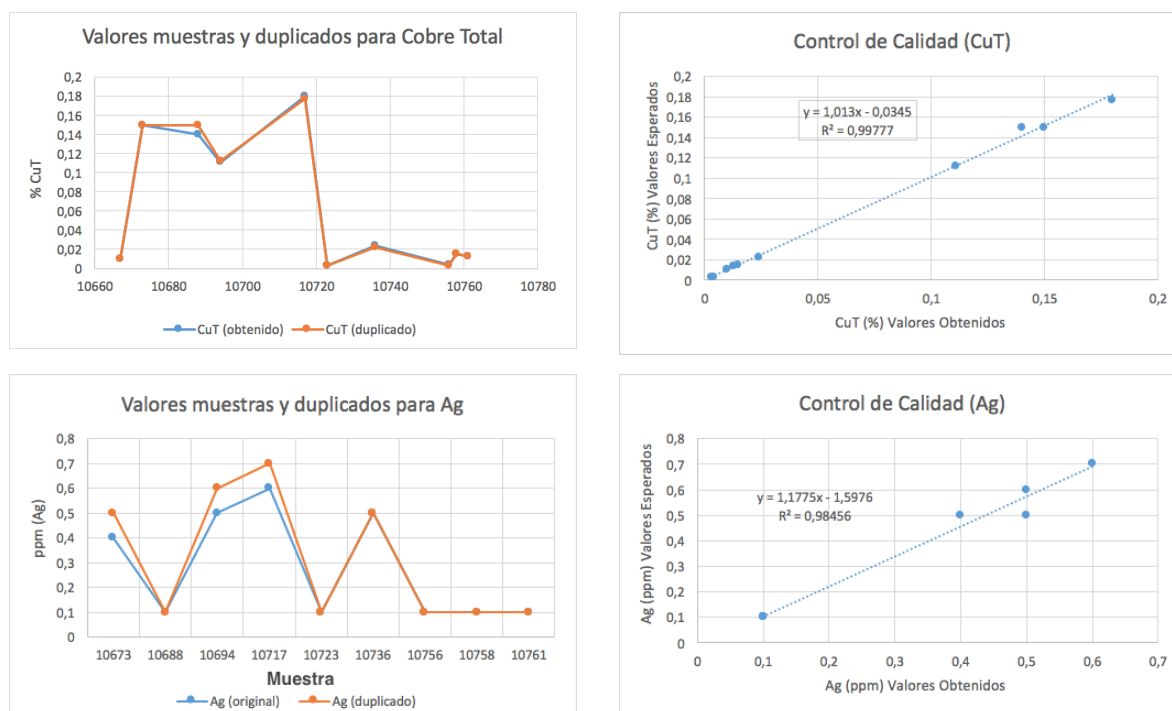


Figura 3.38. Gráficos de distribución de los valores originales y duplicados de los elementos Cu, Ag y Au para las muestras analizadas del sondaje EN-393-16.

Para los análisis de las muestras Standard: se realizaron 3 análisis mediante Ensaye a Fuego para el Au y 3 análisis para el CuT y Ag mediante Digestión por Agua Regia AAS. Los análisis para el Au arrojaron diferencias del orden de 0,01 ppm, para la Ag diferencias del orden de 0,1 pmm y para el CuT estas variaciones fueron entre 0,006% y 0,007%. Además, se realizó 1 análisis para cobre soluble el cual arrojó una diferencia de 0,001%, por lo que los resultados son prácticamente

iguales indicando una precisión de análisis bastante bueno. No fue posible obtener la información los tipos de standard usados por el laboratorio para el análisis de las muestras.

Tabla 3.16. Control de calidad para muestras standard del sondaje EN-393-16.

Elemento	Au	Ag	CuT	CuS
Método analítico	FA-AAS	3ACID-AAS	3ACID-AAS	LIX-AAS
Unidades	ppm	ppm	%	%
Límite de detección	0,01	0,1	0,001	0,001
OxK110 meas	3,49			
OxK110 cert	3,56			
OxK110 meas	3,5			
OxK110 cert	3,56			
OxK110 meas	3,55			
OxK110 cert	3,56			
OREAS 903 meas				0,433
OREAS 903 cert				0,434
ACT-07-2 meas		15,7	0,736	
ACT-07-2 cert		16	0,73	
ACT-07-2 meas		15,6	0,737	
ACT-07-2 cert		16	0,73	
ACT-07-2 meas		16	0,737	
ACT-07-2 cert		16	0,73	

Para las muestras en blanco: los resultados arrojaron valores todos bajo el límite de detección, lo que muestra la nula presencia de contaminación en los procedimientos analíticos.

Tabla 3.17. Control de calidad geoquímico para las muestras en blanco del sondaje EN-393-16.

Elemento	Au	Ag	CuT	CuS
Método analítico	FA-AAS	3ACID-AAS	3ACID-AAS	LIX-AAS
Unidades	ppm	ppm	%	%
Límite de detección	0,01	0,1	0,001	0,001
bk	<0,01			
bk	<0,01			
bk	<0,01			
bk		<0,01	<0,001	
bk		<0,01	<0,001	
bk		<0,01	<0,001	
bk				<0,001

### 3.3.2.2 Sondaje EN-393-16

La empresa DV Drilling llevo a cabo un sondaje diamantino de diámetro NQ en la ladera norte de la Quebrada Los Mineros, con coordenadas UTM 324.008E, 6.290.128N (Datum WGS 1984 Zona 19S), longitud de 264 m, azimut 90° e inclinación inicial -60°. La orientación de este sondaje fue con el propósito de cortar la Veta Superior en Profundidad y notar si se intersectaba alguna otra estructura nueva que no fuera percibida en superficie ni en el túnel minero antiguo.

Finalmente, La Veta Superior fue cortada en el intercepto 73,10 – 78,60 de profundidad, y además, se atravesó la Veta Interior en el intercepto 177,75 – 179,95 de profundidad, mostrando las mismas características que esta estructura presenta al interior del socavón minero: alto contenido de calcopirita alojado en sistema de vetas de cuarzo.

En las zonas mineralizadas, los valores de cobre alcanzan normalmente entre 2500 y 7500 ppm, con valores puntuales máximos de 10000 ppm y 18000 ppm. Las zonas donde se presentó la mineralización corresponden a vetillas de cuarzo-calcita con presencia de calcosina-bornita, microvetillas y vetillas de calcita y/o epidota con contenido de calcopirita y menor pirita, y vetas de cuarzo con abundante calcopirita y menor pirita. A continuación se presenta de manera gráfica en la Figura 3.39 mediante el software ArcScene las leyes de cobre, plata y oro más importantes del análisis químico de este sondaje:

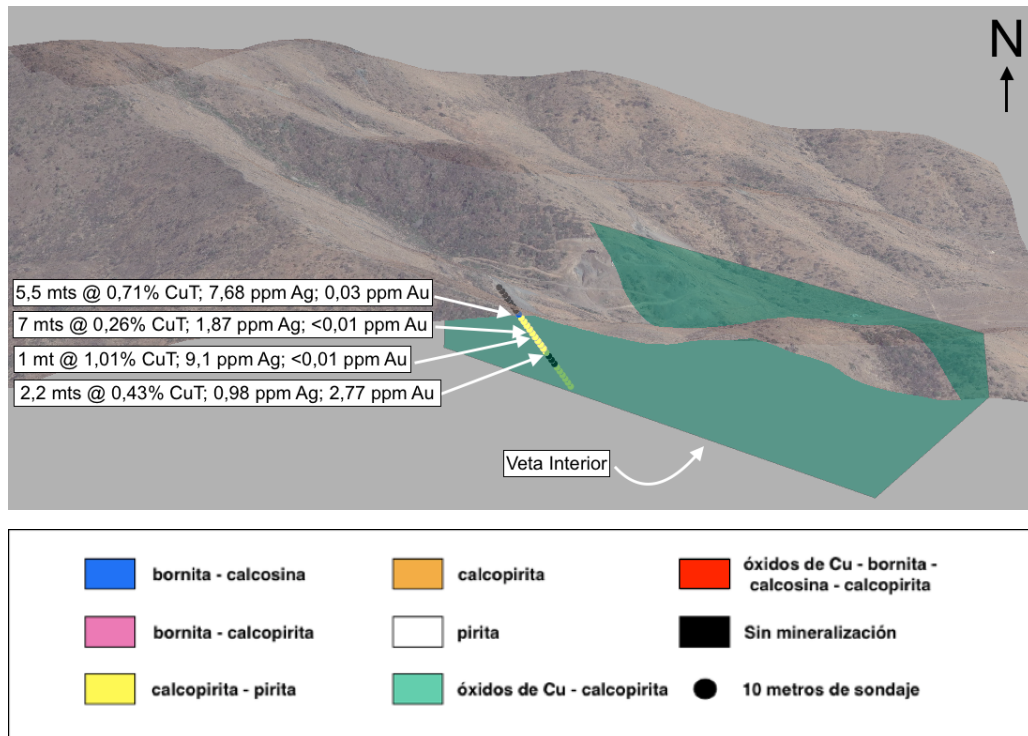


Figura 3.39. Concentraciones de Cu, Ag y Au más importantes dentro del análisis geoquímico del sondaje EN-393-16. Imagen en dirección norte.

### 3.4 Estimación de Recursos y Recomendaciones

En la Figura 3.40 se presenta un esquema 3D donde se representan mediante planos las principales vetas observadas en el Prospecto La Virtud - El Límite. Cabe destacar que en la Figura 3.40 se usa una extensión hipotética no corroborada de las vetas, por lo que evidencias a futuro podrían corroborar y aumentar o reducir la extensión de los planos.

Las observaciones en las concesiones mineras de explotación La Virtud y El Límite permiten identificar 4 zonas principales mineralizadas, las cuales presentan rumbo N-S a N70°W con manteos entre 30° y 60° hacia el W-SW.

Para la estimación de recursos inferidos, se consideraron las observaciones realizadas en terreno, donde se siguieron las siguientes asunciones:

- Para cada cuerpo mineralizado se estimó una forma prismática tabular, y como dimensiones, una potencia media, corrida aflorante y profundidad.

- En la estimación de recursos, no se consideraron aquellos afloramientos irregulares observados con escasa mineralización, ya que en la extensión lateral de estos mismos, la mineralización se pierde a escala centimétrica no representando un potencial económico de interés en la zona de estudio.

- Las leyes de cobre, plata y oro consideradas para la estimación de recursos inferidos fueron tomadas como el promedio ponderado de las leyes de las muestras de cada cuerpo mineralizado, tanto en la campaña en superficie del año 2014, como en la campaña de sondajes realizada durante el año 2016.

- Para el sondaje EN-393-16, la ley ponderada de un elemento en cierto tramo se calculó como la sumatoria de los segmentos dentro de este tramo por sus respectivas leyes del elemento en cuestión, dividido sobre el largo total del tramo.

Es importante mencionar que esta estimación de recursos inferidos es de carácter preliminar y sólo constituye una primera aproximación de un nivel de confianza bajo debido a la poca información disponible de datos geoquímicos en los cuerpos mineralizados (22 datos). Además de los datos obtenidos durante la campaña de terreno de Diciembre del 2014 (Luca, 2015), fueron considerados los datos geoquímicos correspondientes a los interceptos del sondaje EN-393-16 con la Veta Superior y la Veta Interior.

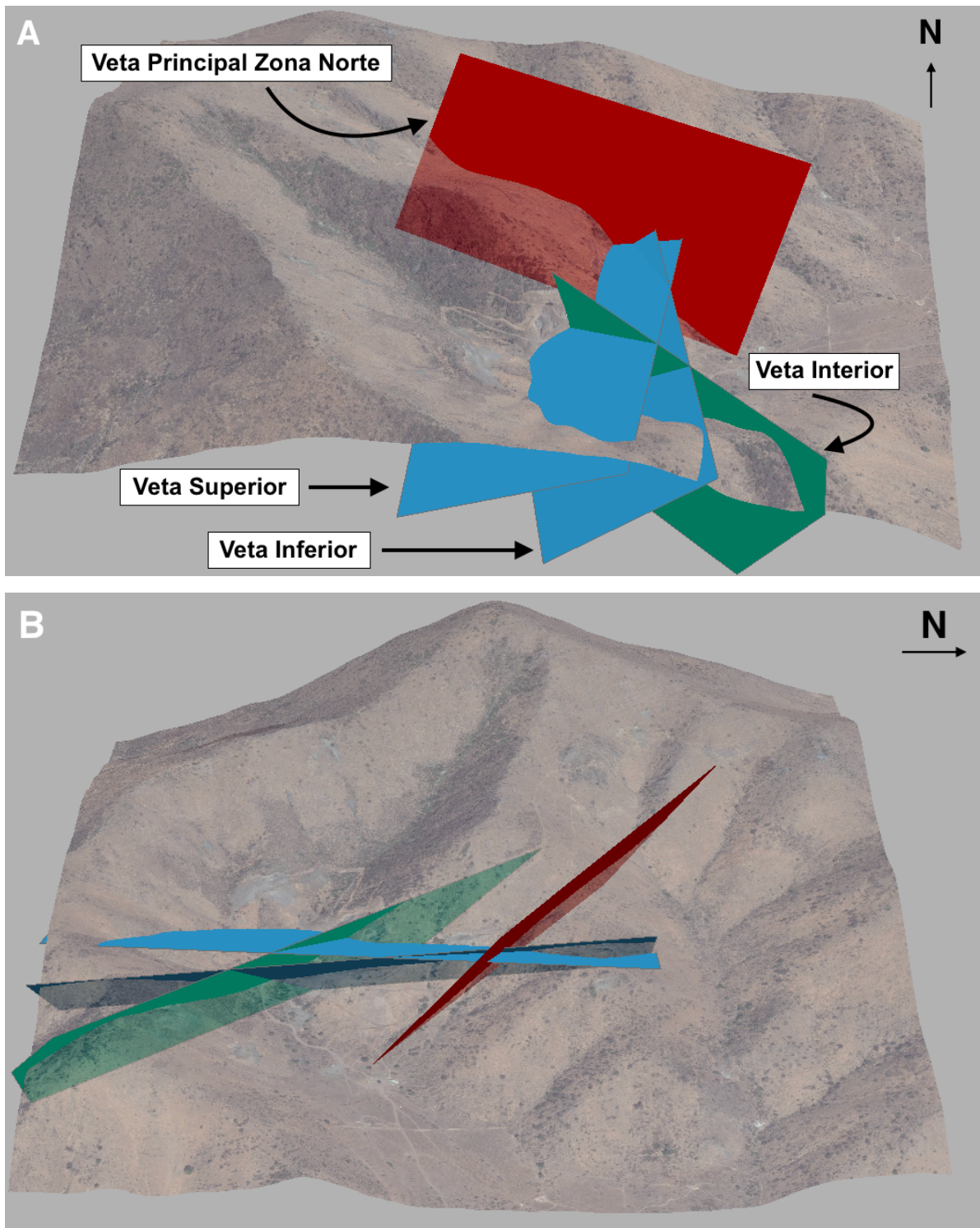


Figura 3.40. Imagen 3D con las principales vetas observadas en el Prospecto Minero La Virtud – El Límite. El plano de color verde corresponde a la Veta Interior y los planos de color azul representan las Veta Superior e Inferior que presentan zonas mixtas con minerales oxidados y sulfuros de cobre. En color rojo, se representa la Veta Principal Zona Norte, ubicada en la zona norte de la concesión minera La Virtud. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.



## Veta Superior

Esta veta presenta un rumbo N5°W con un manteo de 30° al oeste. Para el cálculo de los recursos inferidos, se consideró una potencia media de 4 m, una corrida aflorante de 500 m y una profundidad de 400 m. Estas dimensiones generarían un volumen estimado de roca mineralizada de 800.000 m<sup>3</sup>, y considerando una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup> para las andesitas porfíricas, da como resultado 2,16 Mt a una ley de 1,91% CuT. Esta ley se calculó como un promedio ponderado de las leyes de las muestras obtenidas en terreno y profundidad para este cuerpo mineralizado (muestras LV-04, LV-08, LV-11, LV-12, LV-13, LV-14, LV-15, tramo 73,10 – 78,60 sondaje EN-393-16, Ver Tabla 3.18). La extensión de esta veta hacia la zona sur se vería truncada por la Quebrada Los Mineros.

*Tabla 3.18. Resumen Mineralización de muestras analizadas Veta Superior en concesión minera La Virtud junto con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).*

Muestras macroscópicas		Concentración Cobre Total y Cobre Soluble		
		CuT	CuS	CuS/CuT
Muestras	Mineralización	(%)	(%)	Razón
LV-04	Minerales oxidados de cobre, bornita asociada a vetillas	1,45	0,404	0,2786
LV-08	Minerales oxidados de cobre, pirita, calcosina, bornita	0,7858	0,538	0,6847
LV-11	Minerales oxidados de cobre	2,477	2,56	0,1033
LV-12	Minerales oxidados de cobre, crisocola en pátinas y vetillas	3,291	3,388	0,1029
LV-13	Minerales oxidados de cobre	2,825	2,057	0,7281
LV-14	Minerales oxidados de cobre, pirita, calcopirita, bornita, calcosina	1,46	0,766	0,5247
LV-15	Minerales oxidados de cobre, crisocola en pátinas y vetillas	2,242	2,268	0,1011
Tramo 73,10 – 78,60 sondaje EN-393-16	Minerales oxidados de cobre, calcosina, bornita, calcopirita en vetillas	0,71	0,04	0,06

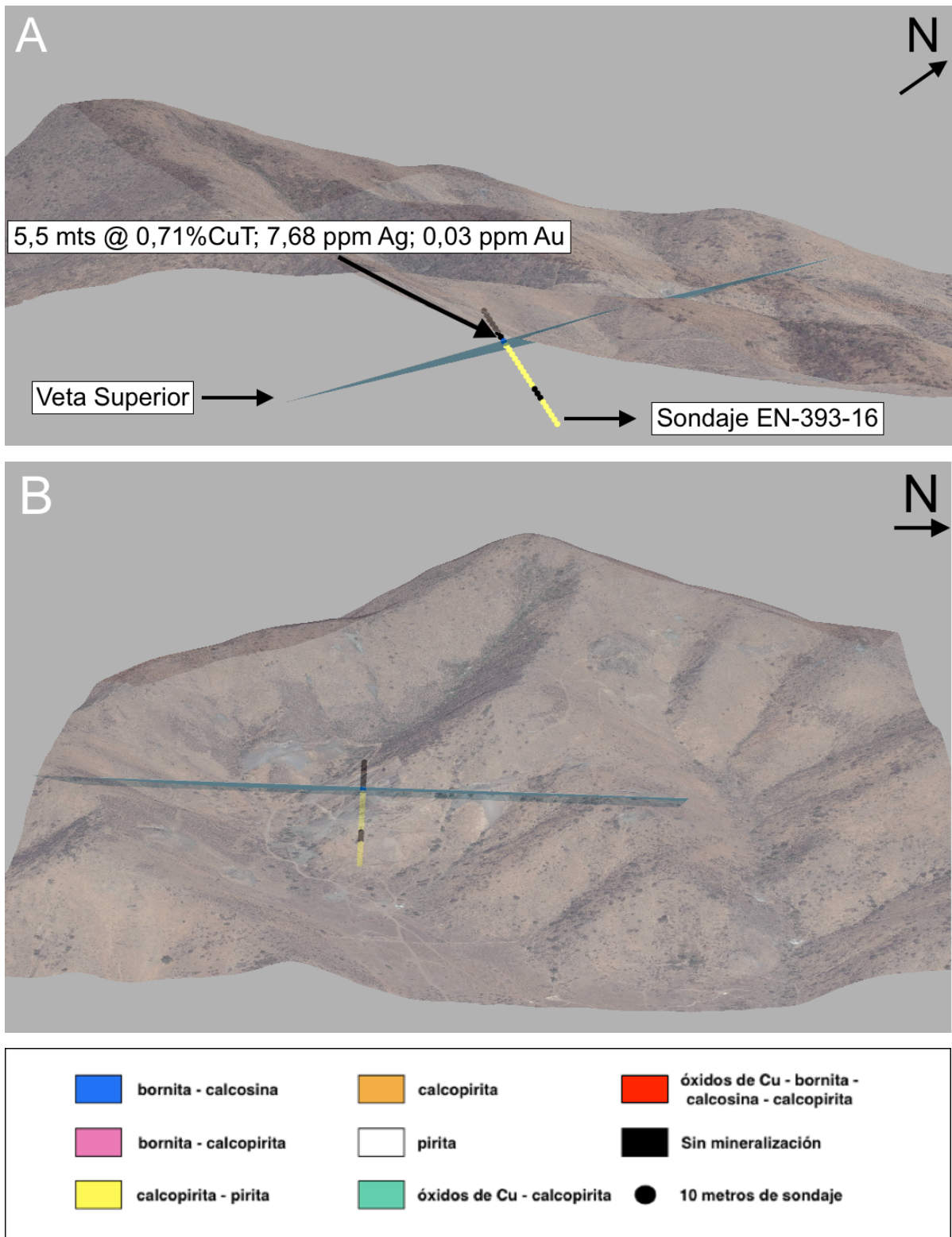


Figura 3.41. Intersección Veta Superior con sondaje EN-393-16 en el tramo 73,10 – 78,60 de profundidad. A) Vista en dirección NW. B) Vista en dirección al oeste.

## Veta Inferior

Esta veta presenta un rumbo N10°W con un manto de 60° al oeste. Para el cálculo de los recursos inferidos, se consideró una potencia media de 4 m, una corrida aflorante de 300 m hasta la falla principal ubicada en la zona norte de la concesión minera La Virtud y una profundidad de 300 m. Estas dimensiones generarían un volumen estimado de roca mineralizada de 360.000 m<sup>3</sup>, y considerando una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup> para las andesitas porfíricas, da como resultado 0,97 Mt a una ley de 1,8% CuT. Esta ley se calculó como un promedio ponderado de las leyes de las muestras obtenidas en terreno para este cuerpo mineralizado (muestras LV-01, LV-02, LV-03, LV-09, LV-10, Ver Tabla 3.19). Al igual que la Veta Superior, la extensión de esta veta hacia la zona sur se vería truncada por la Quebrada Los Mineros. No se presentaron anomalías de cobre, plata u oro en la zona donde el sondaje EN-393-16 debería haber intersectado la proyección de la Veta Inferior en profundidad.

Tabla 3.19. Resumen Mineralización de muestras analizadas en Veta Inferior en concesión minera La Virtud junto con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).

Muestras macroscópicas		Concentración Cobre Total y Cobre Soluble		
		CuT	CuS	CuS/CuT
Muestras	Mineralización	(%)	(%)	Razón
LV-01	Minerales oxidados de cobre	0,7725	0,688	0,8906
LV-02	Minerales oxidados de cobre, bornita, calcosina	1,893	1,611	0,851
LV-03	No se observan minerales de mena de cobre	0,0905	0,031	0,3425
LV-09	Minerales oxidados de cobre, pirita, calcopirita, bornita, calcosina diseminada y asociada a vetillas	4,361	1,669	0,3827
LV-10	Minerales oxidados de cobre	1,893	1,669	0,8817

## Veta Interior

Corresponde a la zona de mineralización más profunda observada en terreno en la concesión minera La Virtud. Dentro del socavón se reconocen labores de explotación en torno a la veta, la cual presenta un rumbo N60°W y manto de 60° al SW. Para el cálculo de recursos inferidos y considerando lo observado al interior del socavón, se usó una potencia media de 2 m, una corrida aflorante de 500 m en el caso que la veta no se vea truncada por la Quebrada Los Mineros y coincida con la veta observada en la concesión minera El Límite, la cual presenta el mismo rumbo y manto (N60°W/60°SW) y su ubicación en superficie solo difiere en 20 m de la proyección de la Veta Interior hacia el sur, y una profundidad de 300 m, tomando como proyección hasta la superficie una distancia de 150 m desde la cota 630 m.s.n.m al interior del socavón minero. Estas dimensiones generarían un volumen estimado de roca mineralizada de 300.000 m<sup>3</sup>, y considerando una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup> para las andesitas porfíricas que hospedan la mineralización, da como resultado 0,81 Mt a una ley de 1,87% CuT. Esta ley se

calculó como un promedio ponderado de las leyes de las muestras obtenidas en terreno para este cuerpo mineralizado, sumado a un valor de ley de CuT obtenido en el análisis geoquímico del sondaje EN-393-16 en el tramo 177,75 – 179,95 (ver sondaje EN-393-16, ANEXO A), lugar donde se estima que el sondaje corta a la proyección de esta veta en profundidad (ver Figura 3.42), lo cual se corrobora bien ya que corta el mismo tipo de veta observada al interior del socavón. En este cálculo de ley, no se usó el valor *outlier* de cobre de 27,97% de CuT obtenido en la muestra LV-20, por considerarse un valor atípico dentro de la distribución de valores de leyes de Cu en este cuerpo mineralizado y por ende engañoso para el cálculo de recursos inferidos de la Veta Interior. En esta estimación fueron considerados además de los datos obtenidos en la Veta Interior, los datos tomados en la concesión minera El Límite, sumándose al promedio ponderado los valores de las muestras LV-16 y LV-17 correspondientes a la Veta El Límite (muestras LV-16, LV-17, LV-18, LV-19, LV-20, tramo 177,75-179,75 sondaje EN-393-16, Ver tabla 3.20).

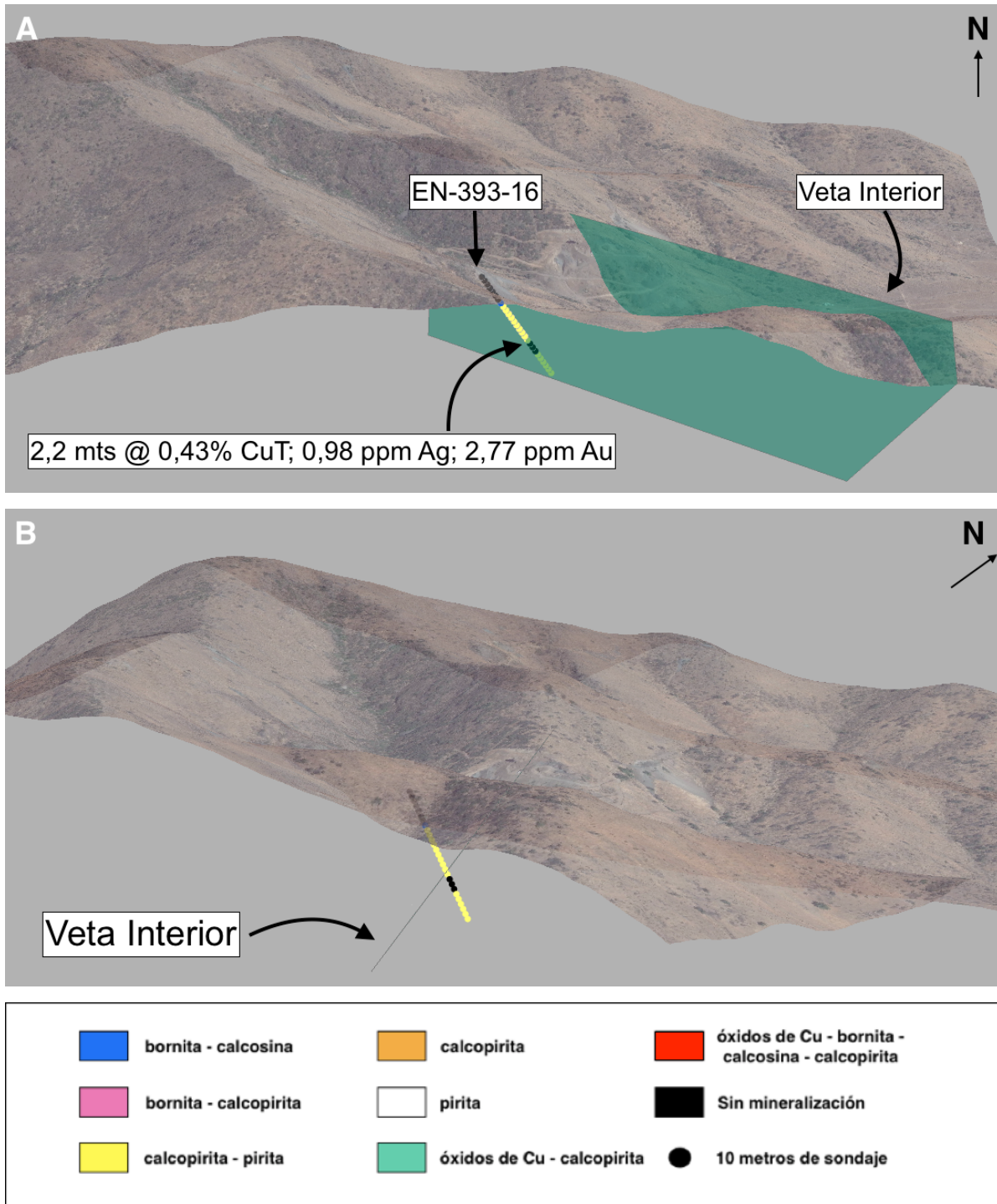


Figura 3.42. Intersección Veta Interior con sondaje EN-393-16 en el tramo 177,75 – 179,95 de profundidad. A) Vista en dirección norte. B) Vista en dirección N45°W.

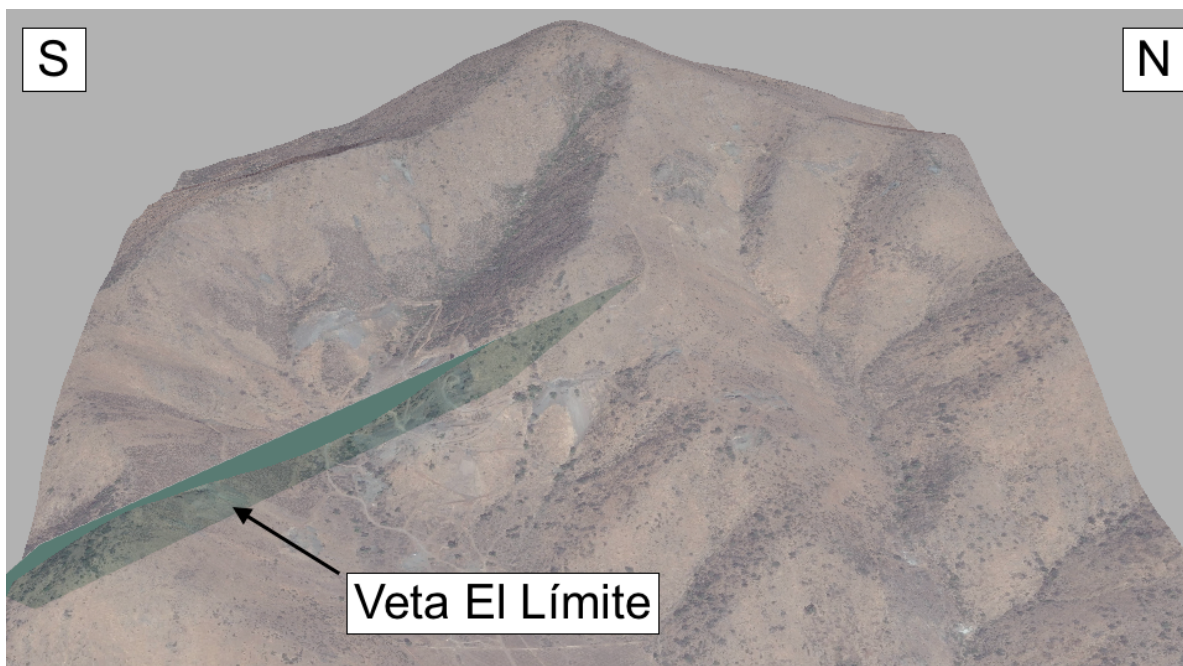


Figura 3.43. Proyección Veta Interior hacia la concesión minera El Límite. La proyección de esta veta pasa a una distancia de 20 metros de la Veta El Límite en la concesión minera El Límite. Imagen en dirección hacia el oeste.

Tabla 3.20. Resumen Mineralización de muestras analizadas en Veta Interior en concesión minera La Virtud Minera y Veta El Límite en concesión minera El Límite con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).

Muestras macroscópicas		Concentración Cobre Total y Cobre Soluble		
		Cu	CuS	CuS/CuT
Muestras	Mineralización	(%)	(%)	Razón
LV-16	Minerales oxidados de cobre	3,16	2,638	0,8348
LV-17	Minerales oxidados de cobre, crisocola en vetillas	0,605	0,547	0,9041
LV-18	Pirita en vetillas y diseminada, calcopirita en vetillas y diseminada, posible escasa calcosina, minerales oxidados de cobre	2,757	0,355	0,1288
LV-19	Pirita diseminada, calcopirita, minerales oxidados de cobre	2,387	0,124	0,519
LV-20	Pirita, calcopirita, bornita, calcosina	27,97	0,124	0,519
EN-393-16 (tramo 177,75 - 179,95)	Pirita y calcopirita asociada a vetas de cuarzo	0,43	0,006	0,014

### Veta Principal Zona Norte

Esta veta presenta un rumbo N70°W con un manteo de 55° al SW. Para el cálculo de los recursos inferidos, se consideró una potencia media de 3 m, una corrida aflorante de 500 m y una profundidad de 300 m. Este largo de quinientos metros se estima considerando que ésta veta junto a la observada al interior del socavón minero (Veta Interior) pertenecen a un sistema de vetas con rumbo NW –

SE parecido (variación de 10° en el rumbo y de 5° en manteo), por ende, la veta observada en la zona norte de la concesión minera La Virtud debería presentar una extensión similar a la estimada para la Veta Interior. Estas dimensiones generarían un volumen estimado de roca mineralizada de 450.000 m<sup>3</sup>, y considerando una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup> para las andesitas porfíricas, da como resultado 1,21 Mt a una ley de 0,33% CuT. Esta ley se calculó como un promedio ponderado de las leyes de las muestras obtenidas en terreno para este cuerpo mineralizado (muestras LV-05, LV-06, LV-07, Ver tabla 3.21).

Tabla 3.21. Resumen Mineralización de muestras analizadas en la Veta Principal Zona Norte en la concesión minera La Virtud con su ley de cobre total y soluble. Modificado de Luca (2015).

Muestras macroscópicas		Concentración Cobre Total y Cobre Soluble		
		Cu	CuS	CuS/CuT
Muestras	Mineralización	(%)	(%)	Razón
LV-05	Minerales oxidados de cobre	0,1967	0,143	0,7270
LV-06	Minerales oxidados de cobre asociados a vetillas de cuarzo	0,5473	0,521	0,9519
LV-07	Minerales oxidados de cobre asociados a vetillas de cuarzo	0,2462	0,189	0,7677

Con estos antecedentes, los recursos inferidos para las concesiones mineras La Virtud – El Límite presentan los siguientes valores:

Tabla 3.22. Estimación de recursos inferidos de cobre del prospecto cuprífero La Virtud - El Límite.

	Tonelaje roca mineralizada (Mt)	Ley de cobre total	Toneladas de Cobre	Valor Cobre LME grado "A" (23-05-17) US\$ 2,57 libra
Veta Superior	2,16	1,91%	41.256	US\$ 253.617.600
Veta Inferior	0,97	1,80%	17.460	US\$ 99.716.000
Veta Interior	0,81	1,87%	15.147	US\$ 85.506.200
Veta Principal Zona Norte	1,22	0,33%	4.026	US\$ 22.992.933
Total	5,16	1,50%	77.889	US\$ 461.832.733

El total de recursos inferidos da 5,16 Mt de andesitas porfíricas mineralizadas (ver Tabla 3.22). Este cálculo se realizó principalmente considerando la mineralización vetiforme observada en la concesión minera La Virtud (Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte), pudiendo esta extenderse en el caso de la veta mineralizada al interior del socavón a través de la Quebrada Los Mineros, hasta llegar a la veta observada en la concesión minera El Límite. Estos recursos inferidos pueden aumentar de manera considerable si se encuentran otras vetas en zonas intermedias entre las vetas mineralizadas, o también si se encuentran vetas a mayor profundidad en la concesión minera La Virtud.

Plata y Oro

En este prospecto, la plata varía desde concentraciones bajo 1 ppm hasta 41 ppm en las distintas vetas mencionadas, donde este último valor es considerado un *outlier*. Este valor corresponde a la muestra LV-20. Descartando este valor, el promedio de plata en las muestras para la Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte corresponden a 9,24 ppm, 10,8 ppm, 12,2 ppm y 2 ppm respectivamente (ver Tabla 3.23), considerando que la veta al interior del socavón minero se proyecta hasta la Veta El Límite de orientación N60°W/60°SW en la concesión minera El Límite.

Tabla 3.23. Valores de Ag en las muestras Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte de las concesiones mineras La Virtud y El Límite. Modificado de Luca (2015).

	Muestra	Ag (ppm)	Contenido promedio Ag (ppm)
Veta Superior	LV-08	6	9,24
	LV-11	7	
	LV-12	15	
	LV-13	15	
	LV-14	7	
	LV-15	7	
	Tramo 73,10 – 78,60 sondaje EN-393-16	7,68	
Veta Inferior	LV-01	5	10,8
	LV-02	13	
	LV-03	1	
	LV-09	24	
	LV-10	11	
Veta Interior	LV-16	5	12,2
	LV-17	23	
	LV-18	2	
	LV-19	1	
	LV-20	41	
	Tramo 177,75 - 179,95 sondaje EN-393-16	0,98	
Veta Principal Zona Norte	LV-05	0,5	2
	LV-06	5	
	LV-07	0,5	

El oro presenta concentraciones relativamente bajas y sólo tres de ellas superan 1 g/t (ver Tabla 3.24). Una de las muestras corresponde a la Veta Superior, otra a la Veta Inferior, y la tercera a la Veta Interior, considerando que el sondaje EN-393-16 intersecta esta veta en profundidad. Estas tres muestras se catalogaron como *outliers* al considerar una distribución aritmética de los datos, las cuales corresponden a las muestras LV-09, LV-14 y el tramo 177,75 – 179,95 del



sondaje EN-393-16. Para el cálculo del promedio ponderado de Au, no se consideraron estos *outliers*, pero si fueron incluidos en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Valores de Au en las muestras de la Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte de las concesiones mineras La Virtud y El Límite. Modificado de Luca (2015).

	Muestra	Au (ppm)	Contenido promedio Au (ppm)
Veta Superior	LV-08	0,3	0,34
	LV-11	0,03	
	LV-12	0,02	
	LV-13	0,01	
	LV-14	2,03	
	LV-15	0,02	
	Tramo 73,10 – 78,60 sondaje EN-393-16	0,03	
Veta Inferior	LV-01	0,09	0,43
	LV-02	0,37	
	LV-03	0,04	
	LV-09	1,17	
	LV-10	0,47	
Veta Interior	LV-16	0,27	0,58
	LV-17	0,02	
	LV-18	0,32	
	LV-19	0,04	
	LV-20	0,09	
	Tramo 177,75 - 179,95 sondaje EN-393-16	2,77	
Veta Principal Zona Norte	LV-05	0,02	0,05
	LV-06	0,09	
	LV-07	0,03	

Con los datos recopilados anteriormente, y considerando la inclusión de los datos LV-16 y LV-17 de la veta en la concesión minera El Límite para el cálculo de los recursos inferidos de la Veta Interior, se puede resumir la estimación de recursos inferidos de la siguiente manera:

- Veta Superior: recursos inferidos de 2,16 Mt a una ley de 1,91% CuT; 9,24 g/ton Ag y 0,34 g/ton Au.
- Veta Inferior: recursos inferidos de 0,97 Mt a una ley de 1,8% CuT; 10,8 g/ton Ag y 0,43 g/ton Au.
- Veta Interior: recursos inferidos de 0,81 Mt a una ley de 1,87% CuT, 12,2 g/ton Ag y 0,58 g/ton Au.

- Veta Principal Zona Norte: recursos inferidos de 1,22 Mt a una ley de 0,33% CuT, 2 g/ton Ag y 0,05 g/ton Au.

Estos datos permiten concluir para el total del prospecto, y ponderando el tonelaje de los 4 cuerpos mineralizados por sus leyes de metal respectivas, que los recursos inferidos corresponden a 5,16 Mt de andesitas porfíricas mineralizadas con una ley de 1,50 % de CuT, 8,2 g/ton de Ag y 0,32 g/ton de Au.

## 4 DISCUSIONES

### MODELO DE DEPÓSITO

La mineralización en el Prospecto La Virtud - El Límite se encuentra hospedada principalmente en andesitas porfíricas correspondientes a una secuencia volcánica de edad Cretácico Inferior, pertenecientes a la Formación Veta Negra. Esta mineralización presenta un control estructural, dominado por fallas de rumbo N-S a NW-SE y manteos entre 30° y 60° hacia el W-SW. Fallas con este rumbo son consideradas una guía de exploración para campañas de terreno posteriores en esta zona. En terreno se reconocieron estrías de falla en los planos de fallas, pero no pudo determinarse qué tipo de desplazamiento se generaba entre los bloques involucrados. Estas fallas brechizan las andesitas porfíricas en las zonas de falla generando un cambio textural pero no litológico en ellas.

Los estilos de mineralización principales corresponden a vetillas y microvetillas, y en menor grado de ocurrencia, amígdalas, cavidades irregulares y diseminado. Los minerales de alteración que se presentan en estas estructuras acompañando a los sulfuros y minerales oxidados de cobre son clorita, epidota, calcita, prehnita, cuarzo y jaspe, siendo estos minerales secundarios interpretados como el producto de una alteración hidrotermal propilítica débil de carácter local sobreimpuesta a un metamorfismo de carga de bajo a muy bajo grado, donde estas dos alteraciones son difíciles de distinguir una de la otra. Estos minerales de alteración sugieren aporte de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> a las rocas. Además, las vetillas, microvetillas, amígdalas y cavidades irregulares pueden presentar o no presencia de hematita especular. El halo silicificado en la periferia de las zonas mineralizadas (ver Figura 3.11, Mapa Alteración) se considera una guía de exploración en superficie para próximas campañas de terreno. Hematita pulverulenta y especularita sólo presentaron halos hematíticos en torno a la Veta Superior y Veta Inferior en superficie y a la Veta Interior en el socavón minero. El aumento de hematita pulverulenta o especular por sobre el contenido de trazas, como halo de alteración de las zonas mineralizadas, también es considerada una guía de exploración para próximas campañas de terreno. La albita se produce por un metasomatismo selectivo de Na que afecta sólo a los fenocristales de plagioclasa y microlitos de la masa fundamental, lo cual fue analizado mediante cortes transparentes (ver ANEXO B) y microscopía electrónica de barrido en fenocristales y microlitos de plagioclasa en la masa fundamental (ver ANEXO C). Este mineral de alteración no fue observado en las vetas.

El rumbo de las principales fallas indicaría un sistema estructural extensional en sentido N-S a NW-SE, el cual habría atravesado la secuencia volcánica correspondiente a la Formación Veta Negra. Estas fallas serían los conductos por donde los fluidos mineralizadores habrían ascendido generando las vetas mineralizadas.

La mineralogía de mena en las vetas presentes en el prospecto corresponde

a calcopirita y bornita hipógenas, junto con calcosina, covelina, digenita, atacamita, malaquita, azurita, y crisocola supérgenas. La mineralogía de ganga está representada por clorita, epidota, calcita, albita, cuarzo, jaspe, prehnita, pirita, especularita, hematita, pirolusita, arcillas blancas e hidróxidos de hierro. Mediante el estudio de secciones pulidas y pulidas – trasparentes bajo microscopio óptico, se observaron las distintas relaciones texturales entre la pirita, calcopirita y bornita hipógenas, y la calcosina, digenita y covelina supérgenas. En la Figura 7.19 A y B (muestra LV-05, ver ANEXO B), se pueden observar texturas de superficies cóncavas hacia el mineral huésped (pirita y calcopirita) siendo reemplazadas por goethita supérgena, y relictos o minerales islas (pirita) siendo reemplazados por abundantes cantidades de goethita. En las Figuras 7.20 A y B (muestra LV-08, ver ANEXO B), se observan pequeños granos minerales de calcopirita y pirita, respectivamente, siendo reemplazados por goethita presentando superficies cóncavas hacia el mineral huésped, mientras que en la Figura 7.20 C (muestra LV-08, ver ANEXO B) se observa entrecrecimiento local de bornita remanente con granos de calcopirita y pirita, junto con reemplazos de bornita por digenita y covelina, evidenciando texturas de secuencia depositacional con enriquecimiento en un constituyente (cobre). Además, la Figura 7.20 D (muestra LV-08, ver ANEXO B), presenta remanentes de bornita en reemplazo casi total por entrecrecimiento de digenita y covelina. En las Figuras 7.21 A y B (muestra LV-09, ver ANEXO B), se observan superficies cóncavas hacia el mineral huésped, con reemplazo de bornita por calcosina, y textura de secuencia depositacional con enriquecimiento progresivo en un constituyente (cobre), presentando reemplazos sucesivos de bornita por calcosina, digenita y covelina. Finalmente, la Figura 7.22 A (muestra LV-20, ver ANEXO B), presenta goethita reemplazando sulfuros de cobre y hierro, principalmente calcopirita, la cual muestra islas de mineral huésped en este oxihidróxido de hierro. Además, se observa goethita y bornita tanto en las cavidades irregulares como fracturas dentro de los cristales de calcopirita. Escasamente, puede observarse goethita reemplazando a la digenita y bornita, presentando textura de superficies cóncavas hacia el mineral huésped, como también pueden observarse parches de bornita sobre calcopirita, y de covelina sobre bornita en la Figura 7.22 B (muestra LV-20, ver ANEXO B), indicando una secuencia depositacional progresivamente enriquecida en cobre. En las Figuras 7.22 C y D se observa cristales masivos de calcopirita con hematita pulverulenta y bornita depositadas en microvetillas discontinuas, junto con hematita especular relleno una cavidad en cristal masivo de calcopirita, evidenciando que estos minerales son posteriores a la formación de la calcopirita. Estas texturas antes mencionadas indican un proceso de mineralización hipógena con un posterior enriquecimiento secundario pobre, producto de una roca de caja reactiva con alto contenido de carbonatos sumado a una baja disponibilidad de pirita para producir soluciones ácidas percolantes una vez que la mineralogía hipógena se expone a condiciones oxidantes producto de la denudación y meteorización de la superficie. El descenso deficiente de cationes metálicos desde los niveles oxidantes hacia profundidades bajo el nivel freático, produciría inicialmente un reemplazo de los sulfuros hipógenos por calcosina o digenita, con el subsiguiente reemplazo de estos minerales por minerales oxidados de cobre a medida que la disponibilidad de azufre reducido disminuye mientras los sulfuros secundarios son consumidos,

evidenciando una superposición de ciclos de alteración donde la zona de cementación fue posteriormente oxidada y lixiviada por un descenso del nivel de las aguas subterráneas. La covelina se desarrolla en ambientes que presentan una baja disponibilidad de  $\text{Cu}^{+2}$  disuelto, usualmente por oxidación *in situ* y reemplazo de calcopirita o bornita, raramente pirita (Chávez, 2000), como es reflejado en las muestras LV-08, LV-09 y LV-20 (ver ANEXO B). Sin embargo, la paragénesis de reemplazo de sulfuros hipógenos puede involucrar varios sulfuros de cobre secundarios previo al desarrollo de minerales oxidados de cobre. El reemplazo de asociaciones minerales sulfuradas que presentan bajas razones de azufre/metal o altos contenidos de cobre, como es el caso de la covelina, calcosina, digenita y bornita, podría haber resultado en la precipitación directa de minerales oxidados de cobre, ya que las condiciones geoquímicas locales del prospecto cuprífero La Virtud – El Límite presentan un pH de acidez débil a neutra (roca de caja reactiva con alto contenido de carbonatos), lo cual es favorable para la precipitación de minerales oxidados de cobre que son estables en el rango de pH 4 a 9, como es el caso de la atacamita, malaquita, azurita y crisocola (Anderson, 1982).

Además, se puede observar alteración supérgena en las vetas mineralizadas dentro de las fallas con orientación N-S a NW-SE que presentan zonas mixtas de sulfuros y minerales oxidados de cobre en superficie (Veta Superior e Inferior). Esta alteración, sobreimpuesta a la alteración hidrotermal del tipo clorita-epidota-calcita-albita±cuarzo±jaspe con o sin hematita especular, está representada por la presencia de goethita, jarosita, lepidocrocita, hematita, pirolusita y arcillas blancas, los cuales se encuentran principalmente en sistemas de fracturas con arreglos multidireccionales dentro de estas fallas de mayor escala. Estos minerales de alteración indican la acción de un proceso de lixiviación, ya que corresponden a subproductos de la oxidación e hidratación de aguas meteóricas que afectan a la pirita. El hecho de que estas zonas con minerales de alteración supérgenos también presenten mineralización mixta con sulfuros y minerales oxidados de cobre, indican que el proceso de lixiviación es deficiente. Esta deficiencia se debería a un escaso contenido de pirita hipógena en el depósito para producir soluciones ácidas lixiviantes, junto con abundante calcita como ganga que se presenta tanto en estructuras como en la masa fundamental de la roca, la cual habría neutralizado casi en su totalidad estas soluciones ácidas provocando un descenso pobre de cationes metálicos desde la zona oxidada, y, por ende, generando un contenido de sulfuros supérgenos de poca relevancia. Debido a lo anterior, sólo se habría producido oxidación *in situ* o de poco transporte de los sulfuros hipógenos, junto con un nulo o despreciable enriquecimiento supérgeno en la zona de estudio (Maksaev, 2001).

Las características descritas anteriormente para el depósito en estudio son afines a las vetas cupríferas mesotermiales de origen epigenético hidrotermal en conexión genética con rocas intrusivas descritas por Lindgren (1933), donde las características del prospecto cuprífero La Virtud – El Límite similares a las especificadas por este autor son las siguientes:

- Mineralogía de alteración en el rango de estabilidad 175 – 300°C, representada principalmente por la asociación clorita-epidota-carbonatos-albita±cuarzo±jaspe.
- Control estructural de las menas donde las fisuras son uniformes en rumbo y manteo, con paredes lisas y estrías de fallas abundantes.
- Especularita presente en pequeñas cantidades con aumento de este mineral por sobre el contenido de trazas en la roca caja en zonas cercanas al contacto con las vetas.
- Minerales de mena tanto en el relleno del espacio abierto como en la periferia de la roca caja que contiene la veta, donde la mena valiosa se encuentra principalmente junto a ganga de cuarzo y carbonatos subordinados
- Ausencia de minerales de alta temperatura, del tipo hipotermal, como biotita, piroxenos, anfíboles, granate o turmalina.
- Presencia de diques hipoabisales de textura porfírica, representativos de etapas tardías de la actividad ígnea.

Sin embargo, es importante mencionar que el prospecto cuprífero en estudio también presenta de manera subordinada características de depósitos estratoligados hospedados en rocas volcánicas de la Cordillera de la Costa de Chile Central descritas por Makshev y Zentilli (2002). Las similitudes de menor grado respecto a las características de tipo vetiforme cupríferas mesotermiales presentes en el depósito, descritas por los autores mencionados anteriormente para los depósitos tipo estratoligados de cobre con plata subordinada, son las siguientes:

- Ubicación geográfica cercana a la transición entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra, siendo consideradas estas rocas volcánicas del Cretácico inferior un metalotecto para la concentración de depósitos del tipo estratoligados de cobre con plata subordinada.
- Mineralogía de alteración hidrotermal con presencia de clorita, hematita, clorita, albita, cuarzo y epidota (El Soldado y Lo Aguirre).
- Mineralogía de mena en el prospecto La Virtud – El Límite relleno de contenido de trazas niveles porosos de la secuencia volcánica, estando ligada de manera subordinada a un estrato en particular (andesitas porfíricas).
- Presencia de hematita especular en niveles estratigráficos someros del prospecto.

- Ubicación del prospecto en la periferia de batolitos e intrusivos subvolcánicos, considerando que el origen más aceptado para este tipo de depósitos es el de tipo magmático – hidrotermal (Espinoza, 1981, 1982; Chávez, 1985; Holgrem, 1987; Palacios, 1990; Espinoza et al., 1996; Vivallo y Henríquez, 1998).
- Diques andesíticos y dioríticos sin evidencia de mineralización ubicados en la periferia del prospecto.
- Control estructural que facilitó el ascenso de los fluidos mineralizadores a la permeabilidad primaria de la roca caja, presentando minerales de mena depositados en contenido de trazas en los niveles porosos de esta.

A pesar de las características presentes de ambos tipos de depósitos mencionados en el prospecto, el fuerte control estructural de la mineralización presente en La Virtud – El Límite le otorga a este prospecto rasgos afines con un depósito del tipo vetiforme cuprífero mesotermal en conexión genética con rocas intrusivas por sobre uno del tipo estratoligado de cobre con plata subordinada.

En la elaboración del mapa litológico escala 1:5.000 realizado durante el trabajo de gabinete de la campaña de terreno del año 2016, fue posible detectar un truncamiento de las andesitas porfíricas de grano grueso hacia el sur. Haciendo uso de la regla de los 3 puntos en el contacto entre las andesitas porfíricas de grano grueso truncadas y las andesitas porfíricas ubicadas al este de éstas últimas, fue posible determinar en el contacto de estas dos unidades un rumbo de N20°E y manteo subvertical de 84° hacia el SE. Este cambio abrupto en el rumbo y manteo de las unidades volcánicas indicaría que posiblemente las andesitas porfíricas ubicadas al lado este del contacto correspondan a un dique andesítico que intruye la unidad porfírica de grano grueso. Además, este dique sufriría un desplazamiento hacia el este al norte de la falla que alberga la Veta Principal Zona Norte, sugiriendo que esta falla podría presentar una componente de rumbo dextral. Evidencias de este posible desplazamiento no fueron observadas en terreno producto de la mala calidad de los afloramientos, la cubierta de suelo y vegetación del Cerro Bandera y las variaciones de tamaño de fenocristal e intercalaciones de andesitas porfíricas y andesitas porfíricas de grano grueso, que hacen difícil y confuso en terreno determinar el contacto y cambio de unidades.

En la confección del perfil litológico y de alteración (Figuras 3.3 y 3.12, respectivamente) es posible observar que la proyección de la Veta Superior en profundidad es interceptada por el sondaje EN-393-16 alrededor del metro 88 de profundidad, mientras que el intercepto mineralizado del sondaje EN-393-16 en el análisis geoquímico correspondiente a este cuerpo (ver ANEXO A) se presenta en el tramo 73,10 – 78,60. Este desplazamiento entre 10 y 15 metros en profundidad del cuerpo mineralizado en el esquema del perfil podría sugerir que la falla que

hospeda la Veta Interior es de carácter inverso y desplazaría el bloque yacente hacia arriba para que así el intercepto entre el sondaje EN-393-16 y la Veta Superior sea consistente con la información entregada en el análisis químico.

En la estimación preliminar de recursos inferidos de este prospecto cuprífero, y en base a lo observado en superficie y en el socavón minero, es posible determinar recursos inferidos de 5,16 Mt de andesitas porfíricas mineralizadas con una ley de 1,50% de CuT. Esta información, a pesar de ser de carácter preliminar y sólo constituir una primera aproximación de un nivel de confianza bajo, se estimó usando datos geoquímicos de muestras en superficie y en profundidad (sondajes), aunque sólo fue posible correlacionar dos cuerpos mineralizados con la mineralización observada en los sondajes (Veta Superior y Veta Interior). Esto fue usado en el cálculo de recursos para complementar los datos geoquímicos estadísticos obtenidos en superficie. Además, al cobre se puede agregar el contenido de plata que corresponde a un subproducto importante, en este caso, con una ley promedio ponderada de 8,2 g/ton. El contenido de oro, a pesar de ser discreto (ley promedio ponderada 0,32 g/ton), puede presentar contenidos importantes asociados al cobre, los que permitirían sumar este elemento como un subproducto adicional.

Los resultados de este trabajo presentan un potencial de cobre con plata y oro subordinados, los cuales en base a información recopilada en superficie, en el socavón minero y en sondajes, permitieron estimar alrededor de 5 Mt inferidas a una ley de 1,50% de CuT. A pesar de que se realizaron cinco sondajes durante la campaña del año 2016, sólo se pudieron identificar dos cuerpos mineralizados en ellos, las vetas Superior e Interior, interceptadas por el sondaje EN-393-16 en los tramos 73,10 – 78,60 metros y 177,75 – 179,95 metros, respectivamente, lo que acorde a la información de azimuth y ángulo de manteo del pozo y de los cuerpos mineralizados nos comprueba, que al menos, la Veta Superior posee 242 metros de profundidad y la Veta Interior 194 metros de profundidad (Figuras 3.41 y 3.42, respectivamente). Los demás sondajes no presentaron durante el mapeo características similares a las observadas en superficie para estos cuerpos mineralizados, y en las zonas donde los sondajes deberían haber cortado las proyecciones de los cuerpos, la mineralización observada durante el mapeo era despreciable o de poca importancia. Esto podría sugerir la presencia de nuevas vetas en profundidad, o también, que las vetas observadas en superficie se acuñan por movimientos de fallas que desplazan estos cuerpos mineralizados. Es por esto que para un mayor detalle de la ubicación de estos cuerpos se sugiere seguir realizando campañas de sondajes, donde una grilla de 50 metros con sondajes de alrededor de 300 metros de profundidad podría dar una aproximación tangible de la estimación de recursos de este prospecto cuprífero. Estas exploraciones avanzadas permitirán una mejor evaluación económica del prospecto para la toma de decisiones y definición de estrategias a futuro.



## 5 CONCLUSIONES

El prospecto cuprífero La Virtud – El Límite presenta características afines con los yacimientos vetiformes cupríferos emplazados en rocas volcánicas del Cretácico Inferior en la zona de Chile Central, con mineralización de Ag y Au subordinada. La mineralogía de mena se encuentra en forma de sulfuros hipógenos (calcopirita y bornita), sulfuros supérgenos (calcosina, digenita y covelina), minerales oxidados de cobre (atacamita, malaquita, azurita) y crisocola. No se observa presencia de minerales con Ag.

La alteración hidrotermal predominante en el prospecto es una alteración propilítica regional de bajo a muy bajo grado, caracterizada por la asociación mineral clorita-epidota-calcita-albita±cuarzo±jaspe, estando estos minerales de ganga también presente en las vetas mineralizadas. A esta alteración posteriormente se sobreimpone una argilización, la que se ubica preferentemente en vetas que contienen minerales oxidados de cobre, y en menos grado sulfuros hipógenos y supérgenos de cobre, y está constituida por pirolusita, goethita, hematita, jarosita, lepidocrosita y arcillas blancas. Esta alteración supérgena fue observada mediante sondajes hasta 30 metros de profundidad.

En la zona de estudio la mineralización está controlada por fallas con manteo hacia el W y SW que cortan y atraviesan las secuencias estratificadas. Estas fallas son de rumbo N-S y NW-SE, coincidiendo con el rumbo y control estructural de la mineralización de la mayoría de los yacimientos tipo vetiforme presentes en las cercanías de estas rocas volcánicas del Cretácico Inferior. Este depósito presentaría un origen hidrotermal ligado al emplazamiento de cuerpos intrusivos del Cretácico Inferior tardío – Cretácico Superior, representando probablemente un evento de mineralización del Cretácico Superior.

No existe presencia relevante de sulfuros supérgenos de cobre en la zona de estudio. Además, los minerales oxidados de cobre observados en el prospecto cuprífero (atacamita, azurita, crisocola, malaquita) presentan una depositación *in situ* o de poco transporte, lo cual se puede explicar por diversos factores: escaso contenido de sulfuros supérgenos, baja disponibilidad de pirita para producir soluciones ácidas lixiviantes y abundante ganga de calcita tanto en estructuras como en la masa fundamental de la roca, la cual neutralizó rápidamente las soluciones ácidas que se alcanzaron a producir e impidieron la lixiviación eficiente de cationes metálicos desde la zona oxidada hacia niveles más profundos.

En base a el muestreo de esquirlas de roca (*chip sampling*) en superficie y ensayos geoquímicos realizados durante la campaña de sondajes del año 2016, se definieron leyes promedio para los distintos cuerpos mineralizados. Estos 4 cuerpos identificados, Veta Superior, Veta Inferior, Veta Interior y Veta Principal Zona Norte, acorde a su geometría y ley promedio ponderada, presentan las siguientes características de potencial de recursos:

- Veta Superior: recursos inferidos de 2,16 Mt a una ley de 1,91% CuT; 9,24 g/ton Ag y 0,34 g/ton Au.
- Veta Inferior: recursos inferidos de 0,97 Mt a una ley de 1,8% CuT; 10,8 g/ton Ag y 0,43 g/ton Au.
- Veta Interior: recursos inferidos de 0,81 Mt a una ley de 1,87% CuT, 12,2 g/ton Ag y 0,58 g/ton Au.
- Veta Principal Zona Norte: recursos inferidos de 1,22 Mt a una ley de 0,33% CuT, 2 g/ton Ag y 0,05 g/ton Au.

Estos datos permiten concluir para el total del prospecto, y ponderando el tonelaje de los 4 cuerpos mineralizados por sus leyes de metal respectivas, que los recursos inferidos corresponden a 5,16 Mt de andesitas porfíricas mineralizadas con una ley de 1,50% de CuT, 8,2 g/ton de Ag y 0,32 g/ton de Au.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Åberg, G.; Aguirre, L.; Levi, B.; Nyström, J.O. 1984. Spreading-subsidence and generation of ensialic marginal basins: an example from early Cretaceous of central Chile. In *Marginal basins geology* (Kokelaar, B.P.; Howells, M.F.; editores). *Geological Society of London, Special Publication*, Vol. 16, p. 185-193.

Aguirre, L.; Levi, B.; Nyström, J.O. 1989. The link between metamorphism, volcanism and geotectonic setting during the evolution of the Andes. In *Evolution of metamorphic belts* (Daly, J.S.; Cliff, R.A.; Yardley, B.W.D.; editores). *Geological Society of London, Special Publication*, No. 43, p. 223-232.

Aguirre, L. 1993. Compositional variations of Cretaceous pumpellyites along the western margin of South America and their relation to an extensional geodynamic setting. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol. 11, p. 437-448.

Aguirre, L.; Féraud, G.; Morata, D.; Vergara, M.; Robinson, D. 1999. Time interval between volcanism and burial metamorphism and rate of basin subsidence in a Cretaceous Andean extensional setting. *Tectonophysics*, Vol. 313, p. 433-447.

Alvear, M. 2008. Distribución, especiación, solubilidad y límites de incorporación de metales preciosos (Au, Ag) en sulfuros de cobre en los depósitos estratoligados de cobre de la Cordillera de la Costa del norte de Chile, Región de Antofagasta. Memoria de Título Geólogo. Universidad de Chile. Departamento de Geología.

Anderson, J. 1982. Characteristics of leached capping and techniques of appraisal; in Tittley, Spencer R., ed., *Advances in the geology of the porphyry copper deposits*; Tucson, University of Arizona Press, p. 275-296.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [s.a.]. Clima y vegetación Región Metropolitana. [en línea] <<http://siit2.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>> [consulta: 29 de Junio 2016].

Boric, R.; Munizaga, F. 1994. Geocronología Ar-Ar y Rb-Sr del depósito estratoligado de cobre El Soldado (Chile central). *Comunicaciones-Universidad de Chile*, Vol. 2, p. 163-184. Adelaide.

Boric, R. 1997. Nuevos antecedentes sobre el modelo geológico del yacimiento de cobre El Soldado, Chile Central. 8° *Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, Chile, 2, 862–866.

Boric, R.; Holmgren, C.; Wilson, N. S. F.; Zentilli, M. 2002. The geology of the El Soldado manto-type Cu (Ag) deposit, central Chile. In *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits* (Porter, T. M.; editor): *A Global Perspective*, Vol. 2. PGC Publishing, Adelaide, 163–184.

Camus, F. 1986. Los yacimientos estratoligados de Cu, Pb-Zn y Ag de Chile. In: *Frutos, J. et al. (editores) Geología y recursos minerales de Chile, Editorial de la Universidad de Concepción*, p. 574-635.

Carter, W.D.; Pérez, E.; Aliste, N. 1961. Definition and age of Patagua Formation, Province of Aconcagua, Chile. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 45, p. 1892-1896.

Carter, W. 1961. Yacimientos de cobre tipo manto, su distribución en fajas mineralizadas, Provincia de Aconcagua (distrito Cabildo). *Instituto de Investigaciones Geológicas, (Chile), Boletín*, No. 10, 30 p.

Charrier, R.; Pinto, L.; Rodríguez, M. P.; Moreno, T.; Gibbons, W. 2007. The Geology of Chile. *The Geology of Chile*.

Chávez, W. 1983. The geologic setting of disseminated copper sulfide mineralization of the Mantos Blancos copper-silver district, Antofagasta Province, Chile. AIME Annual Meeting, Geology Section, AIME Preprint No. 193, 20 p. Atlanta.

Chávez, W. 1985. Geological setting and the nature and distribution of disseminated copper mineralization of the Mantos Blancos district, Antofagasta Province, Chile. PhD thesis, California University, Berkeley.

Chávez, W. X., 2000. Supergene oxidation of copper deposits: zoning and distribution of copper oxide minerals. *Soc. Econ. Geol. Newsl.* 41, 9-21.

Corvalán, J.; Munizaga, F. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*, No. 28. 40 p.

Dávila, A.; Galatzan, R. 1979. Geología y mineralización de Mina La Verde, Comuna de Hijuelas, Región de Valparaíso. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 1, p. 285-294. Arica.

Dávila, A.; Hervé, F.; Munizaga, F. 1979. Edades K-Ar en granitoides de la Cordillera de la Costa de la Provincia de Colchagua. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 1, p. 109-120. Arica.

ENAMI. 2007. Informe Minera Aurex Chile Ltda. Geología del Proyecto Naltahua. [en línea] <[http://www.enami.cl/images/stories/pdf/zonasurfinal/informe%20geologic o%20distrital%20naltahua\\_pub.pdf](http://www.enami.cl/images/stories/pdf/zonasurfinal/informe%20geologic o%20distrital%20naltahua_pub.pdf)> [consulta: 29 de Mayo 2017].

Espinosa, W. 1969. Geología del distrito cuprífero Cerro Negro. Memoria de Título, Universidad de Chile., Departamento de Geología., 148 p. Santiago.

Espinoza, S. 1982. Definición del tipo diseminado infravolcánico de sulfuros de cobre. *3° Congreso Geológico Chileno*, Concepción, Chile, 3, E201-E219

Espinoza, S.; Véliz, H.; Esquivel, J.; Arias, J.; Moraga, A. 1996. The Cupriferous Province of the Coastal Range, northern Chile. *In: Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*(Camus, F.; Sillitoe, R. H.; Petersen, R.; editores). Society of Economic Geologists, Special Publications, 5, 19–32.

Fuentes, F.; Féraud, G.; Aguirre, L.; Morata, D. 2005.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of volcanism and subsequent very low-grade metamorphism in a subsiding basin: example of the Cretaceous lava series from central Chile. *Chemical Geology*, Vol. 214, p. 157-177.

Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A.; Yañez, G. 1994a. Geología de la Cordillera de la Costa, regiones de Valparaíso y Metropolitana, al oeste de los  $71^{\circ}00'W$ . *In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas*, Vol. 1, p. 43-46. Concepción.

Gana, P.; Yañez, G.; Wall, R. 1994b. Evolución geotectónica de la Cordillera de la Costa de Chile Central ( $33^{\circ}$ - $34^{\circ}S$ ): control geológico y geofísico. *In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas*, Vol. 1, p. 38-42, Concepción.

Gana, P.; Wall, R.; Gutiérrez, A. 1996. Mapa Geológico del área de Valparaíso-Curacaví, Región de Valparaíso y Región Metropolitana. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos*, N°1, 20 p., escala 1:100.000. Santiago.

Gana, P.; Wall, R. 1997. Evidencias geocronológicas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K-Ar de un *hiatus* Cretácico superior-Eoceno en Chile Central ( $33^{\circ}$ - $33^{\circ}30'S$ ). *Revista Geológica de Chile*, Vol 24, No. 2, p. 145-163.

Gana, P.; Tosdal, R. 1996 Geocronología U-Pb y K-Ar en intrusivos del Paleozoico y Mesozoico de la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 23, No. 2, p. 151-164.

Gana, P.; Yañez, G.; Wall, R. 1994b. Evolución geotécnica de la Cordillera de la Costa de Chile Central ( $33^{\circ}$ - $34^{\circ}S$ ): control geológico y geofísico. *In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas*, Vol. 1, p. 38-42. Concepción.

Gana, P., Sellés, D., Wall, R. 1999. Área Tilttil – Santiago. Región Metropolitana. *Mapas Geológicos* No. 11, escala 1:100.000. Subdirección Nacional de Geología, Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.

Gana, P.; Zentilli, M. 2000. Historia termal y exhumación de intrusivos de la Cordillera de la Costa de Chile central. *In Congreso Geológico Chileno*, No. 9, Actas, Vol. 2, p. 664-668, Puerto Varas.

Godoy, E. 1981. Sobre la discordancia intrasenoniana y el origen de los depósitos de caolín de Montenegro, Región Metropolitana, Chile. *In Congreso Geológico Argentino*, No. 8, Actas., p. 233-241- San Luis.

Herm, D. 1965. Microfacies de algunos sedimentos calcáreos del Jurásico y Cretácico Inferior de Chile Central (Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes). (Abstract). *Sociedad Geológica de Chile, Resúmenes*, No. 11, p. 13-17, Santiago.

Hervé, F.; Munizaga, F.; Parada, M.A.; Brook, M.; Pankhurst, R.J.; Snelling, N.J.; Drake, R.E. 1988. Granitoids of the Coast Range of central Chile: Geochronology and geologic setting. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1, p. 185-194.

Holmgren, C. 1987. Antecedentes para un modelo genético del yacimiento El Soldado, V Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 30, 3–18.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*, No. 8, 95 p., 1 mapa ~1:140.000. Santiago.

Klohn, E.; Holgrem, C.; Ruge, H. 1990. El Soldado, a strata-bound copper deposit associated with alkaline volcanism in the central Chilean Coastal Range. *In Strata-bound Ore Deposits in the Andes* (Fontboté, L.; Amstutz, G. C.; Cardozo, M.; Cedillo, E.; Frutos, J.; editores). Springer, Berlin, 435–448.

Larson, R.I.; Pitman, W.C. 1972. World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies and its implications. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 83, p. 3645-3662.

Levi B (1968) Cretaceous volcanic rocks from a part of the Coast Range west from Santiago, Chile: A study on lithology variation and burial metamorphism in the Andean geosyncline. Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 121 p.

Levi, B. 1970. Burial metamorphic episodes in the Andean Geosyncline, Central Chile, *Geologische Rundschau*, vol. 59, p. 994-1013.

Levi, B., 1973. Eastward Shift of Mesozoic and Early Tertiary Volcanic Centers in the Coast Range of Central Chile. *The Geological Society of America*, vol. 84, No. 12, p. 3901-3910.

Levi, B.; Aguirre, I.; Nyström, J.O.; Padilla, H.; Vergara, M. 1989. Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. *Journal of Metamorphic Geology*, Vol7, p. 487-495.

Lindgren, W. 1933. *Mineral Deposits*. Fourth Edition, revised. New York, McGraw-Hill. 930 p.

Lortie, R, Clark, A. 1974. Strata-bound fumarolic copper deposits in rhyolitic lavas and ash-flow tuffs, Copiapó district, Atacama, Chile. *In* Problems of ore deposits, IAGOD Symposium, No. 4, Vol. 1, p. 256-264. Varna.

Luca, R.; Lopez, F.; Townley, B. 2015. Informe de Evaluación geológica de la Propiedad Minera La Virtud – El Límite. 52 p.

Maksaev, V. 2001. Procesos Supérgenos. [en línea]  
<<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>> [consulta: 27 Junio 2016].

Maksaev, V. 2001. Alteración hidrotermal – Texturas de menas y gangas. [en línea]  
<<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>> [consulta: 27 Junio 2016].

Maksaev, V. 2001. Depósitos estratoligados de Cu-(Ag) Chilenos. [en línea]  
<<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/metalogenesis.html>> [consulta: 27 Junio 2016].

Maksaev, V.; Townley, B.; Palacios, C.; Camus, F. 2007. The Geology of Chile. *The Geology of Chile*.

Marschik, R. & Fontboté, L. 2001a. The Candelaria-Punta del Cobre iron oxide Cu-Au(-Zn-Ag) deposits, Chile. *Economic Geology*, 96, 1799–1826.

Meyer, C. & Hemley, J.J. 1967. *En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edición*, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, 166-235.

Morata, D.; Vergara, M.; Aguirre, L.; Cembrano, J.; Puga. 1997. Chemical characteristics of metamorphic minerals in Lower Cretaceous basic flows from the Coast Range, Central Chile. *In International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG), No. 3, Extended Abstracts*, p. 605-608. Saint Malo.

Morata, D.; Aguirre, L.; Belmar, M.; Parada, M.A.; Hasler, K.; Morales, S. 2004. Genesis of the bimodal arc-related Lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range of Central Chile. In International Association of Volcanism and Chemistry of the Earth Interior (IAVCEI). General Assembly, Pucón.

Moscoso, R.; Padilla, H.; Rivano, S. 1982. Hoja Los Andes, Región de Valparaíso. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, Carta Geológica de Chile, No. 52, 67p.

Munizaga, F.; Vicente, J. C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (Lat. 32° -3 3° S): Datos Radiométricos K-Ar. *Revista Geológica de Chile*, No. 16, p. 3-21.

Munizaga, F.; Holmgren, C.; Huete, C.; Kawashita, K. 1988b. Geocronología de los yacimientos de cobre El Soldado y Lo Aguirre, Chile central: *In Congreso Geológico Chileno*, No. 5, Actas, Vol. 3, p. G177-G193. Santiago.

Muñoz Cristri, J.: Cofré, C; Thomas, Al. 1956. Estudio geológico de los yacimientos calizos "Universidad" (Inédito), Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, 81 p., Antofagasta.

Nasi, C. 1981. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sureste de Melipilla (Chile Central). Memoria de Título (Inédito). *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 246 p.

Nasi, C.; Thiele, R, 1982. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sur del río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). *Revista Geológica de Chile*, No. 16, pp. 81-99.

Oyarzún, J. 1994. Estudio geológico de las minas Consuelo y El Espino, distrito minero Naltagua, Región Metropolitana, Chile. Memoria de título *Universidad de Chile, Departamento de Geología*: 91 h + 1 h. Pleg, il byn; 20 planos pleg. En bolsillo, Santiago.

Oyarzún, J. 1985. La metallogenie andine: cadre geologique, petrologique et geochemique et essai d'interpretation. *Doctoral Thesis, Universite de Paris-Sud, Centre D'Orsay, France*, 864 p.

Palacios, C.; Definis, A. 1981. Petrología del yacimiento Buena Esperanza, II Región, Norte de Chile. *In: Primer Coloquio sobre Volcanismo y Metalogénesis*, Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, Antofagasta, Chile, 48–67.

Palacios, C.; Definis, A. 1981b. Geología del yacimiento estratiforme Susana, distrito Michilla, Antofagasta. *In: Primer Coloquio sobre volcanismo y metalogénesis*, Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, Antofagasta, Chile, 82–91.

Palacios, C. 1986. Subvolcanic copper deposits in the Coastal Range of northern Chile. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Stuttgart*, Teil I 1985, H.9/10, 1605–1615.

Parada, M.A. 1990. Granitoid plutonism in central Chile and its geodynamic implications; a review. *In: Kay, S.M., Rapela, C.M. (editors), Plutonism from Antarctica to Alaska*. Boulder, CO, *Geological Society of America, Special Paper*, Vol. 241, p. 51-66.

Parada, M. A.; Larrondo, P. 1999. Thermochronology of the Lower Cretaceous Caleu Pluton in the Coast range of Central Chile: Tectono-stratigraphic implications. *Proceedings of Fourth International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG)*, Goettingen, Germany, 563–566.



Parada, M. A.; Féraud, G.; Aguirre, L. *et al.* 2001a. U-Pb, 40Ar-39Ar and fission-track geochronology of the Early Cretaceous Caleu pluton and its volcanic envelope, Coastal Range of central Chile: tectonic and metamorphic implications. *III South American Symposium on Isotope Geology*, Sociedad Geológica de Chile, Santiago, Extended Abstract Volume, 612–615.

Pérez, L. E. 1970. Informe geológico: distrito minero cuprífero Panales de Maipú, Santiago. Memoria de Título (Inédito), Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, 81 p., Antofagasta.

Piráces, R. 1976. Estratigrafía de la Cordillera de la Costa entre Catapilco y Limache, Región de Aconcagua. Memoria de Título (Inédito), *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 118 p.

Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Puig, A. 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile* Vol. 24, p. 63-74.

Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Boric, R.; Espiñeira, D. 1993. *Hojas Quillota y Portillo*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Carta Geológica de Chile 73.

Rojas, N. 1971a. Posibilidades futuras de mina La Africana (Inédito), Instituto de Investigaciones Geológicas, 16 p.

Rojas, N. 1971b. Consideraciones generales acerca de la génesis del yacimiento de cobre La Africana (Inédito), Instituto de Investigaciones Geológicas, 13 p.

Ruge, H. 1985. Geología y mineralización del yacimiento de cobre El Soldado, V Región, Chile. *4° Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, Chile, 4, 3854–3872.

Ruiz, C.; Aguirre, L.; Corvalán, J.; Klohn, C.; Klohn, E.; Levi, B. 1965. *Geología y yacimientos metalíferos de Chile*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.

Saric, N., 1978. Geología y mineralización del yacimiento La Africana. *Revista Geológica de Chile*, No. 6, p. 31-40.

Saric, N.; Kreft, C.; Huete, C. 2003. Geología del yacimiento Lo Aguirre. *Revista Geológica de Chile*, 30, 317–331.

Sellés, D.; Gana, P. 2001. Mapa Geológico del área de Talagante - San Francisco de Mostazal, Regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica, No. 74, 33 p., escala 1:100.000. Santiago.

SERPLAC/MINMETAL. 1979. Inventario de los yacimientos minerales metálicos y no metálicos de la Región Metropolitana, Santaigo. Secretaría Regional de Planificación y Coodinación Minera Metalúrgica, Vols. 6-12.

Sillitoe, R. 1992. Gold and copper Metallogeny of the central Andes: Past, present and future exploration objectives. *Econ. Geol.* Vol. 87, pp. 2205-2216.

Sociedad Minera Pudahuel Ltda. Y Compañía CPA. 1994. Geología distrital Lo Aguirre. Informe interno, 46 p, 2 mapas escala 1:10.000.

Surján, M. 2009. Geología, Alteración Hidrotermal y Mineralización en el Prospecto Cuprífero Cerro Oveja, Comuna de Isla de Maipo, Región Metropolitana. Memoria de Título, *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 90 p.

Tavera, J. 1952. Informe sobre material de fósiles muestreados en calizas de la cuesta Lo Prado (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 1p., Santiago.

Thomas, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta Barriga. *Instituto de Investigaciones Geológicas*, Boletín, No. 2, 86 p. 2 Mapas.

Trask, F. 1962. Reporto on Santo Cristo Mine, Santiago Province. El Salvador: Andes Copper Mining Co. (Inédito), 2p.

Vergara, M.; Drake, R. 1979. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol. 34, p. 42-52.

Vergara, M.; Levi, B.; Cancino, A. 1995. Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension and subsidence in the coast range of Central Chile. *Geological Society of American Bulletin*, vol 107, pp. 1427-1440.

Vergara, M; Nyström, J.O. 1996. Geochemical features of Lower Cretaceous back-arc lavas in the Andean Cordillera, Central Chile (31°-34°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 23, No. 1, p. 97-106.

Vila, T.; Lindsay, N.; Zamora, R. 1996. Geology of the Manto Verde copper deposit, northern Chile: a specularite-rich, hydrothermal-tectonic breccia related to the Atacama Fault Zone. *In Andean Copper Deposits (Camus, F., Sillitoe, R. H. & Petersen, R.; editores): New Discoveries, Mineralization Styles and Metallogeny. Society of Economic Geologists, Special Publication 5*, 157–170.

Wall, R.; Gana, P.; Gutiérrez, P. 1996. Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos*, No. 2, 20 p., escala 1:100.000. Santiago.

Wilson, N. S. F. & Zentilli, M. 1999. The role of the organic matter in the genesis of El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Economic Geology*, 94, 1115–1136.

Wilson, N. S. F.; Zentilli, M.; Reynolds, P. H.; Boric, R. 2003a.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of K-feldspar from the El Soldado manto-type copper deposit, Chile. *Chemical Geology, Isotope Geoscience*, 197, 161–176.

Yáñez, G.; Gana, P.; Fernández, R. 1998. Origen y significado geológico de la Anomalía Melipilla, Chile central. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 25, No. 2, p. 175-198.

Yáñez, G.; Ranero, C.; von Huene, R.; Díaz, J. 2001. Magnetic anomaly interpretation across southern Central Andes (32°-33.5°S): the role of the Juan Fernández ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, p. 6325-6345.

Zamora, R. & Castillo, B. 2001. Mineralización de Fe-Cu-Au en el Distrito Manto Verde, Cordillera de la Costa, III Región de Atacama, Chile. *ProEXPLO 2001, II Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, Lima Perú*.

## **7 ANEXOS**

## ANEXO A. RESULTADOS ENSAYO GEOQUÍMICO

**Sondaje EN-393-16. Coordenadas UTM 324.008E, 6.290.128N  
(Datum WGS 1984 Zona 19S).**

**Longitud: 260 m.**

**Azimut: 90°.**

**Inclinación inicial: -60°.**

MUESTRA	Desde	Hasta	Au (ppm) FA-AAS	Ag (ppm) 3ACID-AAS	Cu (%) 3ACID-AAS	Cu (%) LIX-AAS
10654	73,10	74,10	0.02	5.3	0.732	0.122
10655	74,10	74,70	<0.01	0.1	0.021	
10656	74,70	75,60	0.05	2.7	0.244	
10657	75,60	76,50	0.03	0.6	0.031	
10658	76,50	77,10	0.02	0.5	0.024	
10659	77,10	78,60	0.05	21.9	1.895	0.148
10660	78,60	79,60	<0.01	0.6	0.010	
10661	79,60	80,60	<0.01	0.7	0.008	
10662	86,50	87,50	<0.01	0.5	0.005	
10663	87,50	88,50	<0.01	0.5	0.004	
10664	88,50	89,50	<0.01	0.9	0.013	
10665	89,50	90,50	<0.01	0.6	0.011	
10666	90,50	91,50	<0.01	0.5	0.032	
10667	91,50	92,50	<0.01	0.2	0.014	
10668	92,50	93,50	<0.01	0.4	0.007	
10669	93,50	94,40	<0.01	0.3	0.024	
10670	94,40	95,40	0.26	0.4	0.189	
10671	95,40	96,40	<0.01	0.3	0.009	
10672	96,40	97,40	<0.01	0.2	0.021	
10673	102,20	103,20	<0.01	0.4	0.015	
10674	103,20	104,20	<0.01	0.4	0.018	
10675	104,20	105,20	<0.01	0.4	0.068	
10676	105,20	106,20	<0.01	<0.1	0.003	
10677	106,20	107,20	<0.01	0.6	0.045	
10678	117,00	118,00	<0.01	0.3	0.016	
10679	118,00	119,00	<0.01	0.5	0.026	
10680	119,00	120,00	0.02	3.0	0.519	0.088
10681	120,00	121,00	<0.01	2.1	0.293	
10682	121,00	122,00	<0.01	0.9	0.082	
10683	122,00	123,00	<0.01	1.9	0.245	
10684	123,00	124,00	<0.01	1.7	0.211	
10685	124,00	125,00	<0.01	2.3	0.319	
10686	125,00	126,00	<0.01	1.2	0.134	

10687	126,00	127,00	<0.01	0.6	0.085	
10688	127,00	128,00	<0.01	0.1	0.014	
10689	128,00	128,60	<0.01	0.6	0.089	
10690	128,60	129,60	<0.01	9.1	1.008	0.099
10691	129,60	130,60	<0.01	0.4	0.064	
10692	130,60	131,60	<0.01	0.4	0.065	
10693	131,60	132,60	<0.01	0.5	0.065	
10694	137,20	138,20	<0.01	0.5	0.111	
10695	138,20	139,20	<0.01	0.5	0.022	
10696	139,20	140,00	<0.01	0.4	0.269	
10697	140,00	140,80	0.12	0.7	0.299	
10698	140,80	141,80	<0.01	0.3	0.016	
10699	141,80	142,80	<0.01	0.3	0.034	
10700	142,80	143,60	<0.01	0.4	0.121	
10701	143,60	144,60	<0.01	0.5	0.008	
10702	144,60	145,60	<0.01	0.4	0.009	
10703	145,60	146,60	<0.01	0.4	0.004	
10704	153,50	154,50	<0.01	0.3	0.001	
10705	154,50	155,50	<0.01	0.3	<0.001	
10706	155,50	156,50	<0.01	0.5	0.125	
10707	156,50	157,50	<0.01	0.2	0.039	
10708	157,50	158,50	<0.01	0.2	0.054	
10709	158,50	159,50	<0.01	0.3	0.025	
10710	167,40	168,40	<0.01	<0.1	0.001	
10711	168,40	169,40	<0.01	<0.1	0.002	
10712	169,40	170,40	<0.01	0.4	0.007	
10713	170,40	171,40	<0.01	0.3	0.001	
10714	171,40	172,40	<0.01	<0.1	<0.001	
10715	175,80	176,75	<0.01	0.3	0.002	
10716	176,75	177,75	<0.01	<0.1	0.002	
10717	177,75	178,50	0.05	0.6	0.180	
10718	178,50	179,30	7.56	1.4	0.592	0.008
10719	179,30	179,95	0.09	0.9	0.524	0.012
10720	179,95	180,95	<0.01	<0.1	0.010	
10721	180,95	181,95	<0.01	<0.1	0.003	
10722	217,00	218,00	<0.01	0.4	0.003	
10723	218,00	219,00	<0.01	<0.1	0.003	
10724	219,00	220,00	<0.01	0.2	0.094	
10725	220,00	221,00	<0.01	0.5	0.008	
10726	221,00	222,00	<0.01	0.2	0.020	
10727	229,20	230,20	<0.01	0.5	0.014	
10728	230,20	231,20	<0.01	0.2	0.005	
10729	231,20	232,20	<0.01	0.6	0.083	
10730	232,20	233,20	<0.01	0.3	0.029	
10731	233,20	234,20	<0.01	0.5	0.008	

10732	234,20	235,20	<0.01	0.1	0.018	
10733	235,20	236,20	<0.01	<0.1	0.004	
10734	236,20	237,20	0.05	<0.1	0.011	
10735	237,20	238,20	<0.01	0.4	0.011	
10736	238,20	239,20	<0.01	0.5	0.024	
10737	239,20	240,20	<0.01	0.1	0.053	
10738	240,20	241,20	<0.01	0.1	0.033	
10739	241,20	242,00	<0.01	<0.1	0.003	
10740	242,00	243,00	<0.01	<0.1	0.013	
10741	243,00	244,00	<0.01	<0.1	<0.001	
10742	244,00	245,00	<0.01	<0.1	<0.001	
10743	245,00	246,00	<0.01	<0.1	0.001	
10744	246,00	247,00	<0,01	<0,1	0,181	
10745	247,00	248,00	0.02	0.2	0.015	
10746	248,00	249,00	<0.01	0.9	0.034	
10747	249,00	250,00	<0.01	0.5	0.032	
10748	250,00	251,00	<0.01	0.2	0.010	
10749	251,00	252,00	<0.01	0.4	0.006	
10750	252,00	253,00	<0.01	<0.1	0.005	
10751	253,00	254,00	<0.01	0.2	0.002	
10752	254,00	255,00	<0.01	<0.1	0.012	
10753	255,00	256,00	<0.01	<0.1	0.006	
10754	256,00	257,00	<0.01	0.1	0.003	
10755	257,00	258,00	<0.01	0.1	0.005	
10756	258,00	259,00	<0.01	<0.1	0.004	
10757	259,00	260,00	<0.01	0.2	0.009	
10758	260,00	261,00	<0.01	<0.1	0.015	
10759	261,00	262,00	<0.01	<0.1	0.019	
10760	262,00	263,00	<0.01	<0.1	0.007	
10761	263,00	264,20	<0.01	<0.1	0.013	

## **ANEXO B. DESCRIPCIÓN SECCIONES TRANSPARENTES Y PULIDAS TRANSPARENTES**

Durante la campaña de muestreo en terreno y la campaña de mapeo de sondajes, se realizaron cortes transparentes y pulidos de 20 muestras de mano de roca, las que dependiendo del código tienen la siguiente clasificación:

Las catalogadas con el código EN-395-16-X corresponden a muestras del sondaje EN-395-16 en distintos tramos de profundidad, donde X corresponde al número de la muestra, cuyo valor va entre 1 y 5.

Las catalogadas con el código GX-MY corresponden a muestras recolectadas durante la campaña de terreno del ramo Geología Económica, semestre Otoño 2016, entre los días 25 y 29 de abril, donde X corresponde al número del grupo, cuyo valor puede ser 1 o 2, e Y corresponde al número de muestra, cuyo valor puede ser 1, 2, 7, 11, 13, 15, 16, 17, 23, 25 o 27, dependiendo de la muestra.

Las catalogadas con el código LV-XX corresponden a muestras recolectadas durante la campaña de terreno del 29 de diciembre de 2014 realizada por GeoAV S.A., donde XX corresponde al número de la muestra, cuyo valor puede ser 05, 08, 09 o 20, dependiendo de la muestra.

Los códigos de las muestras son los siguientes:

- EN-395-16-1 (UTM 324126 N/ 6290206 E)
- EN-395-16-2 (UTM 324126 N/ 6290206 E)
- EN-395-16-3 (UTM 324126 N/ 6290206 E)
- EN-395-16-4 (UTM 324126 N/ 6290206 E)
- EN-395-16-5 (UTM 324126 N/ 6290206 E)
- G1M1 (UTM 324389 N/ 6290221 E)
- G1M2 (UTM 324310 N/ 6290223 E)
- G1M7 (UTM 323305 N/ 6290578 E)
- G1M11 (UTM 324166 N/ 6289990 E)
- G1M13 (UTM 323664 N/ 6290310 E)
- G1M15 (UTM 323049 N/ 6290457 E)
- G1M16 (UTM 323049 N/ 6290457 E)
- G1M23 (UTM 323524 N/ 6290791 E)
- G1M25 (UTM 323559 N/ 6290756 E)
- G1M27 (UTM 323612 N/ 6290754 E)
- G2M17 (UTM 324130 N/ 6290209 E)
- LV-05 (UTM 324243 N/ 6290525 E)
- LV-08 (UTM 324274 N/ 6290326 E)
- LV-09 (UTM 324350 N/ 6290089 E)
- LV-20 (UTM 324426 N/ 6289984 E)



Las coordenadas se encuentran en Datum WGS 1984 Zona 19 S.  
 Las descripciones de las muestras son las siguientes:

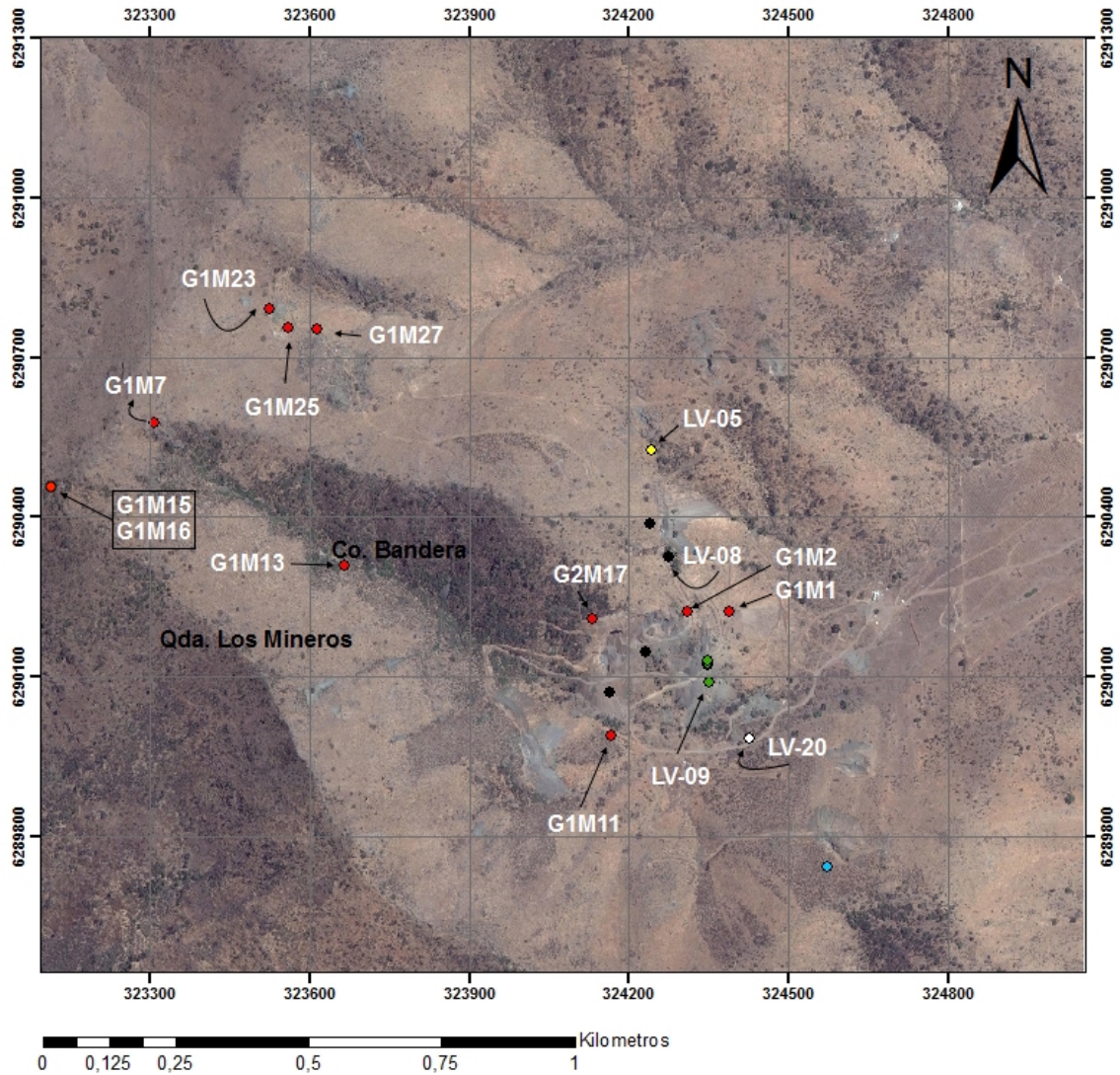


Figura 7.1. Ubicación muestras G1M1, G1M2, G1M7, G1M11, G1M13, G1M15, G1M16, G1M23, G1M25, G1M27, G2M17, LV-05, LV-08, LV-09 y LV-20 con coordenadas en UTM (Datum WGS 1984 Zona 19S).

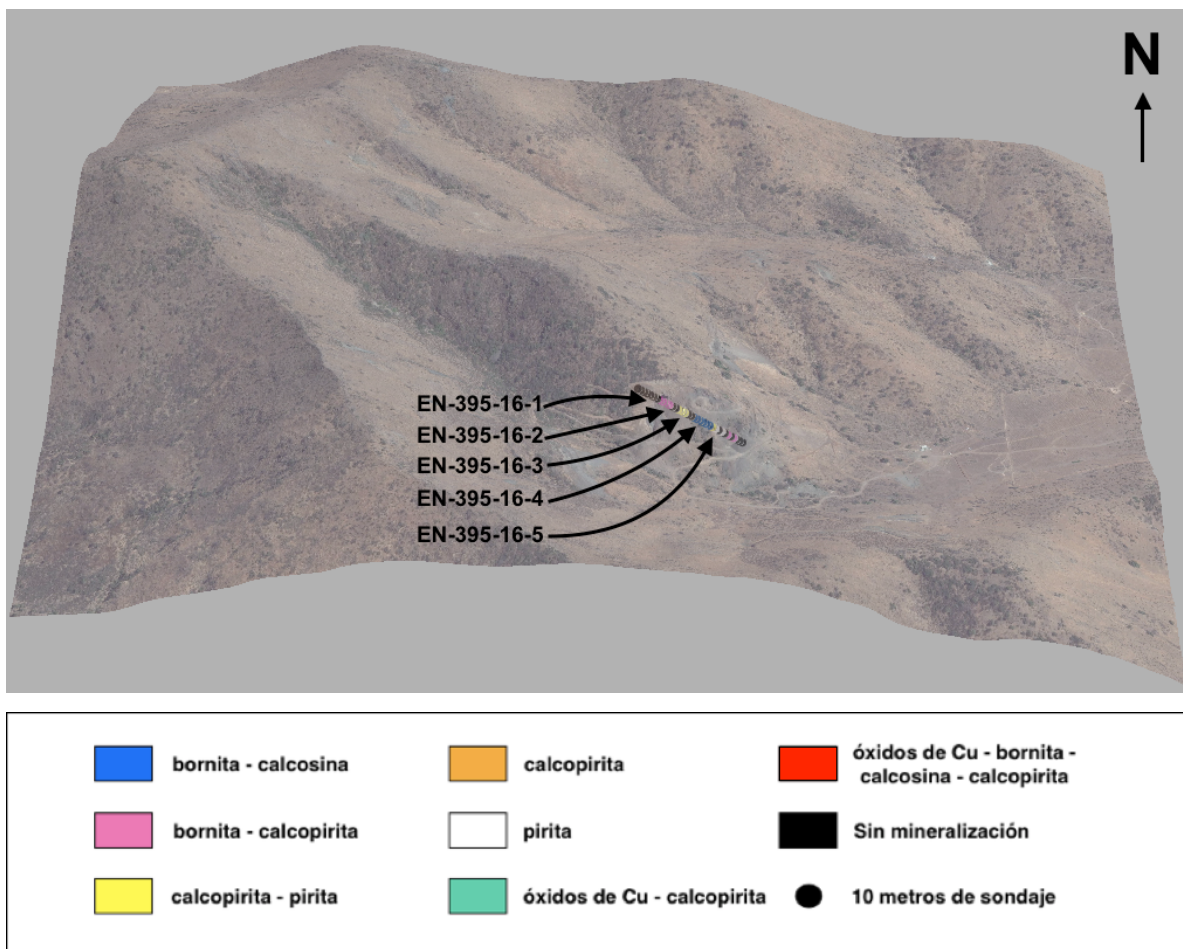


Figura 7.2. Ubicación muestras EN-395-16-1, EN-395-16-2, EN-395-16-3, EN-395-16-4 y EN-395-16-5.

### EN-395-16-1

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 55 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut  $55^{\circ}$  e inclinación inicial  $-45^{\circ}$ .

Andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa con forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. En zonas locales, los microlitos pueden presentar textura traquítica, indicando dirección de movimiento de flujo. Se observan cavidades irregulares rellenas con cuarzo y escasos parches de epidota reemplazando plagioclasas. En muestra de mano, los fenocristales presentan color rosado, posiblemente por microinclusiones de hematita en ellos. Esto fue comprobado mediante los reflejos internos rojos de los fenocristales observados mediante luz reflejada (Figura 7.3 D).

## EN-395-16-2

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 100 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut 55° e inclinación inicial -45°.

Andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa con forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. Además, puede observarse clorita en ciertos intersticios de la masa fundamental de la roca. Se observan vetillas de cuarzo o calcita-cuarzo, donde el cuarzo conforma una corteza exterior y la calcita el relleno interior (Figura 7.4 B). Los fenocristales presentan maclas polisintéticas, características de la albita. En muestra de mano, los fenocristales presentan color rosado, posiblemente por microinclusiones de hematita en ellos. Esto fue comprobado mediante los reflejos internos rojos de los fenocristales observados mediante luz reflejada (Figura 7.4 D).

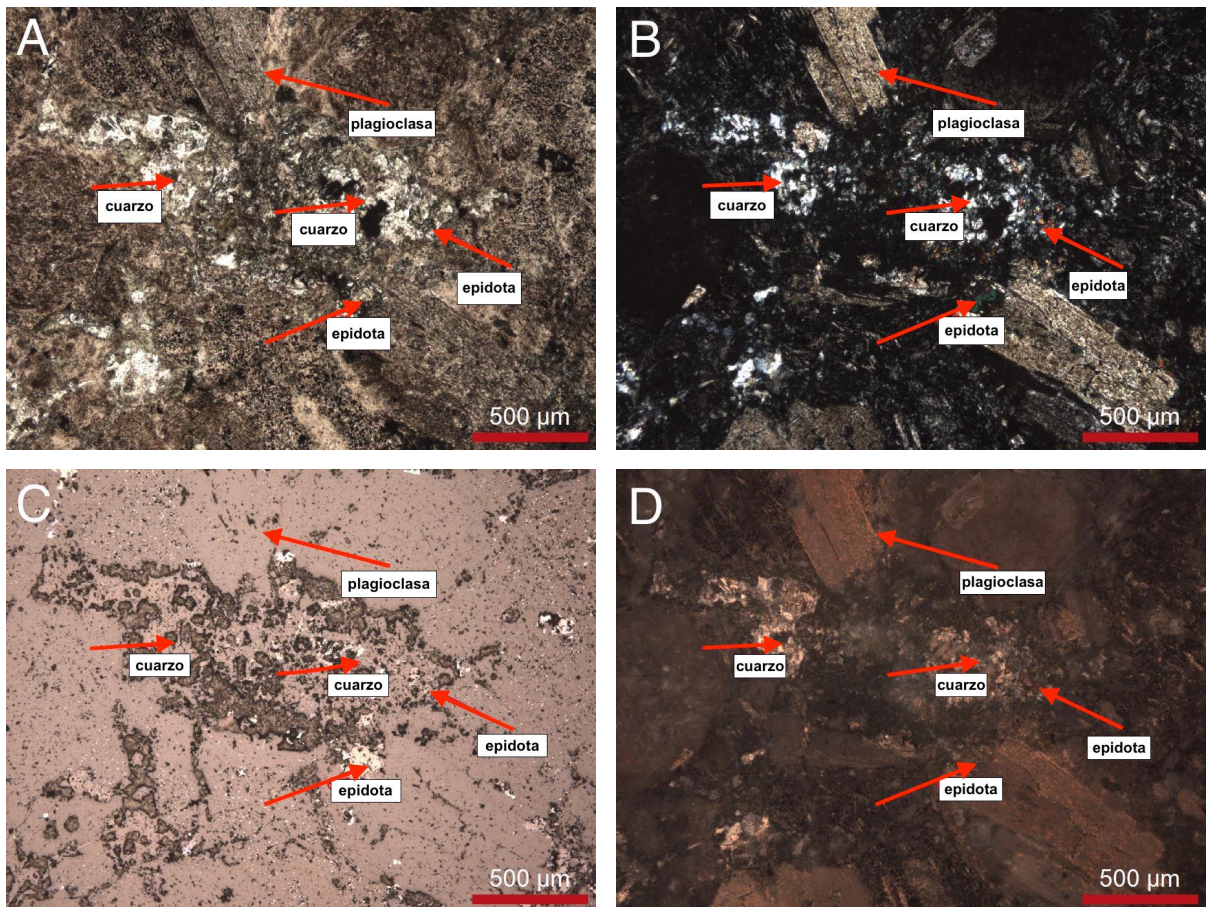


Figura 7.3. Muestra EN-395-16-1. Andesita porfírica con fenocristales rojizos de plagioclasa en muestra de mano. A) Cavity irregular con relleno de cuarzo y escasa epidota a Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a Luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados con el polarizador desajustado en 90 grados.

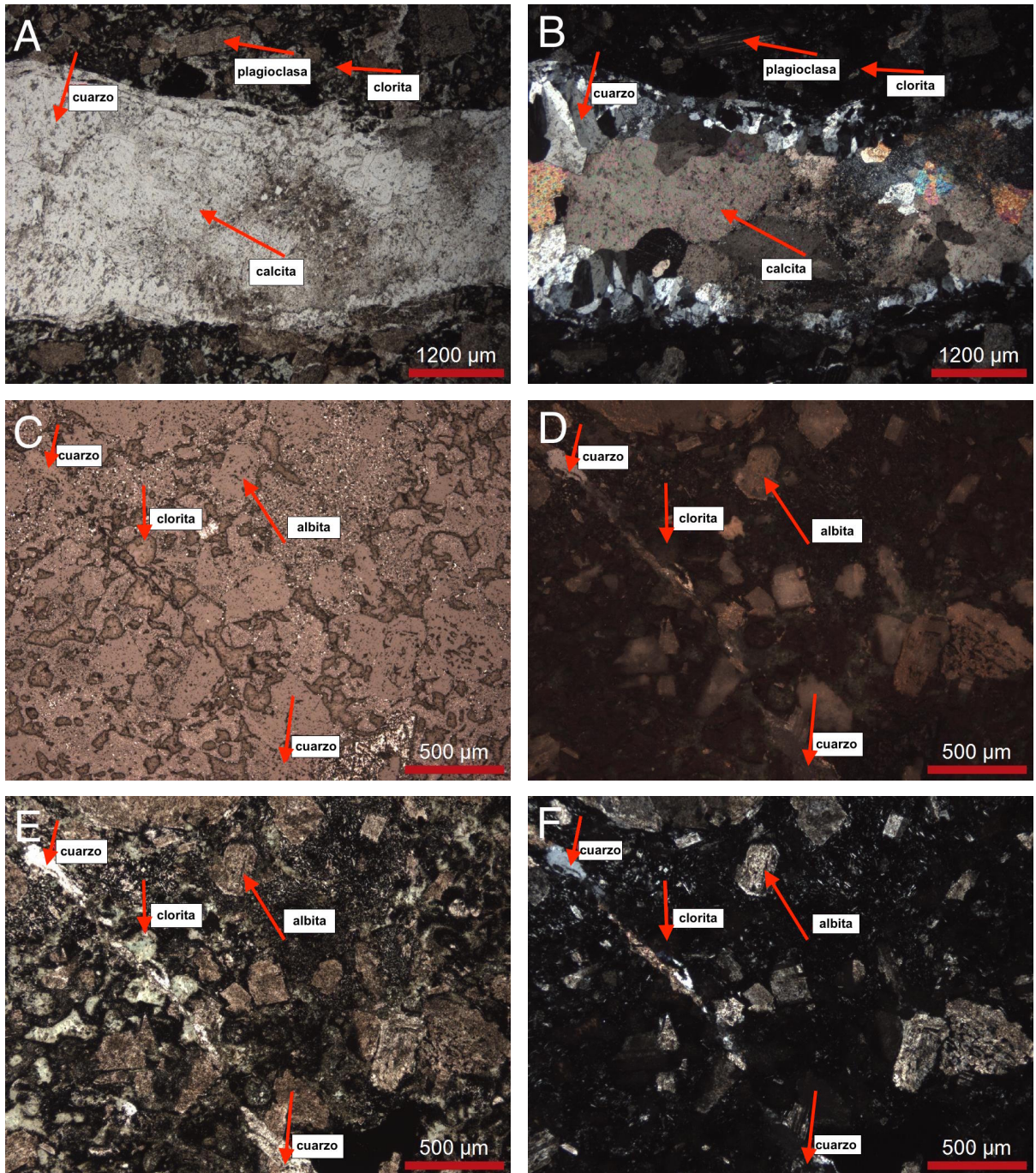


Figura 7.4. Muestra EN-395-16-2. Andesita porfírica con fenocristales rojizos de plagioclasa en muestra de mano. A) Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a Luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados con el polarizador desajustado en 90 grados. E) Nícoles paralelos. F) Imagen en E) a Nícoles cruzados.

### EN-395-16-3

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 150 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut  $55^\circ$  e inclinación inicial  $-45^\circ$ .

Andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa con forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. En zonas locales, los microlitos pueden presentar textura traquítica, indicando dirección de movimiento de flujo. Se observan vetillas de cuarzo-epidota con ambos minerales presentando entrecrecimiento en el espacio abierto (Figura 7.5 A y B). Los fenocristales presentan maclas polisintéticas, características de la albita.

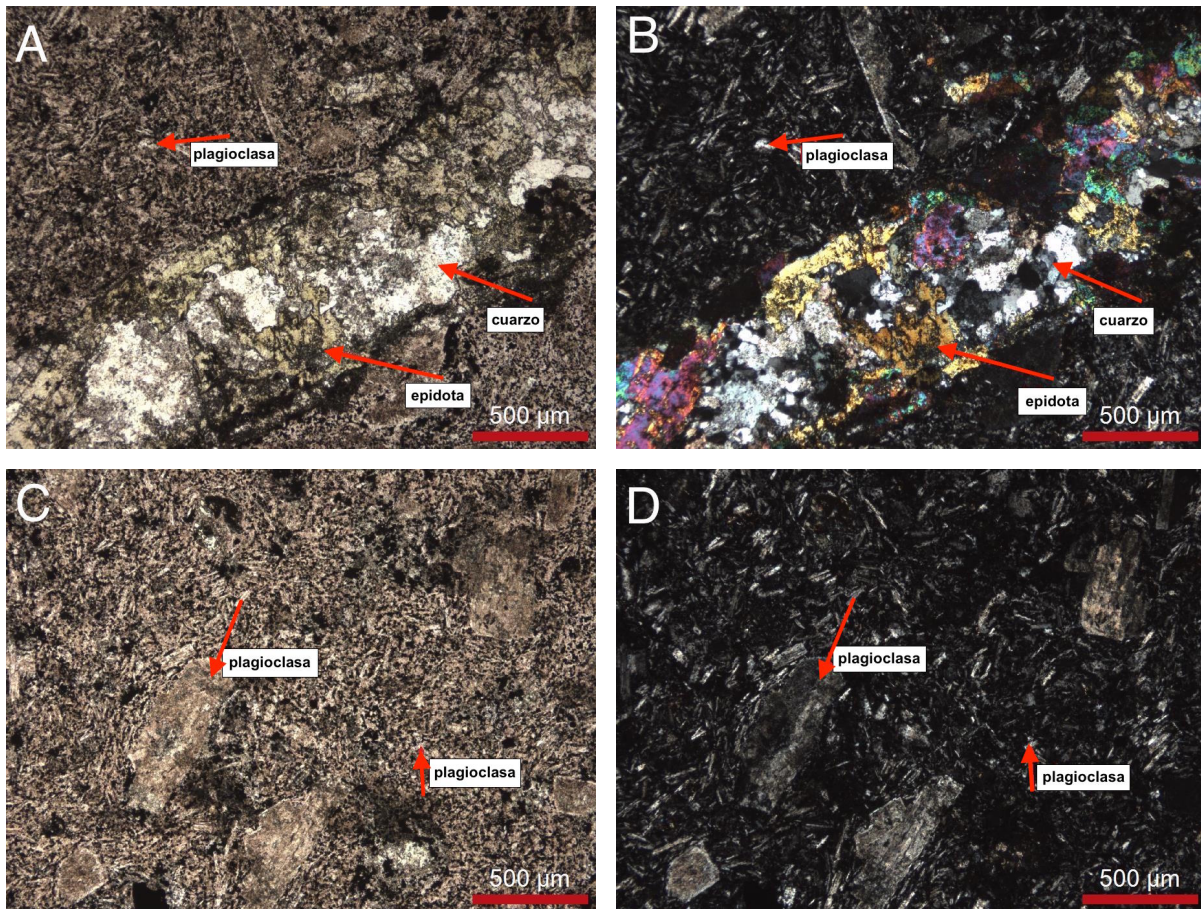


Figura 7.5. Muestra En-395-16-3. A) Vetilla de cuarzo-epidota. Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Textura intergranular y traquítica en masa fundamental de la roca. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados.

#### EN-395-16-4

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 200 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut  $55^\circ$  e inclinación inicial  $-45^\circ$ .

Andesita porfírica. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa

fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. En zonas locales, los microlitos pueden presentar textura traquítica, indicando dirección de movimiento de flujo. Se observa calcita rellenando vetillas en los espacios abiertos de la roca (Figura 7.6 A y B). Se observan granos aislados de pirita en la matriz de la roca, lo cual fue comprobado con el uso de luz reflejada en el microscopio (Figura 7.6 C y D).

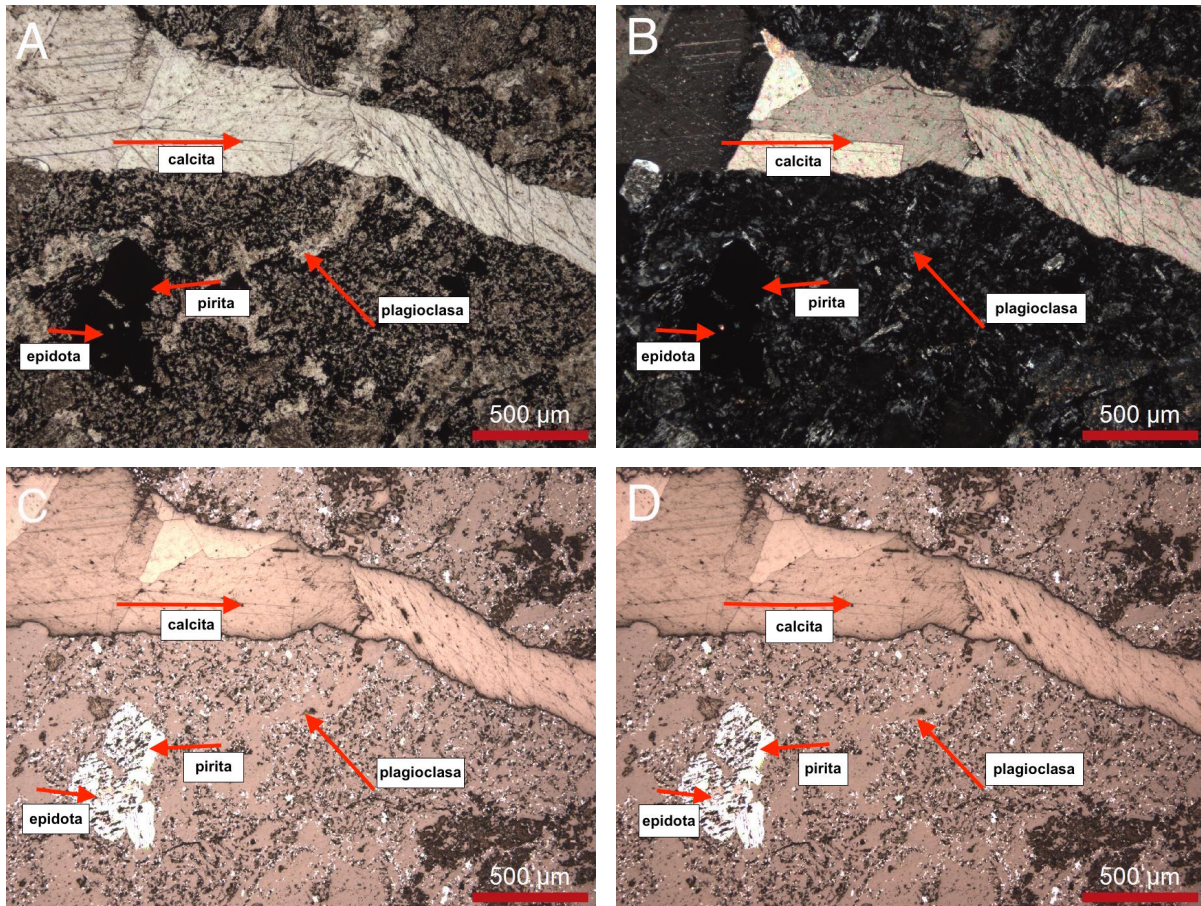


Figura 7.6. Muestra En-395-16-4. A) Vetilla de calcita en andesita porfírica. Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a luz reflejada. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados.

## EN-395-16-5

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 250 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut  $55^\circ$  e inclinación inicial  $-45^\circ$ .

Andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa con forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. Además, puede observarse clorita en ciertos intersticios de la masa fundamental de la roca. Se observan cavidades irregulares con rellenos de calcita-epidota o cuarzo tanto en la matriz como sobre

fenocristales de plagioclasa (Figura 7.7 A y B). En muestra de mano, los fenocristales presentan color rosado, posiblemente por la presencia de microinclusiones de hematita en ellos. Esto fue comprobado mediante los reflejos internos rojos de los fenocristales observados mediante luz reflejada (Figura 7.7 D).

## G1M1

Andesita porfírica con minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo. La Figura 7.8 A y B presenta una vetilla con crecimiento de malaquita entre los granos de cuarzo. Estos granos de cuarzo suelen observarse en muestra de mano con textura de peineta. Además, algunos de los cristales de cuarzo están fracturados, generando espacios abiertos aprovechados por la crisocola para precipitar. En la imagen C y D, se puede observar un espacio libre entre cristales de cuarzo donde se deposita atacamita, y crecimiento de crisocola y goethita en las fracturas de los granos minerales.

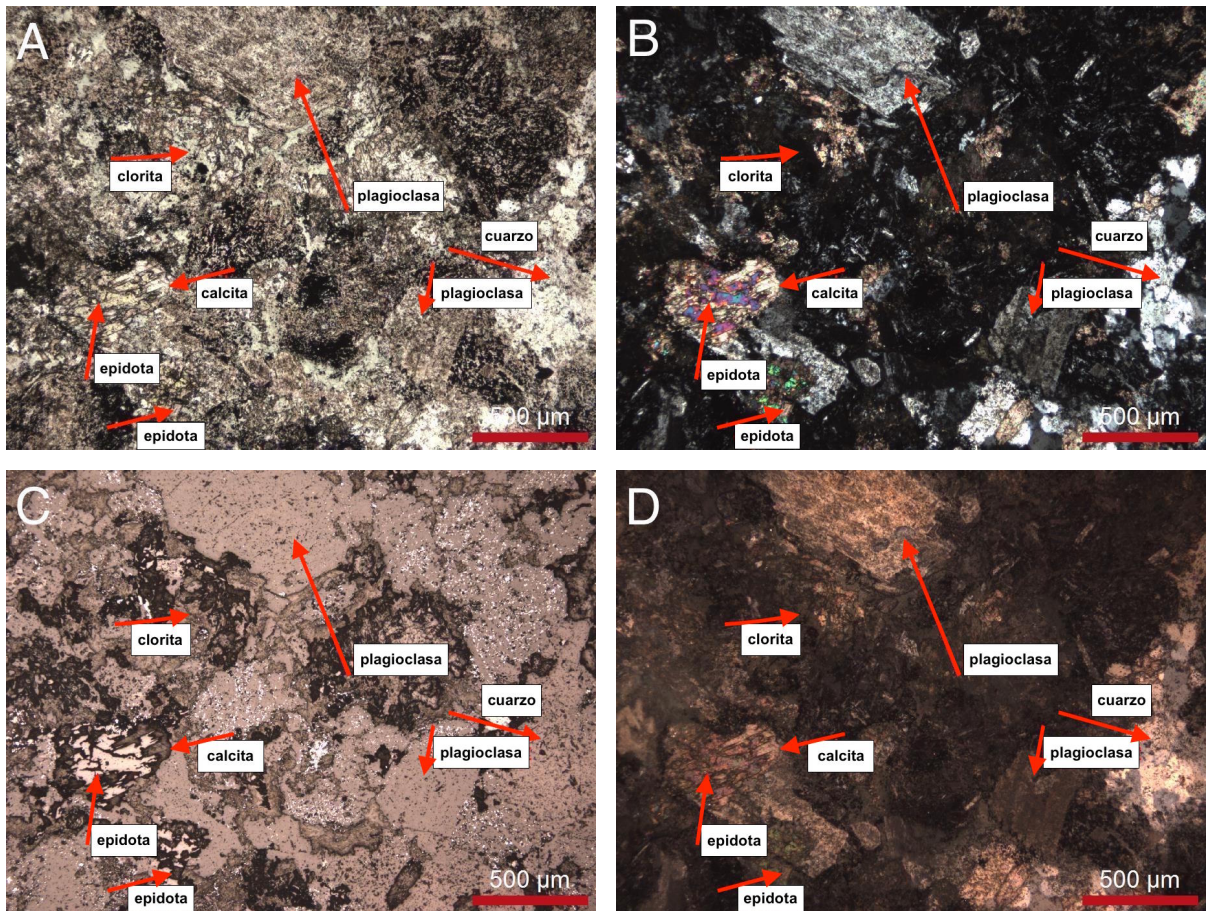


Figura 7.7. Muestra EN-395-16-5. Cavidades irregulares en matriz y sobre fenocristales en la roca. A) Nícoles paralelos. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos a luz reflejada. D) Nícoles cruzados a luz reflejada con el polarizador desajustado en 90 grados.

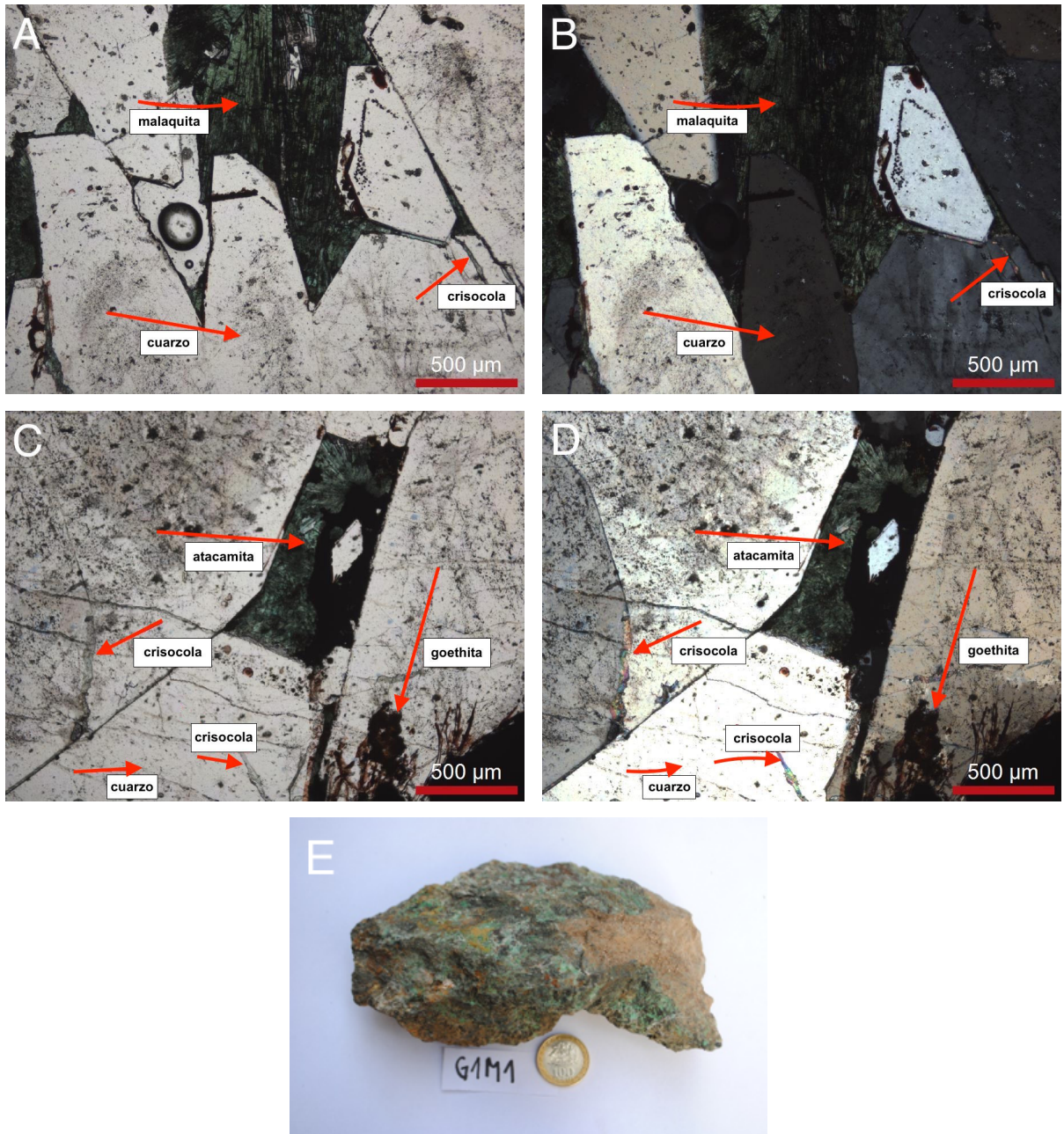


Figura 7.8. Muestra G1M1. Minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo con textura de peineta. A) Nícoles paralelos. Malaquita en intersticios de cristales de cuarzo y crisocola relleno algunas fracturas de estos cristales. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Atacamita en intersticios de cristales de cuarzo junto con crisocola y goethita relleno las microfracturas de estos cristales. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano.

## G1M2

Andesita porfírica con minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo. La Figura 7.9 muestra minerales oxidados de cobre creciendo en espacios intersticiales entre cristales de cuarzo que rellenan una vetilla. La malaquita se



presenta como agregados fibrosos aciculares, distinguiéndose de la atacamita por su extinción paralela a nícoles cruzados. También se puede observar goethita en escasos contenido entre cristales pequeños de cuarzo en la zona superior derecha e izquierda de la Figura 7.9.

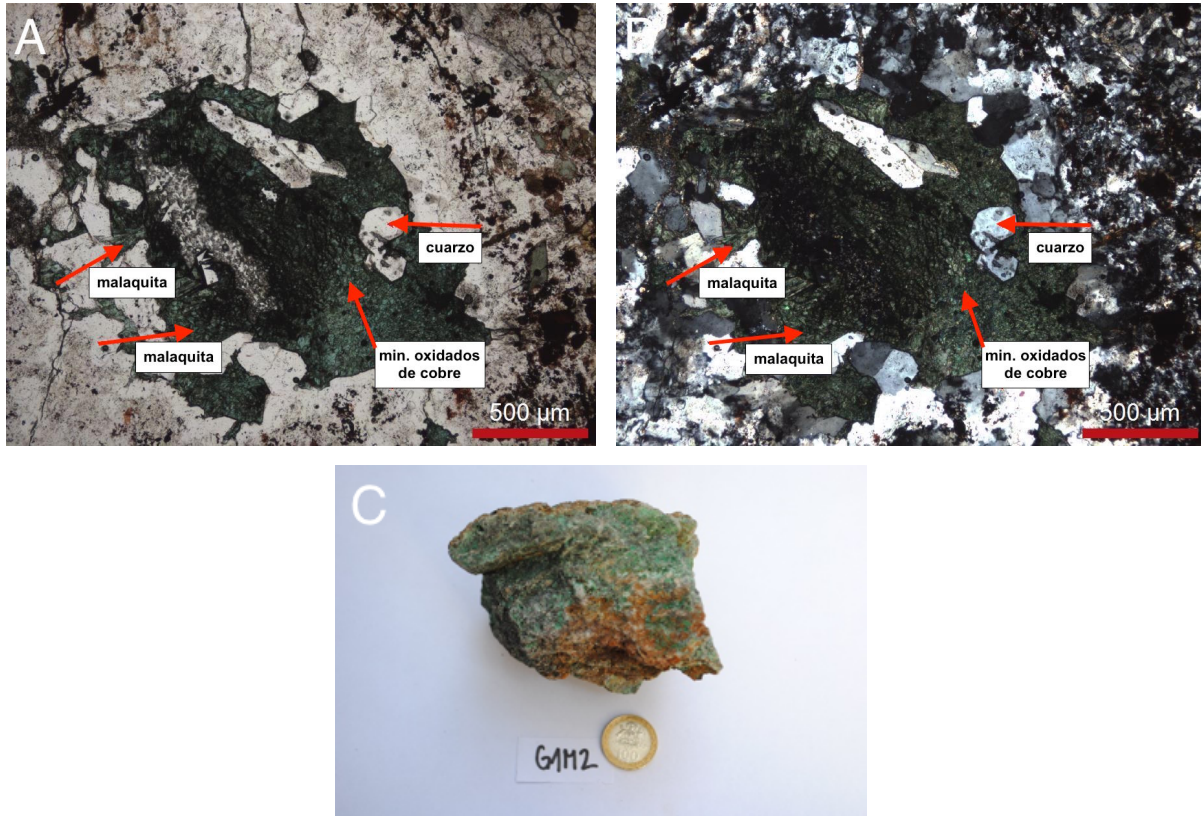


Figura 7.9. Muestra G1M2. Minerales oxidados de cobre en vetillas de cuarzo. A) Nícoles Paralelos. Se observa escaso contenido de goethita en fracturas de los cristales de cuarzo. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano.

## G1M7

Andesita porfírica con fenocristales de plagioclasa con forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. En zonas locales, los microlitos presentan textura traquítica, indicando dirección de movimiento de flujo. Se observa presencia de minerales de metamorfismo de muy bajo grado, en este caso, prehnita, rellenando amígdala con un borde externo de epidota. La mayoría de los fenocristales sin alteración presentan maclas polisintéticas, características de cristales de albita, mientras que los fenocristales alterados se encuentran reemplazados parcial a totalmente por epidota y otros presentan textura sieve, mostrando inclusiones vítreas en los granos de plagioclasa. La textura sieve indica un desequilibrio termodinámico entre el magma y el cristal que se puede asociar a despresurización, calentamiento y/o mezcla de magmas. A veces pueden

observarse granos de minerales opacos, posiblemente magnetita por su hábito cúbico.

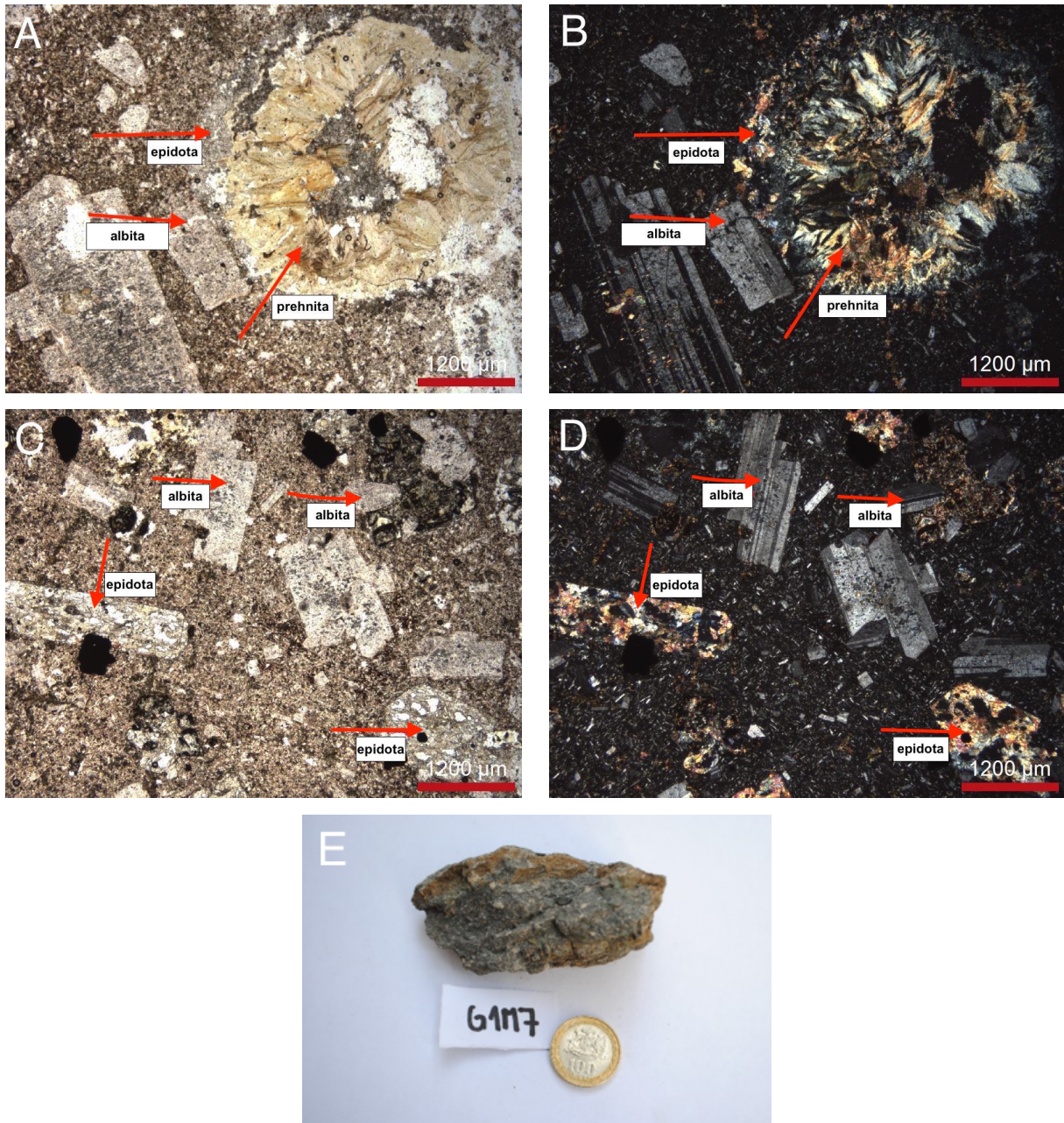


Figura 7.10. Muestra G1M7. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Fenocristales de plagioclasa con maclas polisintéticas junto amígdala rellena con epidota y prehnita insertos en una matriz con textura intergranularl de microlitos de plagioclasa y magnetita. B) Imagen en A) a Nícoles Cruzados. C) Nícoles Paralelos. Fenocristales inalterados y otros siendo reemplazados totalmente por epidota y mostrando textura sieve, indicando texturas de disequilibrio. D) Imagen en C) a Nícoles Cruzados. E) Muestra de mano.

## G1M11

Andesita porfírica cloritizada. Los fenocristales son de plagioclasa y en general muestran forma subhedral. La matriz está intensamente cloritizada y se observan escasos contenidos de goethita, posiblemente por meteorización superficial. A veces pueden observarse escasos cristales de magnetita.

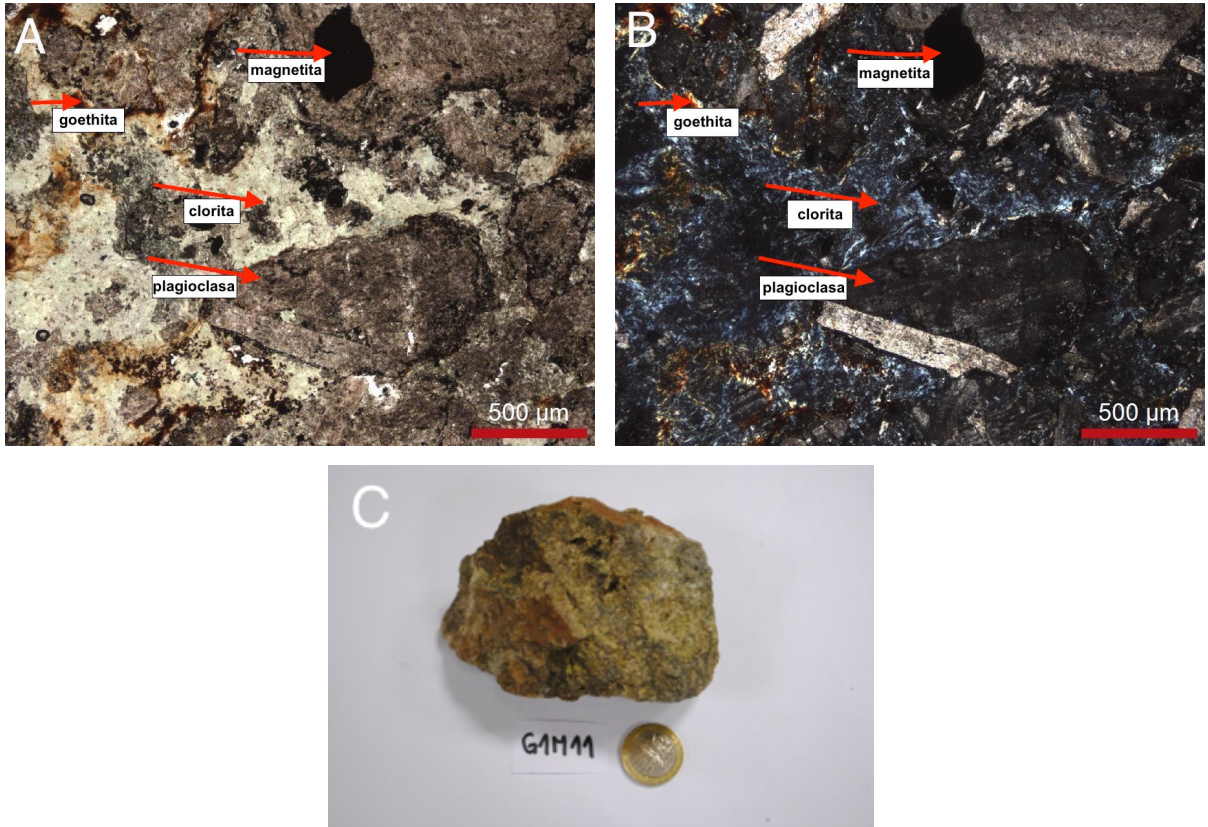


Figura 7.11. Muestra G1M11. Andesita porfírica cloritizada. A) Nícoles paralelos. Fenocristales subhedrales de plagioclasa insertos en una matriz intensamente cloritizada. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano.

## G1M13

Mineralización de oxidados de cobre en intersticios de vetillas de cuarzo. En los espacios libres de las vetillas precipitan minerales oxidados de cobre junto con goethita, al igual que en las muestras G1M1 y G1M2.

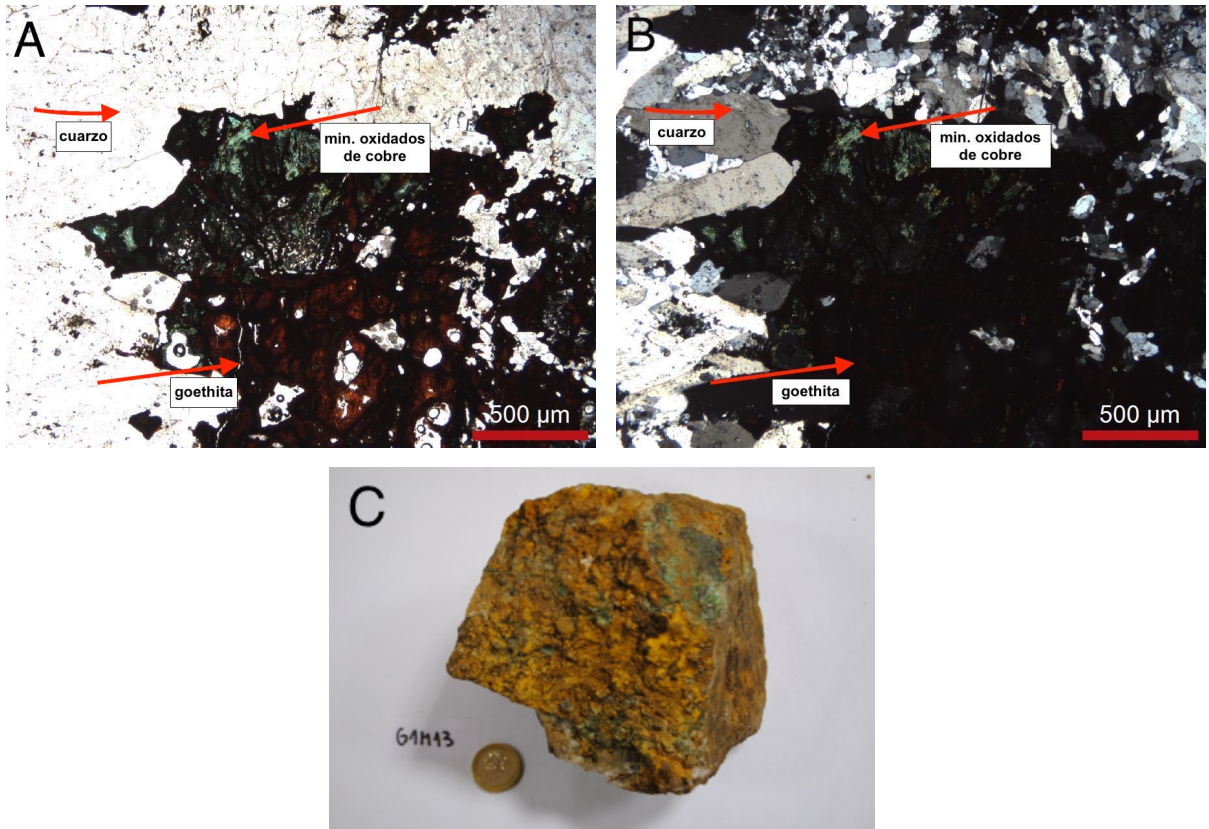


Figura 7.12. Muestra G1M13. Minerales oxidados de cobre en intersticios de vetillas de cuarzo. A) Nícoles paralelos. Minerales oxidados de cobre junto con goethita en espacios libres de vetillas de cuarzo. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano.

## G1M15

Brecha volcánica polimíctica. Los clastos corresponden a fragmentos de andesita porfírica con fenocristales subhedrales de plagioclasa y otros con cristales de plagioclasa con escasos reemplazos de epidota y presentan bordes sinuosos indicando texturas de desequilibrio. Estos fenocristales en ambos clastos están insertos en una matriz en su mayoría de microlitos de plagioclasa y en menor cantidad cristales de magnetita. Los clastos están en una matriz de textura intergranular, que corresponde a un agregado microcristalino de plagioclasa y magnetita.

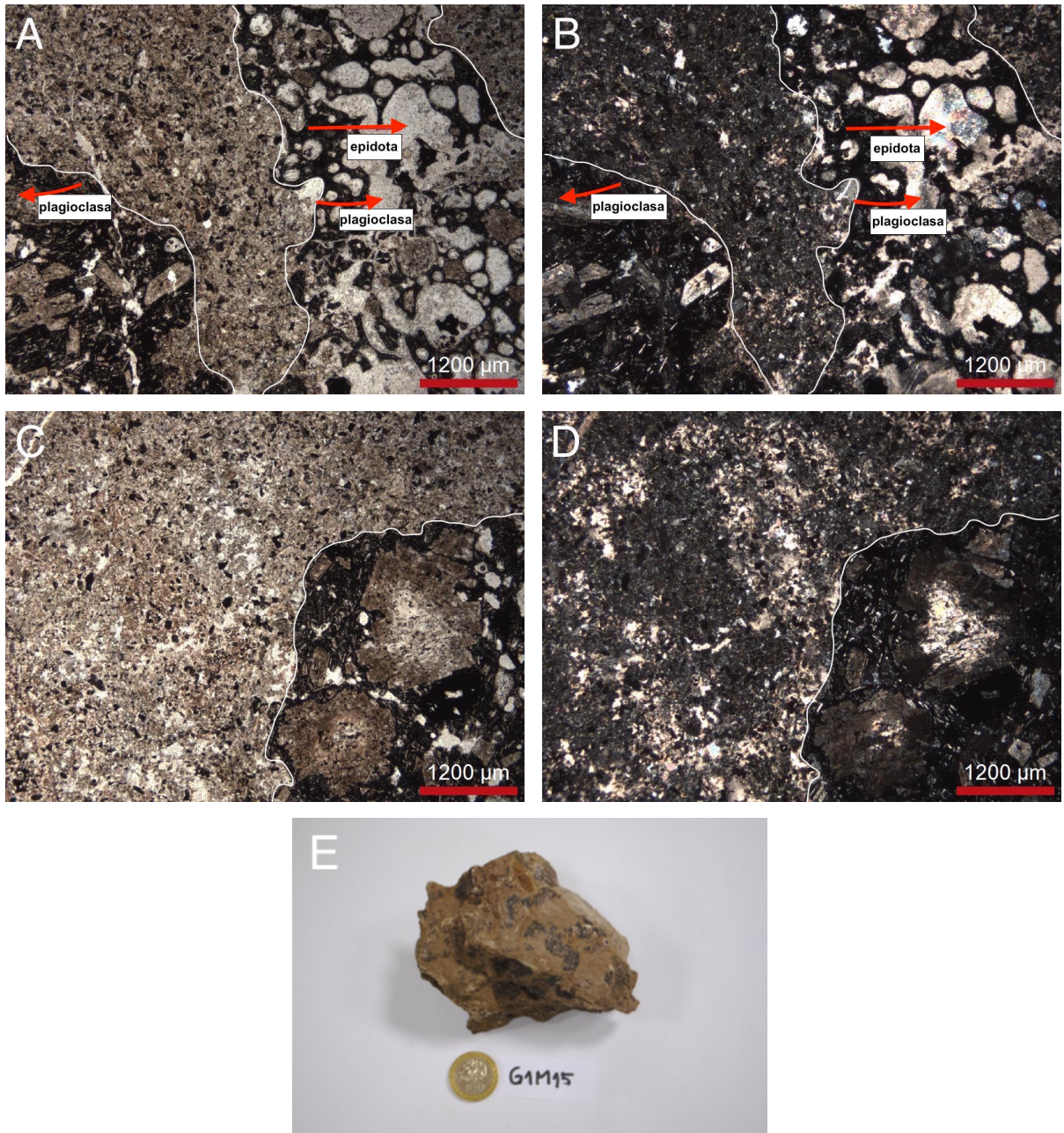


Figura 7.13. Muestra G1M15. Brecha volcánica polimíctica. A) Nícoles paralelos. Se observan los distintos clastos delimitados por líneas de color blanco donde unos muestran fenocristales subhedrales y otros presentan bordes sinuosos indicando texturas de desequilibrio. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Clasto con fenocristales subhedrales insertos en una matriz de textura intergranular, en su mayoría de microlitos de plagioclasa y en menor cantidad de cristales de magnetita. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano.

## G1M16

Toba cristalina. La roca está compuesta por cristales de plagioclasa, fragmentos de cristales de plagioclasa y magnetita. Se observan variaciones en los

tamaños de cristales y fragmentos de cristales, lo que en muestra de mano otorga una estratificación visible en la roca. En la Figura 7.14 se observa la diferencia de tamaños de cristales entre la parte superior e inferior del corte transparente.

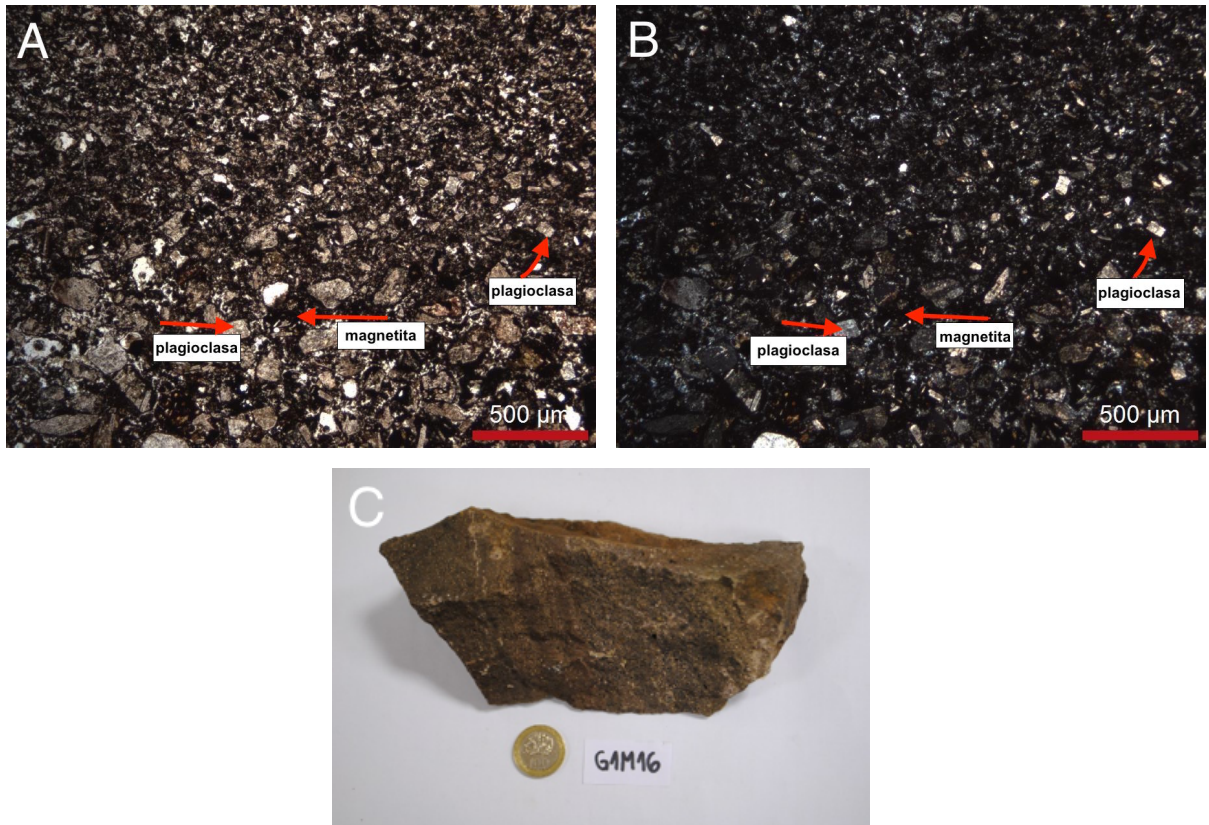


Figura 7.14. Muestra G1M16. Toba cristalina. A) Nícoles paralelos. La mitad superior de la imagen muestra tamaño menor de cristales y fragmentos de cristales de plagioclasa en comparación con la mitad inferior. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Muestra de mano.

## G1M23

Andesita porfírica. Los fenocristales son de plagioclasa y presentan forma subhedral a euhedral. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. En ciertas zonas se puede observar una escasa cloritización de la matriz y cavidades irregulares rellenas con calcita y bordes externos externos con cuarzo, como se puede observar en la Figura 7.15 A y B.

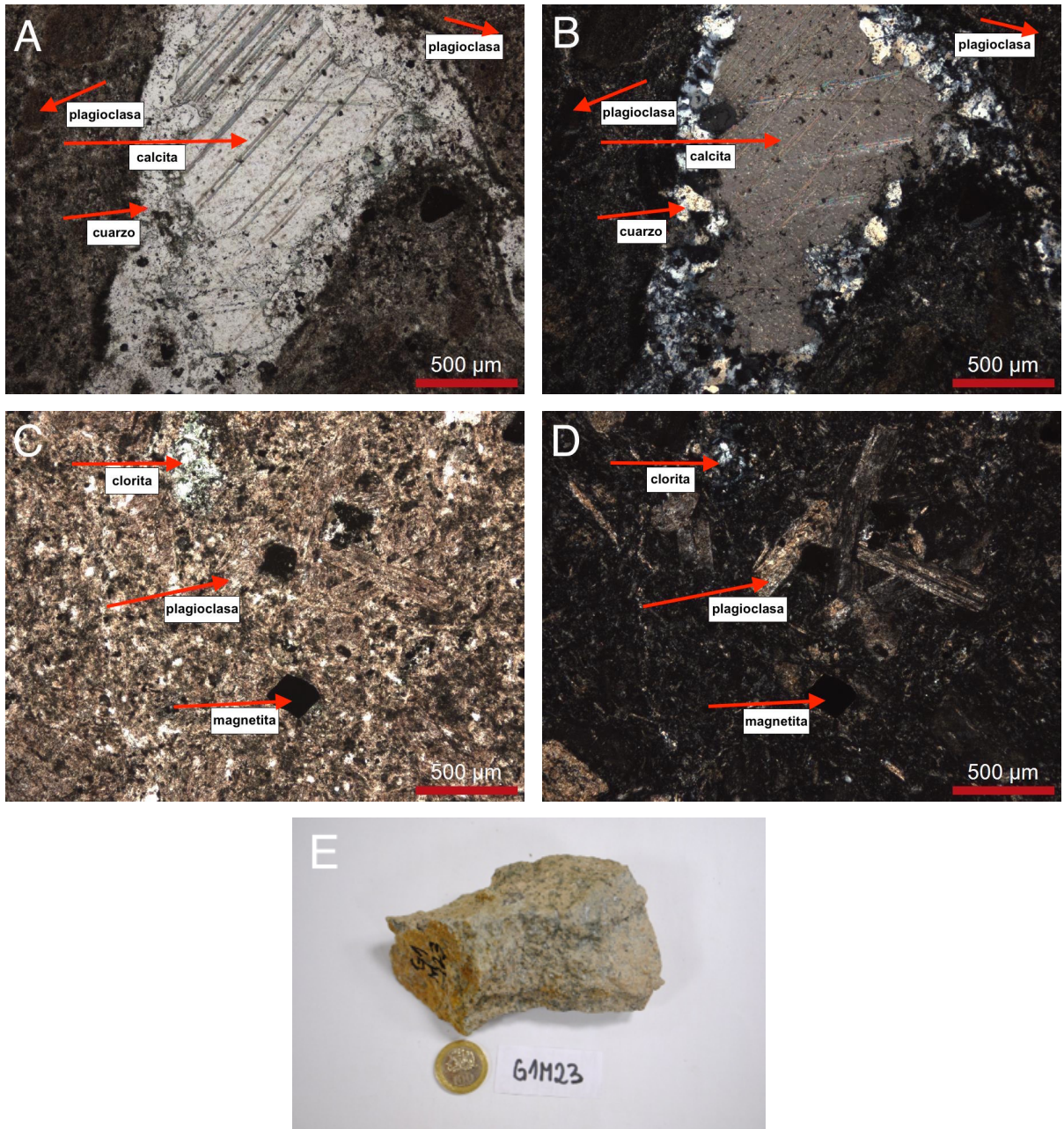


Figura 7.15. Muestra G1M23. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Cavity irregular de calcita y borde externo de cuarzo en matriz de textura intergranular compuesta por microlitos de plagioclasa y cristales de magnetita. B) Imagen A) a Nícoles cruzados. C) Fenocristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa insertos en matriz de textura intergranular con escasos cristales de magnetita. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Muestra de mano.

## G1M25

Petrográficamente, corresponde a una diorita de hornblenda con textura fanerítica (Figura 7.16), cuyo contenido de cristales corresponde a plagioclasa (85 %), cuarzo (2 %), magnetita (2 %), hornblenda (5 %), epidota (1 %) y clorita (5 %). Los cristales de plagioclasa presentan forma subhedral a euhedral y están

reemplazados escasamente por parches de epidota. Además, los cristales de hornblenda se encuentran fracturados y reemplazados en baja medida por clorita. La magnetita se manifiesta de manera intensa tanto en muestra de mano como en los cristales de hábito cúbico que se observan bajo microscopio óptico a luz reflejada. No se observa presencia de minerales con contenido alcalino.

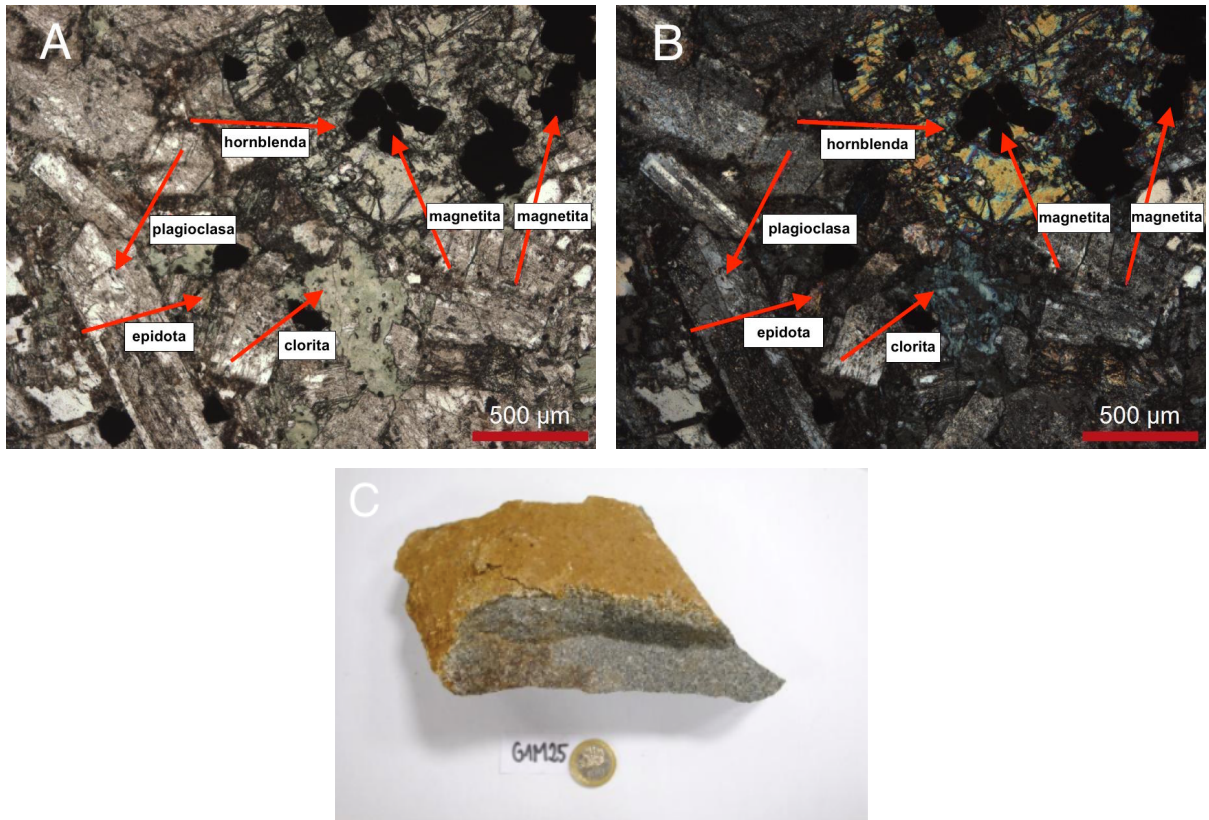


Figura 7.16. Muestra G1M25. Diorita de hornblenda. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. C) Muestra de mano.

## G1M27

Toba cristalina con textura fragmentada cuyo contenido corresponde a cristales de plagioclasa, fragmentos de cristales de plagioclasa, magnetita y escasos cristales de cuarzo. En los intersticios de los cristales y fragmentos de cristales de plagioclasa se observa presencia de clorita. Además, también se puede observar en ciertas zonas la presencia de microlitos de plagioclasa acompañando a la clorita en los intersticios cristalinos de la roca.



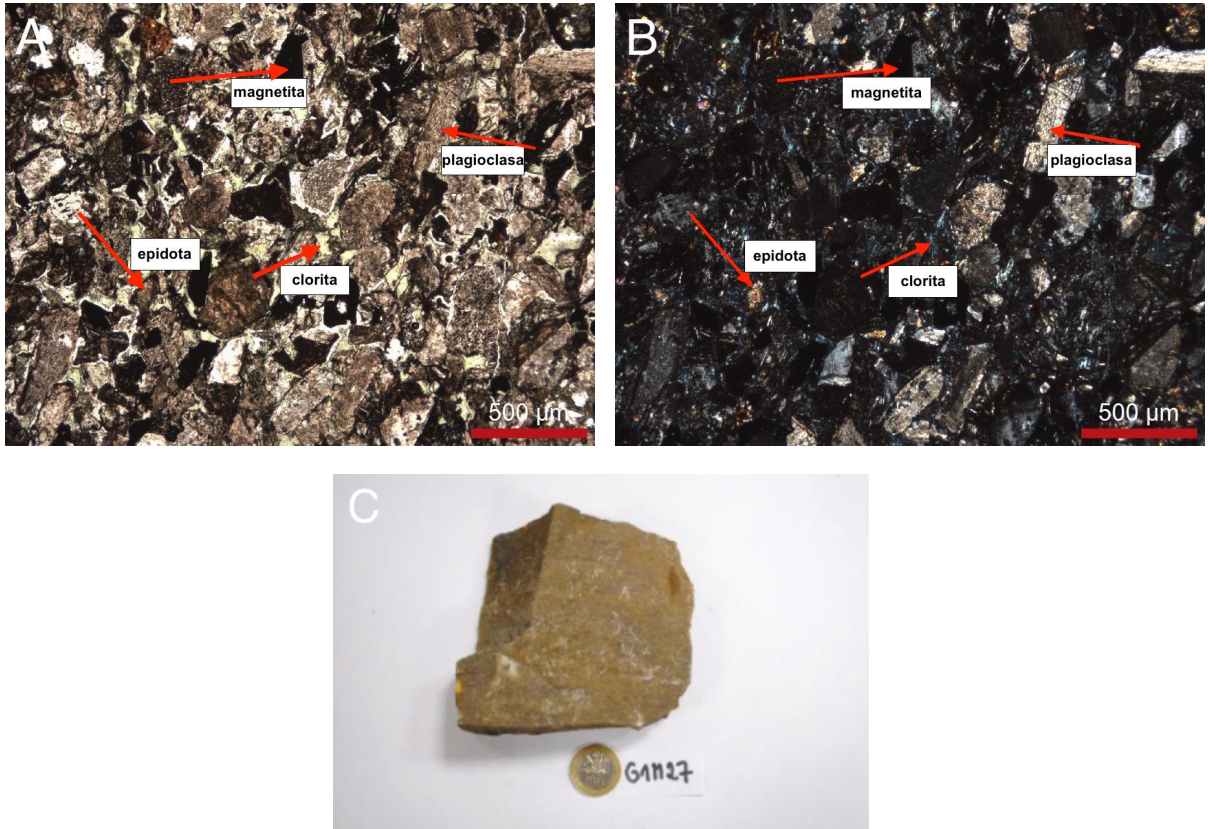


Figura 7.17. Muestra G1M27. Toba cristalina con textura fragmentada. A) Nícoles Paralelos. B) Nícoles Cruzados. C) Muestra de mano.

## G2M17

Andesita porfírica cuyos fenocristales de plagioclasa presentan forma subhedral a euhedral y tamaños entre 1 y 2 mm. La matriz posee textura intergranular donde los cristales, generalmente de plagioclasa, están orientados aleatoriamente en la masa fundamental, entre los cuales se ubican cristales de magnetita. Los fenocristales están reemplazados parcialmente por epidota y clorita (Figura 7.18 A y B). Además, es común observar amígdalas con relleno de clorita y epidota (Figura 7.18 C y D) y cavidades irregulares con contenido de clorita, epidota y cuarzo (Figura 7.18 E y F).

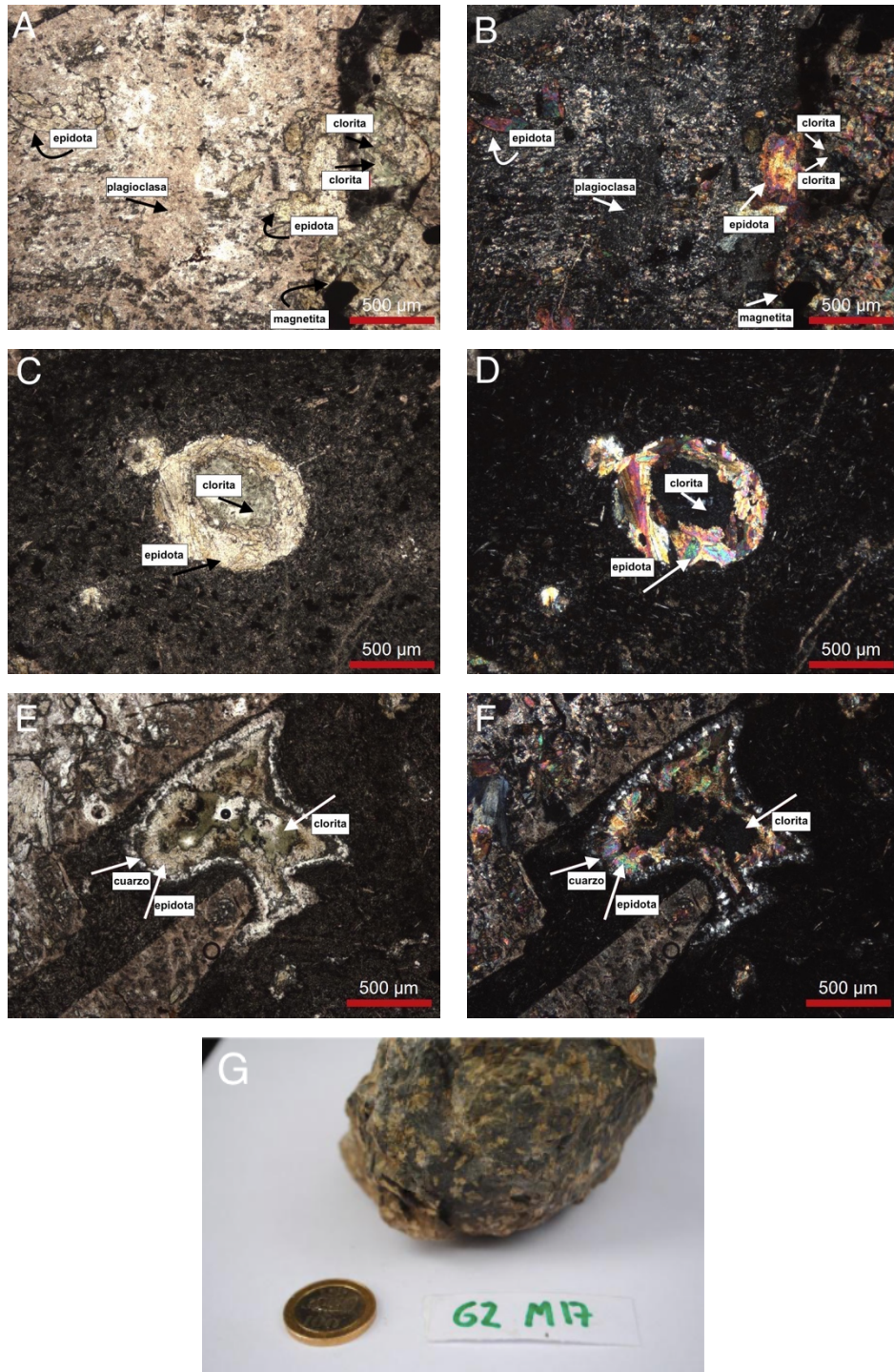


Figura 7.18. Muestra G2M17. Andesita porfírica. A) Nícoles paralelos. Fenocristal de plagioclasa con reemplazo parcial de clorita y epidota. B) Imagen en A) a Nícoles cruzados. C) Nícoles paralelos. Amígdala con relleno externo de epidota e interno de clorita inserta en una masa fundamental con microlitos de plagioclasa y magnetita con textura intergranular. D) Imagen en C) a Nícoles cruzados. E) Nícoles paralelos. Cavidad irregular con bordes de rellenos desde afuera hacia adentro de cuarzo, epidota y clorita respectivamente, inserta en una masa fundamental con microlitos de plagioclasa y magnetita con textura intergranular. F) Imagen en E) a Nícoles cruzados. G) Muestra de mano.

## LV-05

Roca correspondiente a la Veta Interior del prospecto cuprífero que se encuentra al interior del socavón perteneciente a la antigua labor minera explotada. La muestra de roca corresponde una veta de cuarzo con mineralización predominante de calcopirita entrecrecida ocasionalmente con granos de pirita. Bajo microscopio óptico, se puede observar que la goethita supérgena está reemplazando tanto a la calcopirita como a la pirita, presentando textura de superficies cóncavas hacia el mineral huésped (Figura 7.19 A). Además, puede observarse reemplazo parcial de la goethita sobre la pirita, lo que se evidencia en pequeños relictos o “islas” del mineral huésped rodeado por grandes cantidades del mineral reemplazante (Figura 7.19 B).

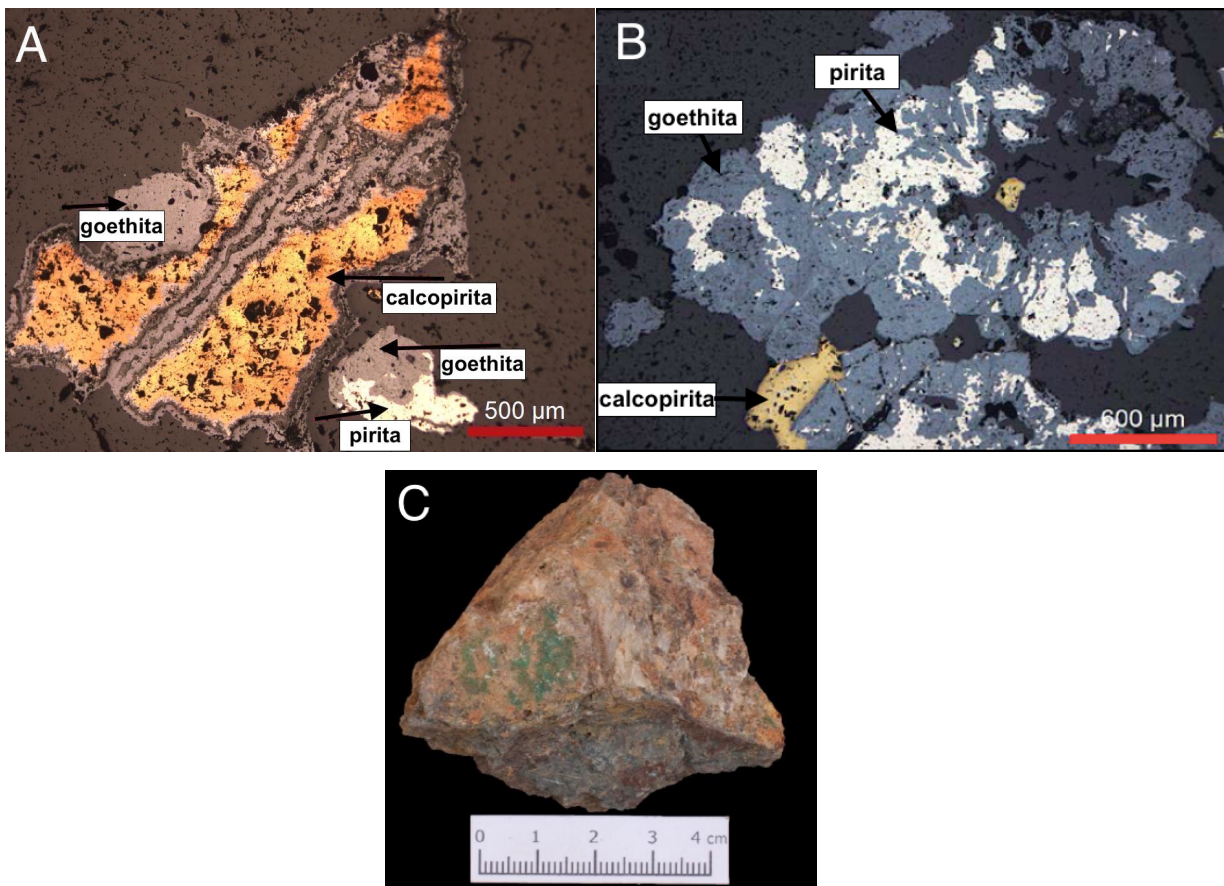


Figura 7.19. Muestra LV-05. A) Textura de superficies cóncavas hacia el mineral huésped (calcopirita y pirita) siendo reemplazados por goethita. B) Textura de isla de mineral huésped (pirita) siendo reemplazada por goethita. C) Muestra de mano.

## LV-08

Roca correspondiente a la Veta Superior. En las Figuras 7.20 A y B se observa goethita reemplazando en los bordes de calcopirita y pirita respectivamente, presentando textura de superficie cóncava hacia el mineral

huésped. Además, en la sección pulida se observa mineralización de bornita remanente, entrecrecida localmente con granos de calcopirita y pirita (Figura 7.20 C), junto con digenita, covelina y goethita como producto de la alteración de los minerales mencionados anteriormente. Los oxi-hidróxidos de hierro están asociados a microvetillas tardías (Luca, 2015). Finalmente, en la Figura 7.20 D se observan remanentes de bornita en reemplazo casi total por un entrecrecimiento de digenita y covelina.

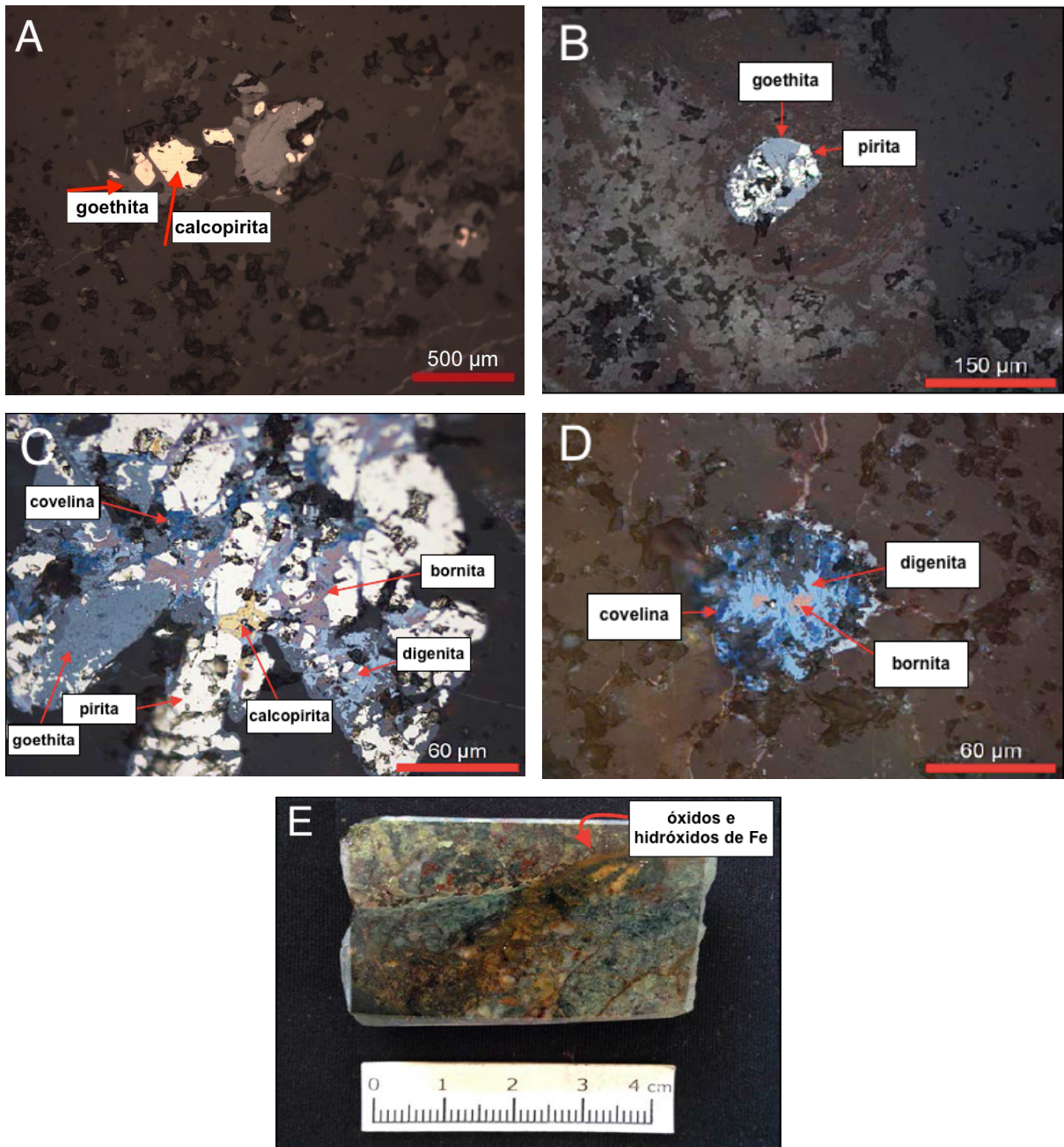


Figura 7.20. Muestra LV-08. A) y B): Texturas de reemplazo de bordes cóncavos hacia el mineral huésped. C) Mineralización temprana con entrecrecimiento de pirita, calcopirita y bornita (Luca, 2015). D) Vista detallada de remanentes de bornita en reemplazo casi total por entrecrecimiento de digenita y covelina (Luca, 2015). E) Muestra pulida.

## LV-09

Roca correspondiente a la Veta Inferior. En algunas zonas se puede observar superficies cóncavas (Figura 7.21 A), mostrando reemplazo de bornita por calcosina y en cantidades de trazas, reemplazo de calcosina por digenita. En otros lugares, se puede observar textura de secuencia depositacional (Figura 7.21 B), donde los minerales se hacen más ricos en un constituyente (cobre), como es el caso de la bornita siendo reemplazada en los bordes por calcosina y digenita, y la calcosina estando reemplazada y entrecrecida a su vez por covelina.

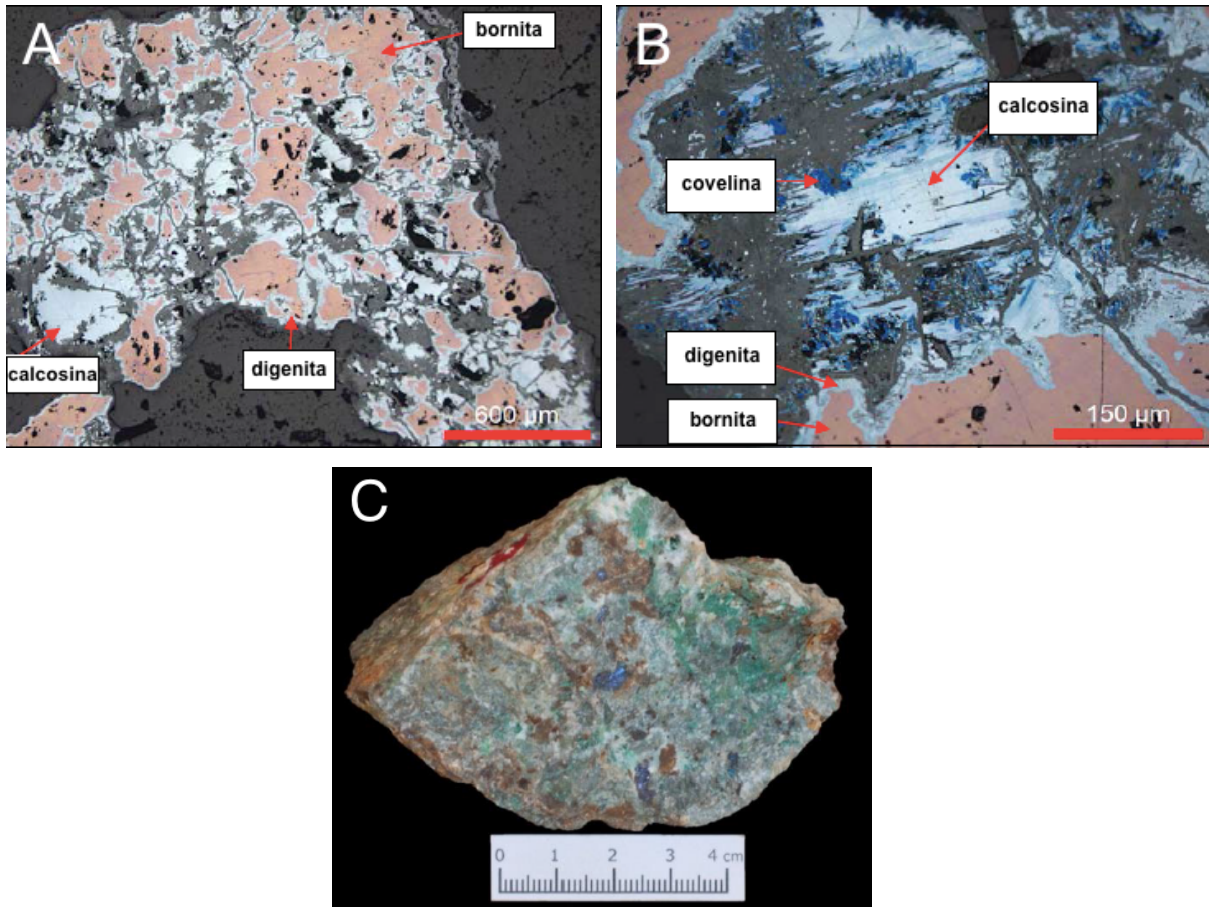


Figura 7.21. Muestra LV-09. A) Textura de superficie cóncava en bornita siendo reemplazada por calcosina, además de reemplazos de calcosina por digenita en cantidades trazas. B) Vista detallada de bornita masiva alterada a digenita (bordes) y reemplazo de calcosina por covelina junto con entrecrecimiento entre estos minerales (Luca, 2015). C) Muestra de mano.

## LV-20

Roca perteneciente a la Veta Interior ubicada dentro del socavón minero. La muestra corresponde a una mineralización predominante de calcopirita masiva entrecrecida localmente con granos de bornita, pirita, covelina y trazas de galena. En las Figuras 7.22 A y F, se observa goethita reemplazando sulfuros de cobre y hierro, en este caso, calcopirita. La goethita se observa depositada en fracturas de

la calcopirita, evidenciando que su precipitación es posterior a ella. En la Figura 7.22 B, se presenta una vista detallada de entrecrecimiento entre bornita y calcopirita junto con agregados microcristalinos de covelina como producto de la alteración de la bornita (Luca, 2015), presentando una secuencia depositacional con enriquecimiento progresivo en cobre. Además, se presenta goethita depositada en las fracturas de la calcopirita. En la Figura 7.22 C, se observa una vista detallada de galena junto a bornita en cristal masivo de calcopirita, donde también se puede apreciar cristales de hematita especular relleno una cavidad y hematita pulverulenta relleno fracturas del cristal de calcopirita. En la Figura 7.22 D se presenta una microvetilla discontinua con relleno de hematita y bornita en cristal masivo de calcopirita (Luca, 2015). Finalmente, la Figura 7.22 E corresponde a calcopirita masiva con grano cúbico de pirita en asociación con bornita, donde la bornita está a su vez levemente alterada a covelina.

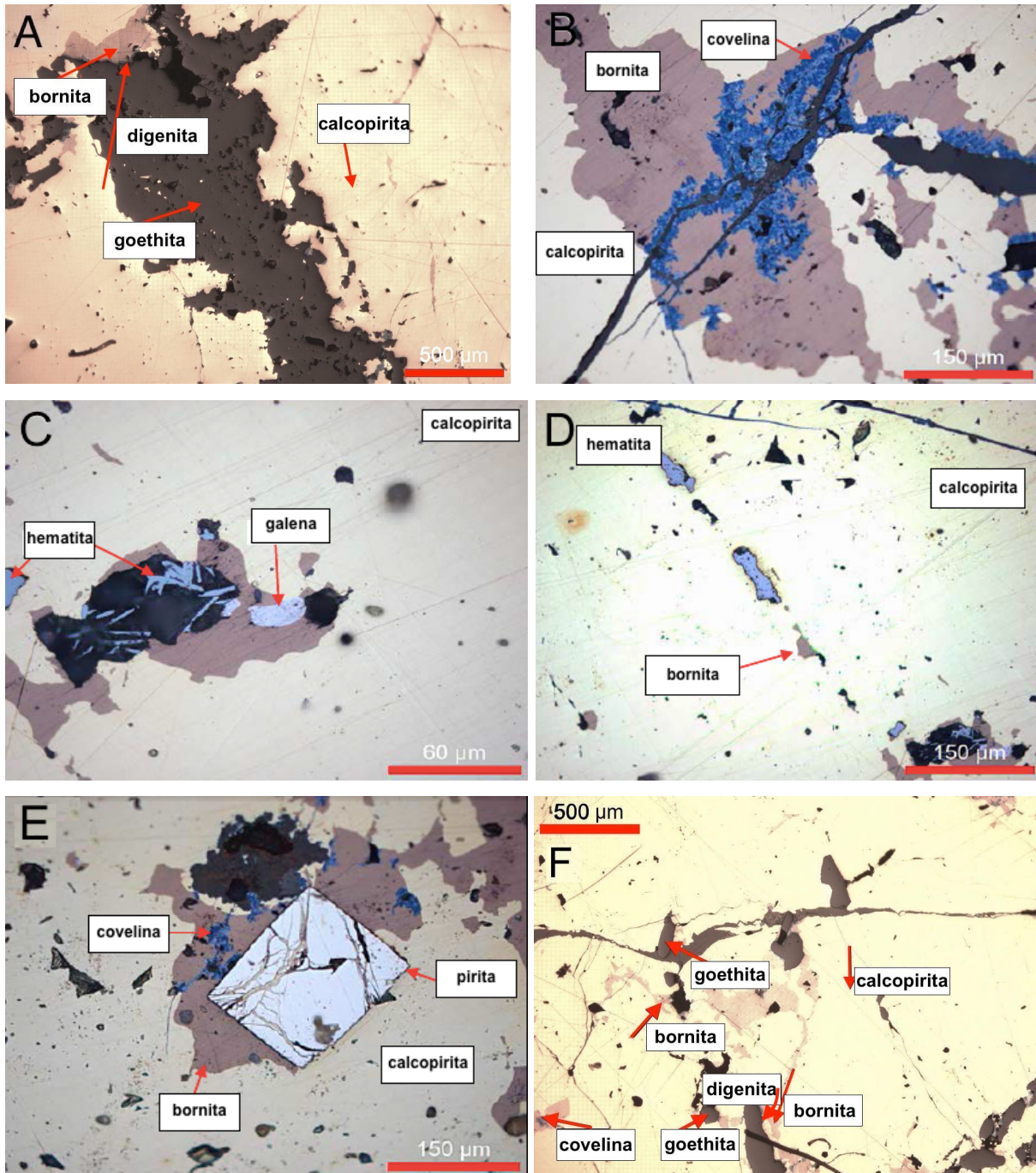


Figura 7.22. Muestra LV-20. A) Goethita depositada en fractura de cristal masivo de calcopirita el cual está en menor medida entrecrecida junto a bornita. B) Entrecrecimiento de calcopirita masiva con bornita subordinada, donde además se presenta goethita depositada en las fracturas de la calcopirita y agregados microcristalinos de covelina reemplazando bornita. C) Galena junto a bornita en cristal masivo de calcopirita, donde también se puede apreciar cristales de hematita especular relleno una cavidad y hematita pulverulenta relleno fracturas del cristal de calcopirita. D) Microvetilla discontinua con relleno de hematita y bornita en cristal masivo de calcopirita (Luca, 2015). E) Calcopirita masiva con grano cúbico de pirita en asociación con bornita, donde la bornita está a su vez levemente alterada a covelina. F) Calcopirita masiva entrecrecida con bornita subordinada. En las fracturas del cristal de calcopirita se encuentra depositada goethita, y además la bornita está reemplazada por escasos contenidos de digenita y covelina en los bordes del grano mineral.

## **ANEXO C. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

Durante las campañas en terreno de mapeo de superficie y sondajes, se recolectaron muestras con el fin de confeccionar cortes transparentes y transparentes – pulidos para realizar Análisis de Microscopía Óptica y Análisis de Microscopía Electrónica de Barrido. Este último análisis, se realizó usando el detector de electrones retrodispersados (BSE – *Backscattered Electrons*), el cual proporciona una imagen cualitativa de zonas con distinto número atómico medio. Estos análisis de microscopía electrónica de barrido fueron realizados en fenocristales y microlitos de plagioclasa con el fin de obtener la composición elemental de los cristales de este mineral, y posteriormente determinar si los cristales habían sido afectados o no por un metasomatismo selectivo de Na.

Este estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis del Departamento de Geología de la Universidad de Chile. Se realizaron análisis de distintas muestras para determinar la composición elemental de las plagioclasas en diferentes zonas del prospecto, tanto en profundidad como en superficie. Las muestras analizadas son las siguientes:

- EN-395-16-1 (UTM 323612 N/ 6290754 E)
- EN-395-16-2 (UTM 323612 N/ 6290754 E)
- EN-395-16-4 (UTM 323612 N/ 6290754 E)
- EN-395-16-5 (UTM 323612 N/ 6290754 E)
- G1M15 (UTM 323049 N/ 6290457 E)
- G1M16 (UTM 323049 N/ 6290457 E)
- G1M23 (UTM 323524 N/ 6290791 E)

Las coordenadas se encuentran en Datum WGS 1984 Zona 19S.  
Los resultados de los análisis de las muestras son las siguientes:



## EN-395-16-1

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 55 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimut 55° e inclinación inicial -45°.

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

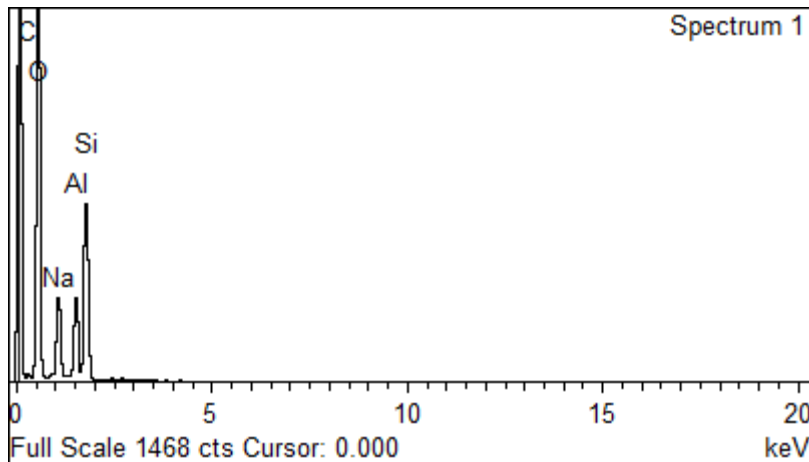
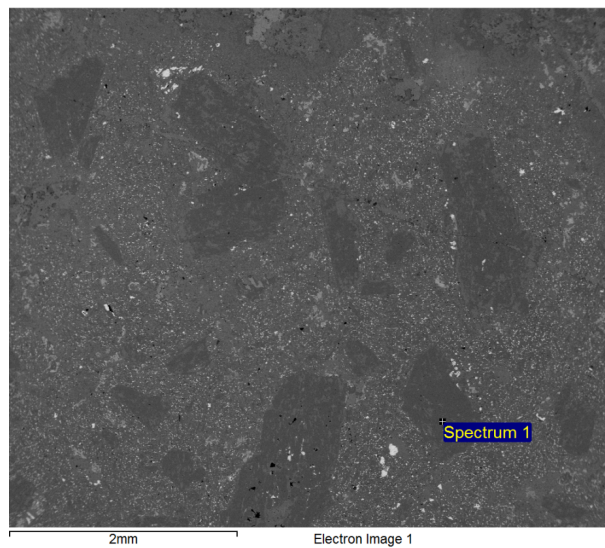
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	64,84	75,34
Na K	8,10	6,55
Al K	7,18	4,95
Si K	19,88	13,16
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

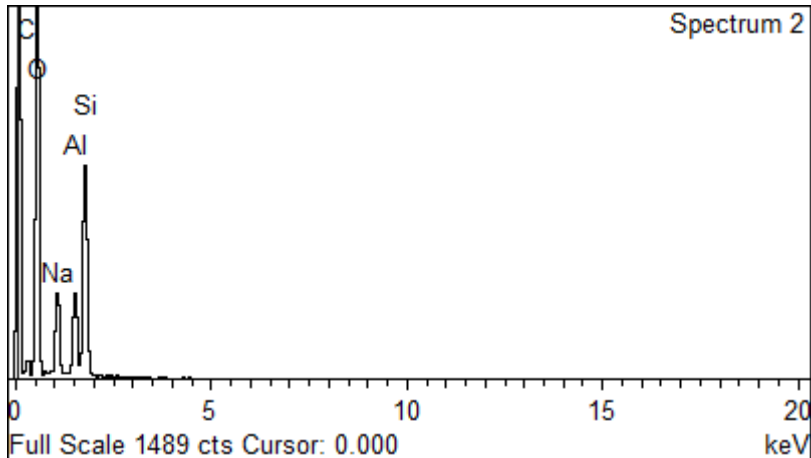
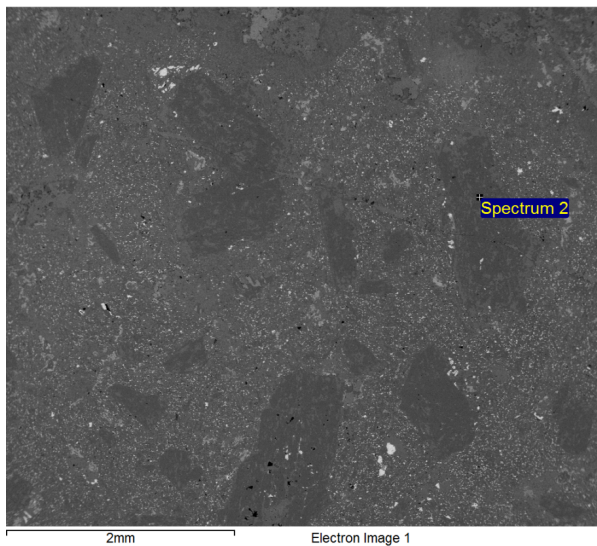
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	62,81	73,73
Na K	8,15	6,66
Al K	7,11	4,95
Si K	21,93	14,66
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

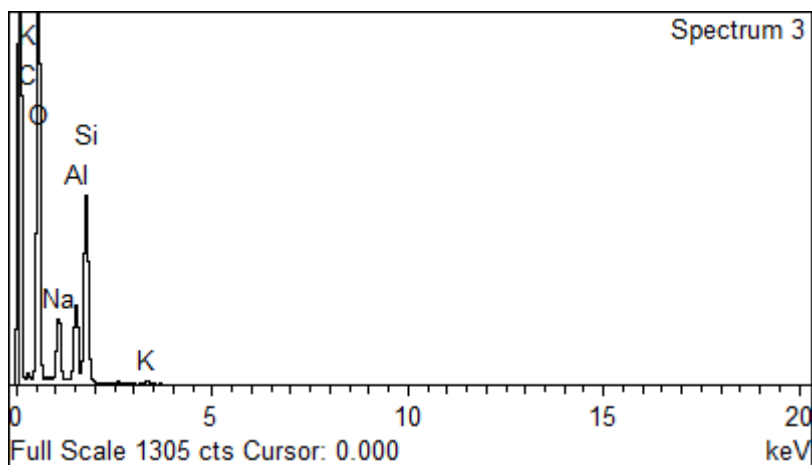
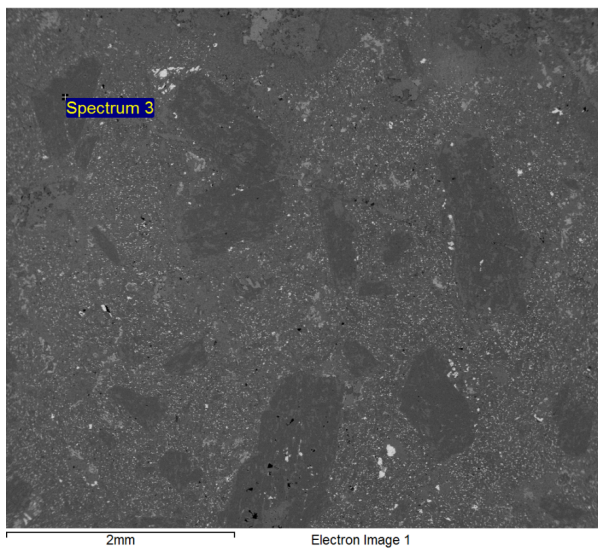
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	65,60	76,17
Na K	6,98	5,64
Al K	6,62	4,55
Si K	20,11	13,30
K K	0,69	0,33
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

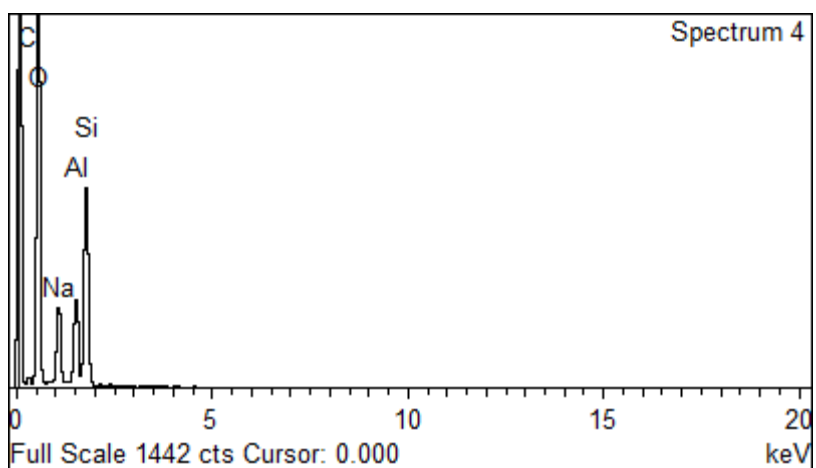
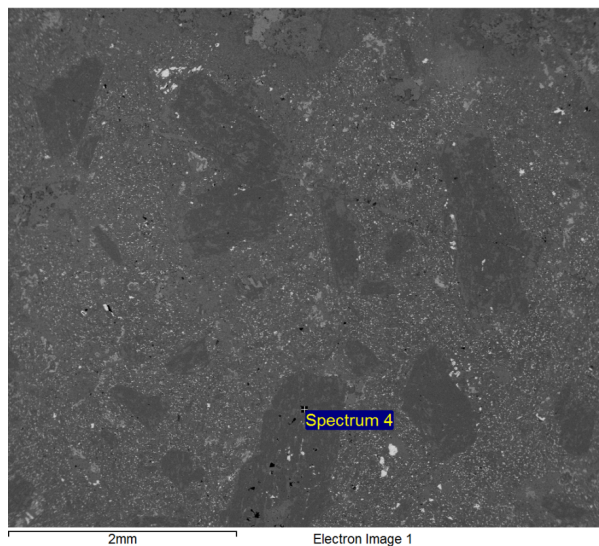
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	63,83	74,52
Na K	8,31	6,75
Al K	7,11	4,95
Si K	20,75	13,80
Total	100,00	



## EN-395-16-2

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 100 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimuth 55° e inclinación inicial -45°.

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

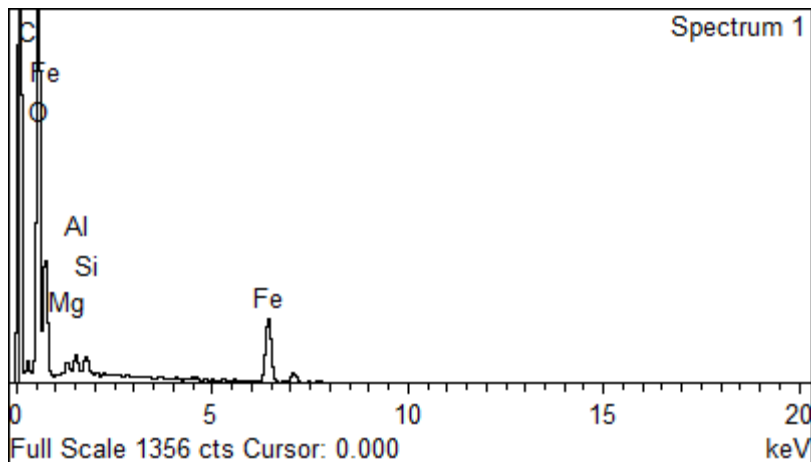
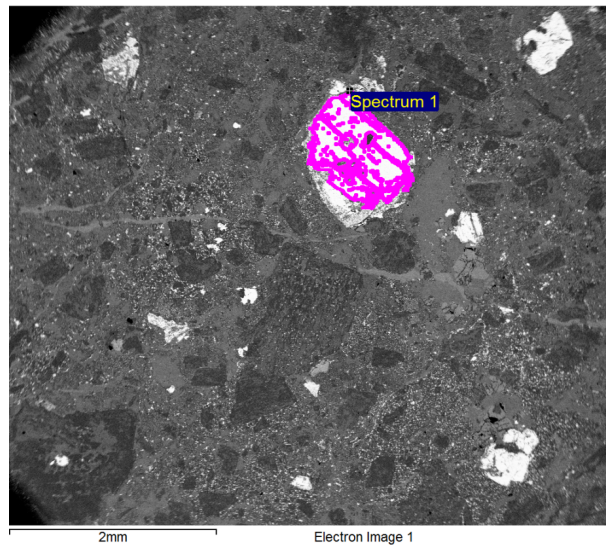
Mg MgO

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Fe Fe

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	42,82	70,95
Mg K	0,94	1,02
Al K	1,31	1,29
Si K	1,43	1,35
Fe K	53,50	25,40
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

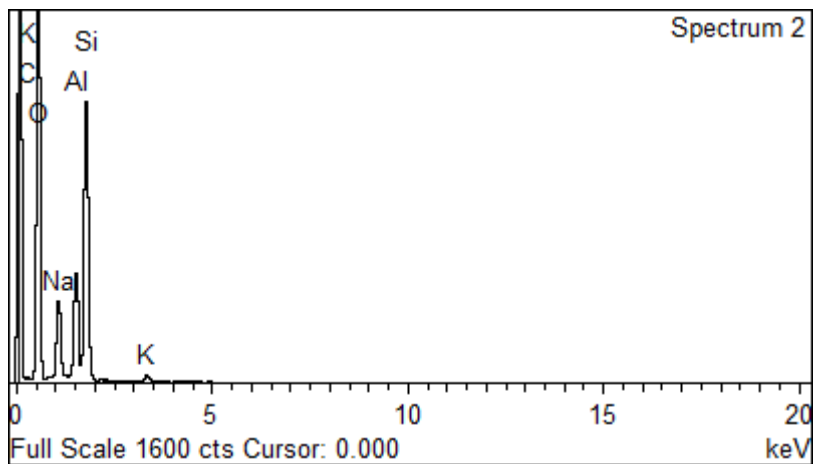
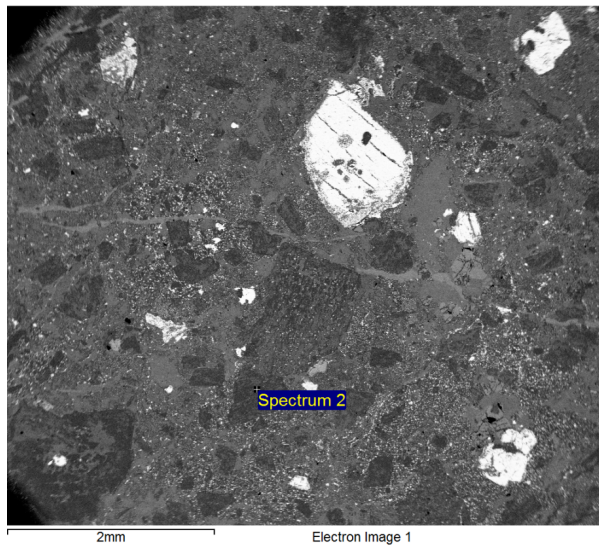
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	58,99	70,85
Na K	6,94	5,80
Al K	7,93	5,64
Si K	25,18	17,23
K K	0,96	0,47
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

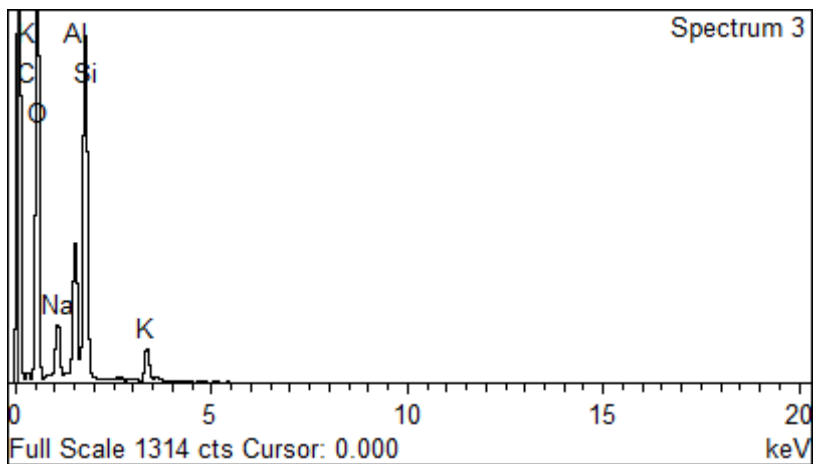
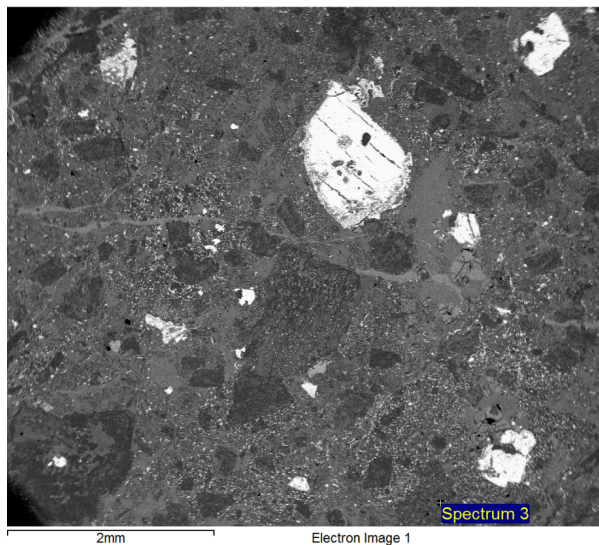
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	57,66	70,62
Na K	3,85	3,28
Al K	8,10	5,89
Si K	25,35	17,69
K K	5,05	2,53
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

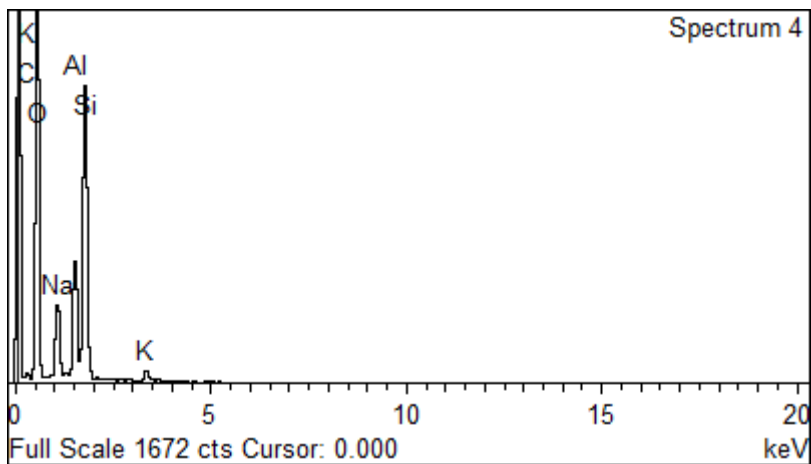
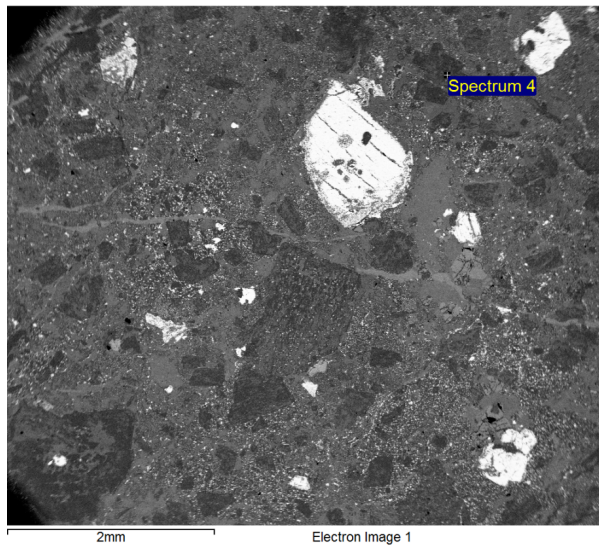
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	58,26	70,40
Na K	6,41	5,39
Al K	8,38	6,01
Si K	25,18	17,33
K K	1,77	0,87
Total	100,00	





Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

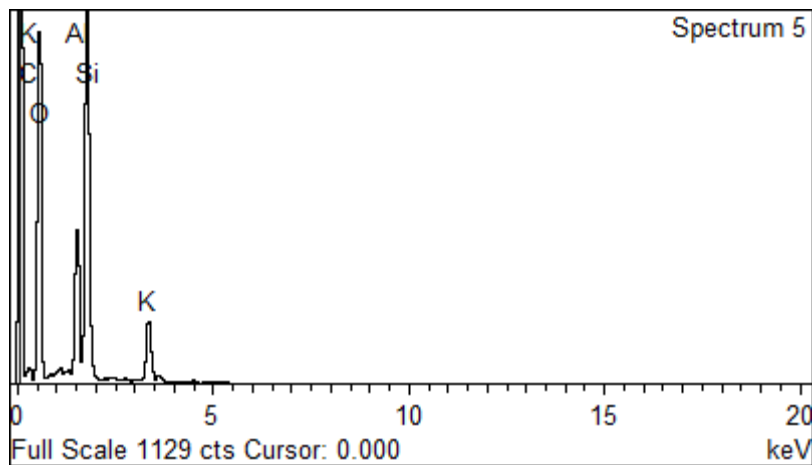
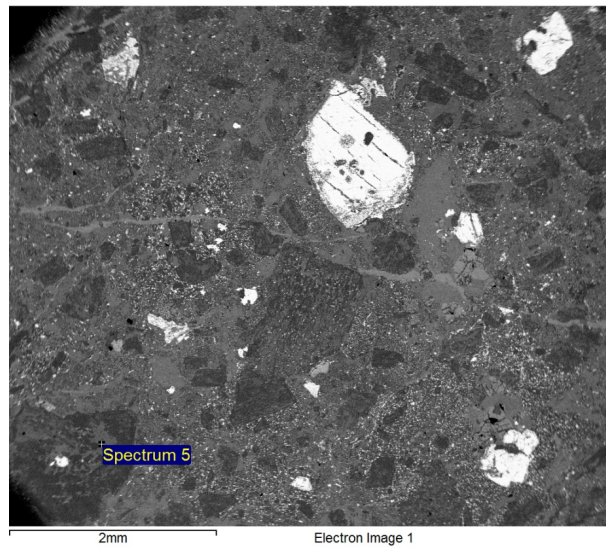
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	57,28	71,25
Al K	8,58	6,33
Si K	25,29	17,92
K K	8,85	4,50
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

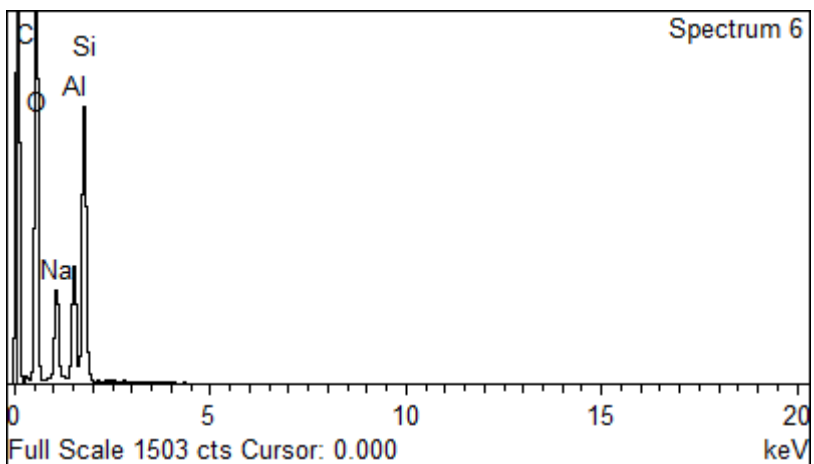
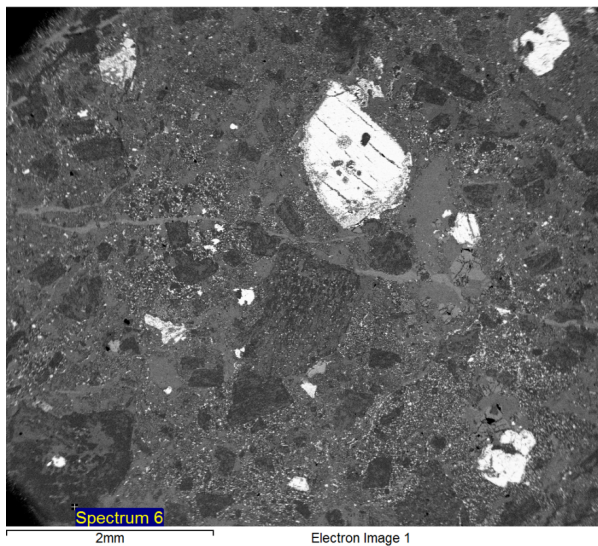
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	58,87	70,52
Na K	7,79	6,50
Al K	8,33	5,92
Si K	25,01	17,07
Total	100,00	



## EN-395-15-4

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 200 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimuth 55° e inclinación inicial -45°.

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

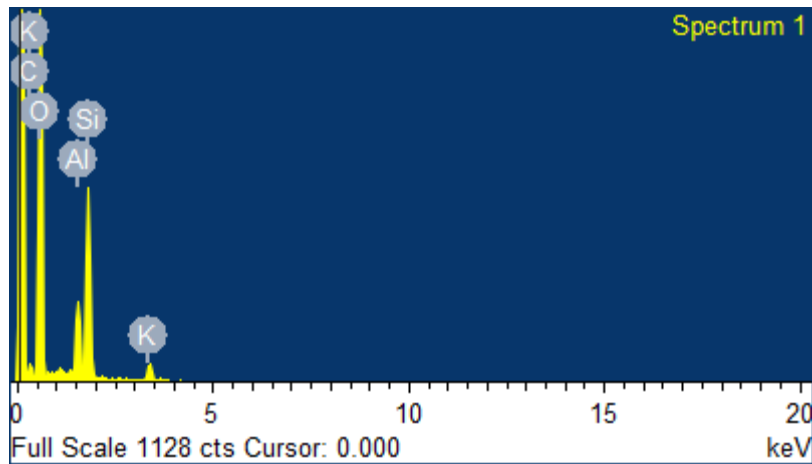
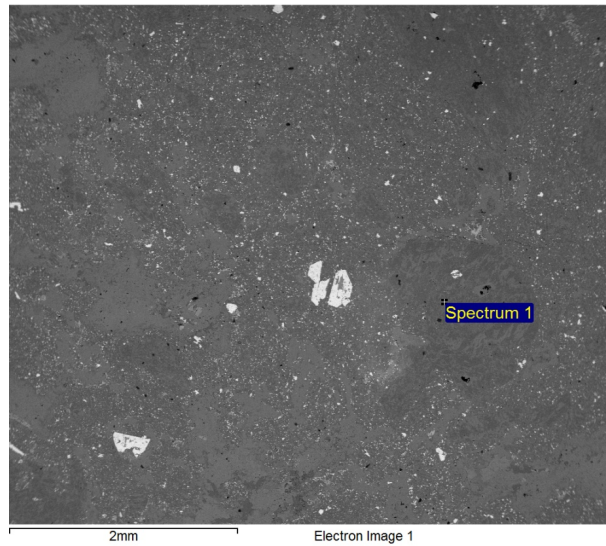
O SiO<sub>2</sub>

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	69,78	80,63
Al K	6,84	4,68
Si K	19,58	12,89
K K	3,81	1,80
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

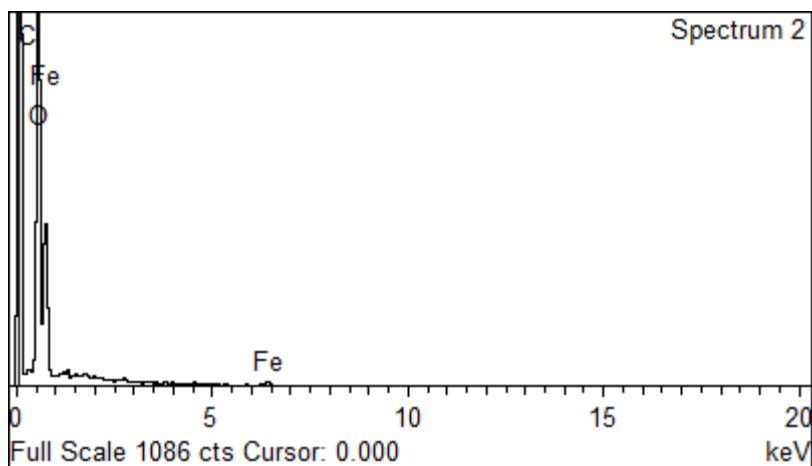
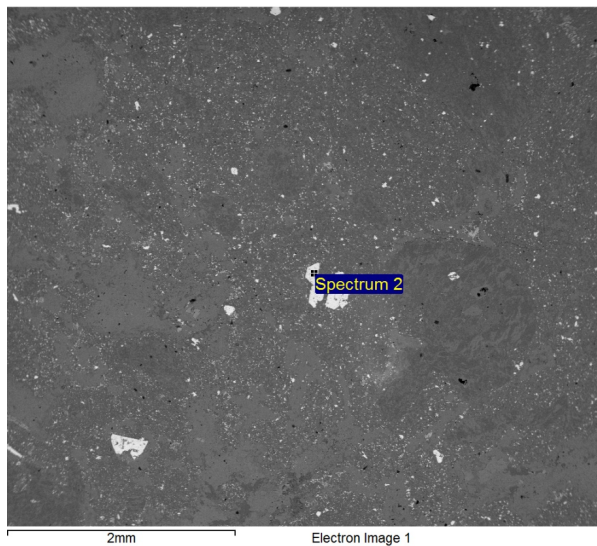
Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

Fe Fe

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	90,31	97,02
Fe K	9,69	2,98
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

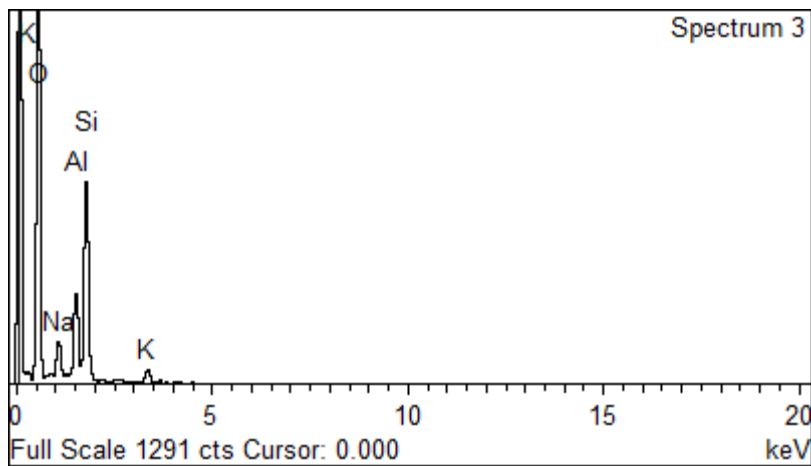
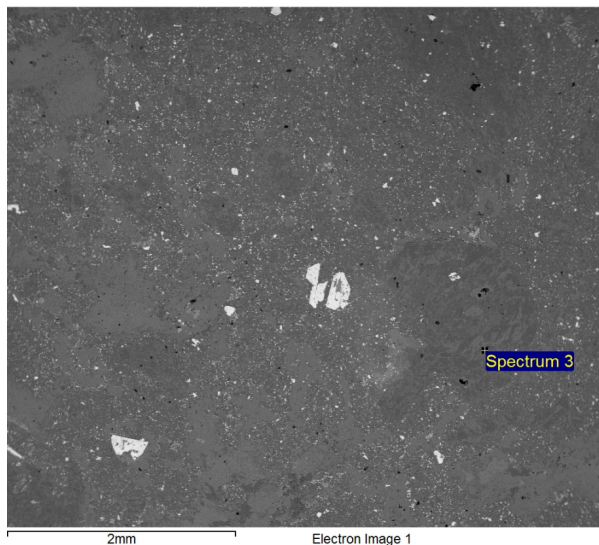
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	66,38	77,41
Na K	3,76	3,05
Al K	7,01	4,85
Si K	20,22	13,43
K K	2,64	1,26
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

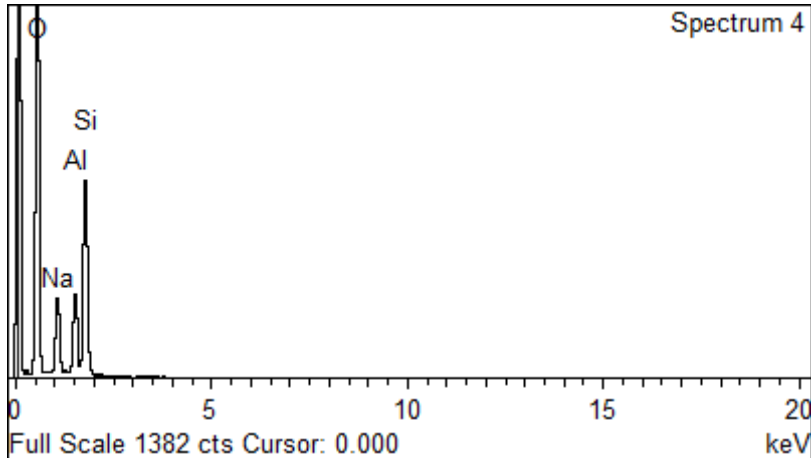
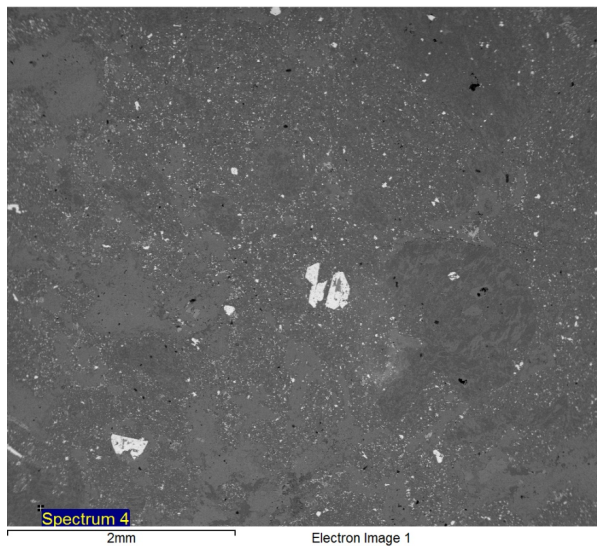
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	64,49	75,09
Na K	7,95	6,44
Al K	7,15	4,94
Si K	20,41	13,53
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

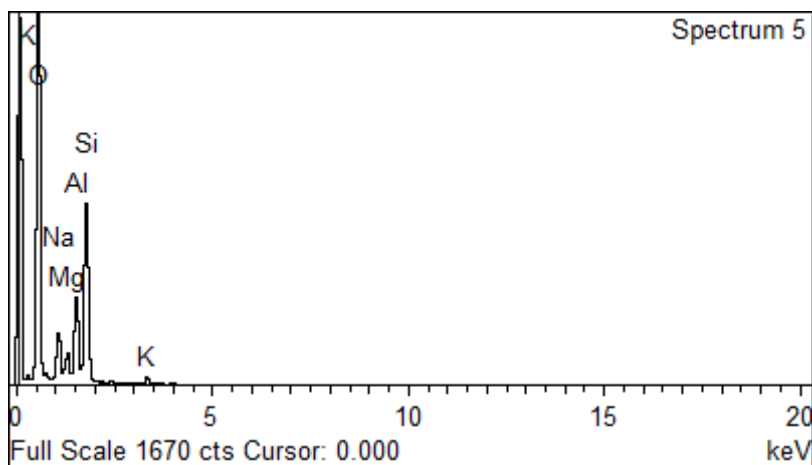
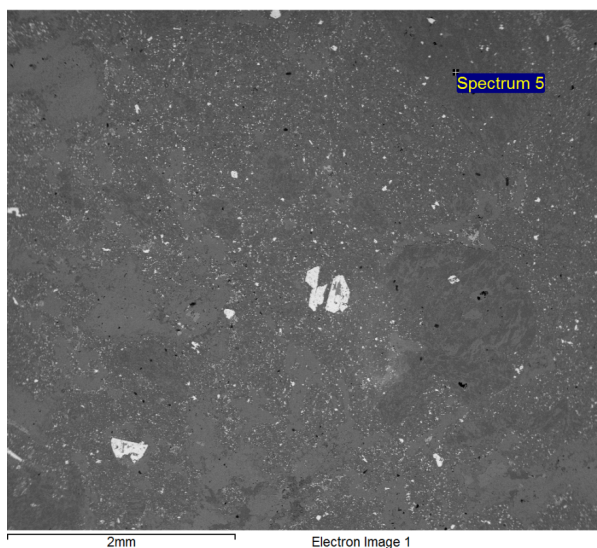
Mg MgO

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldespato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	65,12	75,90
Na K	5,04	4,09
Mg K	2,29	1,76
Al K	7,16	4,95
Si K	19,11	12,69
K K	1,28	0,61
Total	100,00	



## EN-395-15-5

Muestra tomada del sondaje EN-395-16 a 250 mt de profundidad. Su longitud es de 340 m, azimuth 55° e inclinación inicial -45°.

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

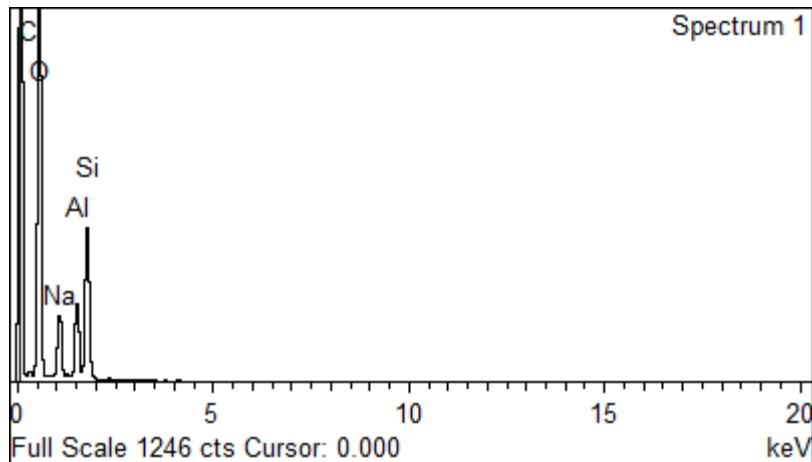
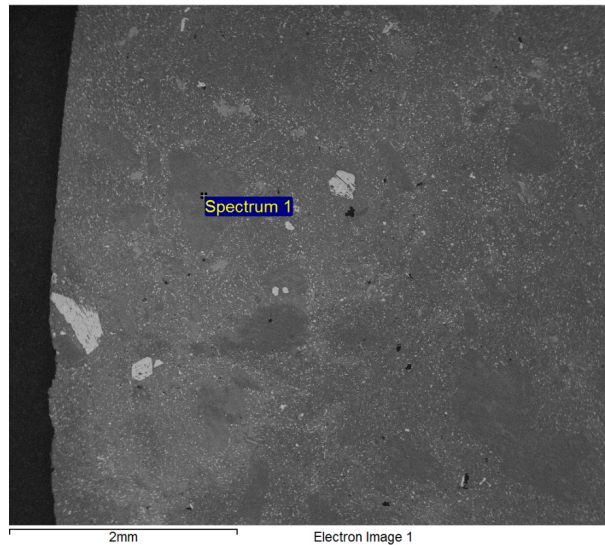
O SiO<sub>2</sub>

Na Albite

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	67,03	77,10
Na K	7,57	6,06
Al K	7,23	4,93
Si K	18,18	11,91
Total	100,00	





Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

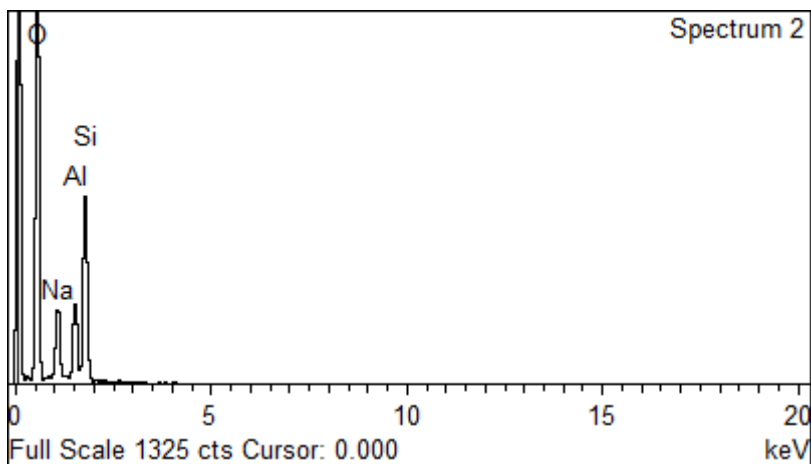
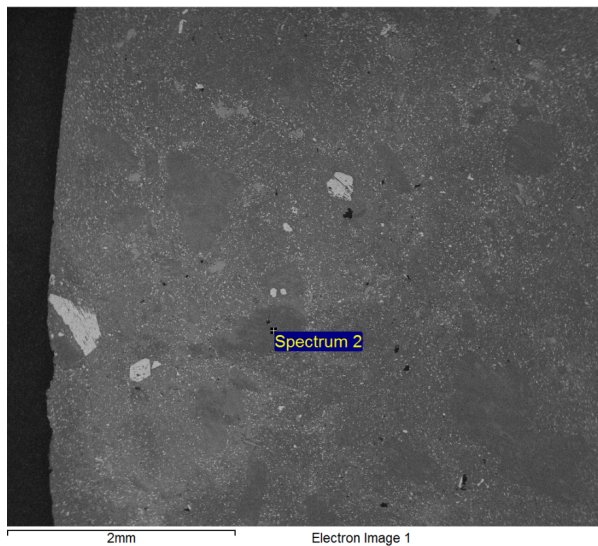
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	65,56	75,95
Na K	7,76	6,26
Al K	6,86	4,71
Si K	19,82	13,08
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

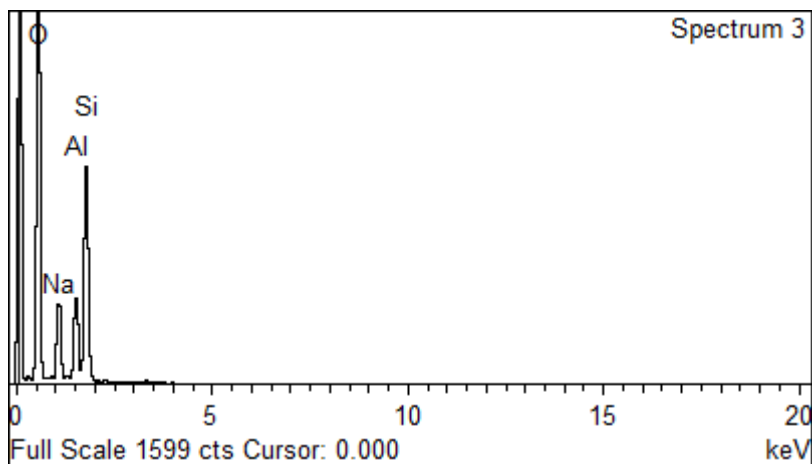
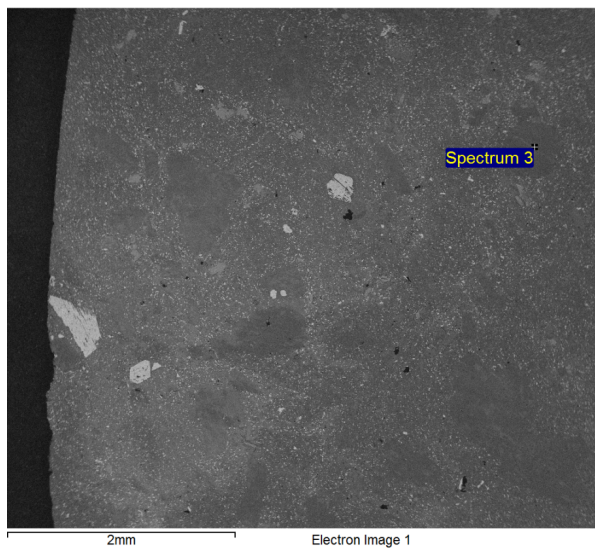
O  $\text{SiO}_2$

Na Albita

Al  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Si  $\text{SiO}_2$

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	63,03	73,91
Na K	8,12	6,62
Al K	7,15	4,97
Si K	21,70	14,50
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

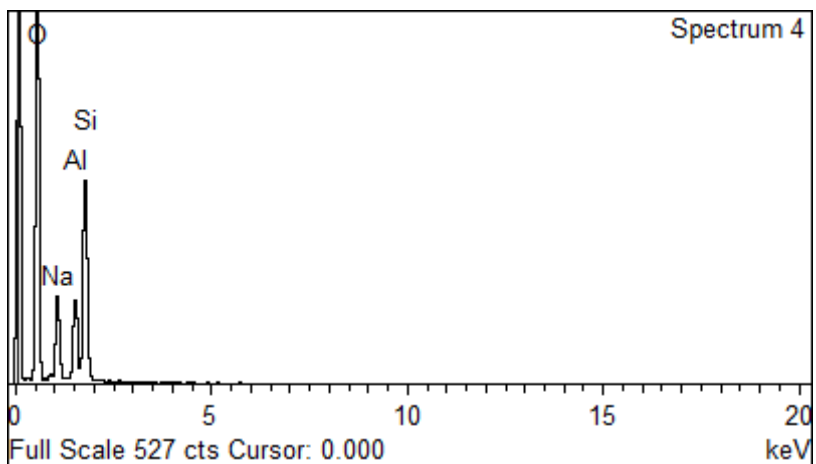
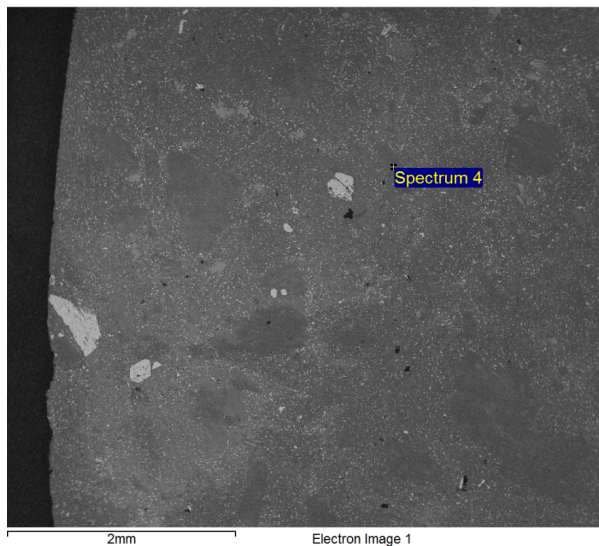
O  $\text{SiO}_2$

Na Albita

Al  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Si  $\text{SiO}_2$

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	63,83	74,58
Na K	7,83	6,37
Al K	7,09	4,91
Si K	21,25	14,14
Total	100,00	



## G1M15

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

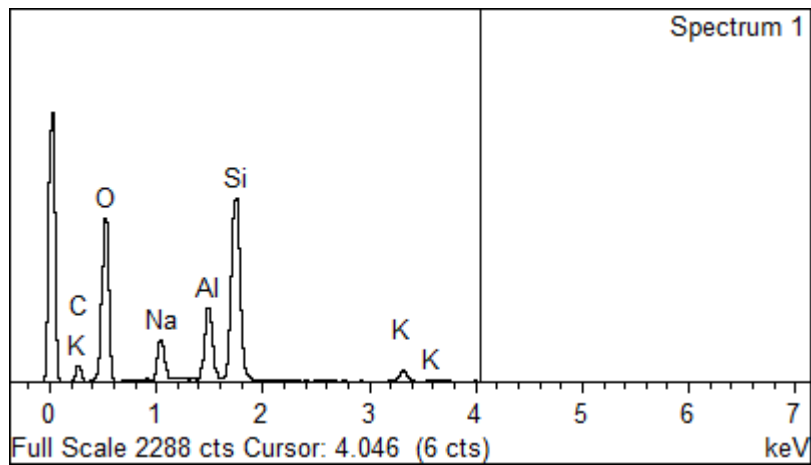
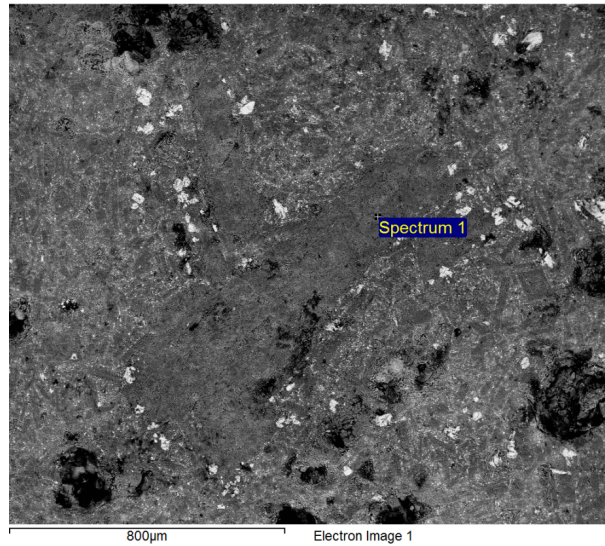
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	55,61	68,22
Na K	6,53	5,58
Al K	8,69	6,32
Si K	26,62	18,60
K K	2,54	1,28
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 3

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

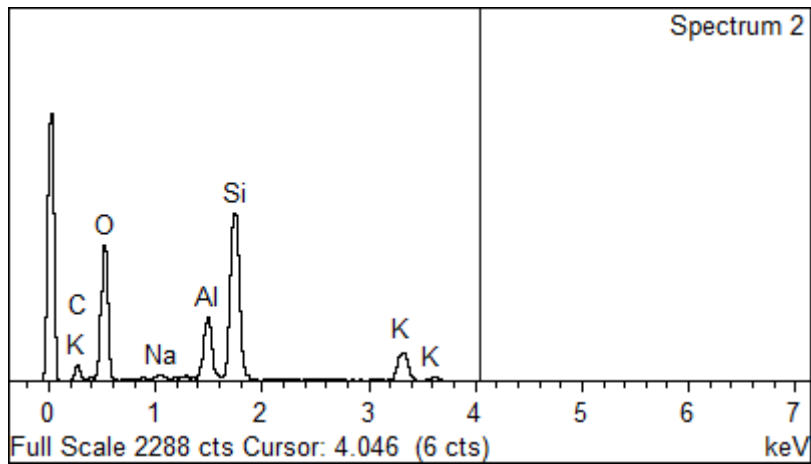
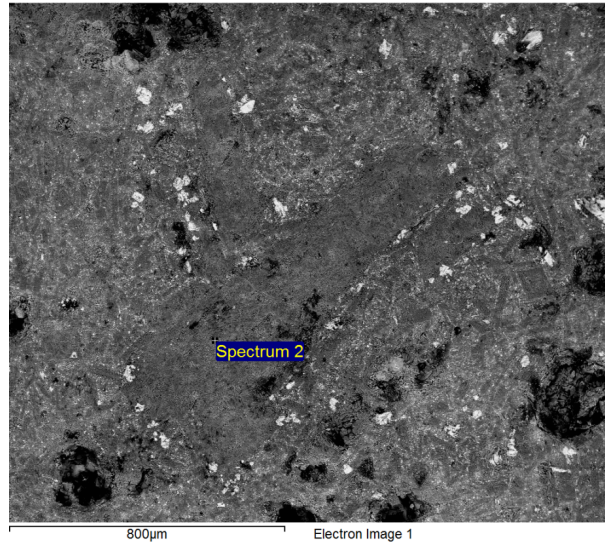
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	57,31	71,17
Na K	0,64	0,55
Al K	7,86	5,78
Si K	25,67	18,16
K K	8,52	4,33
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

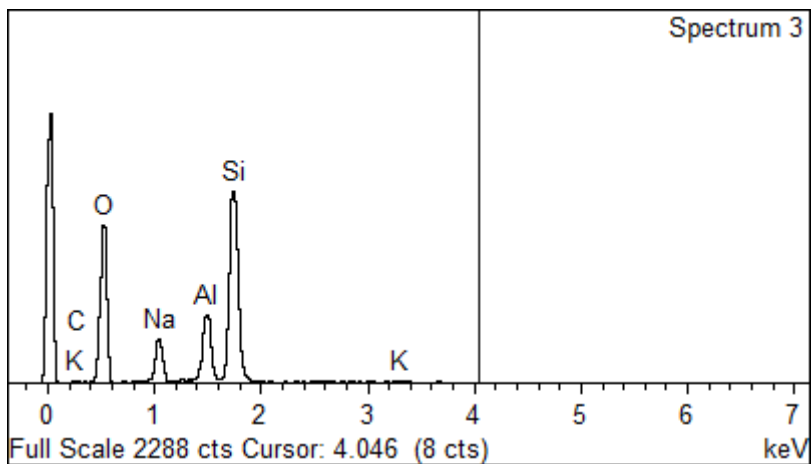
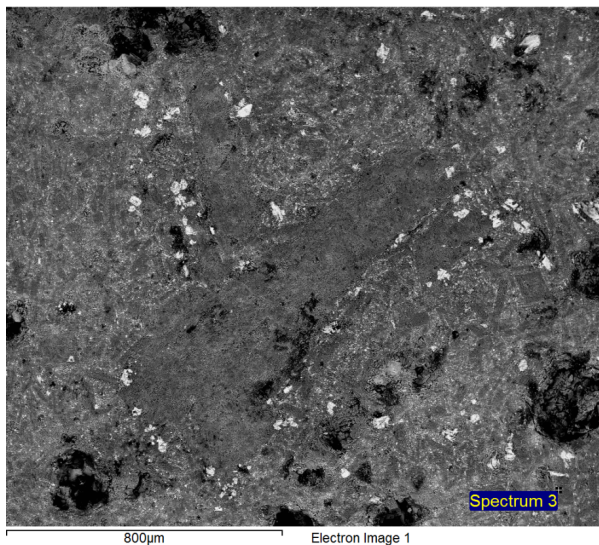
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	54,16	66,60
Na K	7,20	6,16
Al K	9,02	6,58
Si K	29,18	20,44
K K	0,45	0,22
Total	100,00	



## G1M16

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

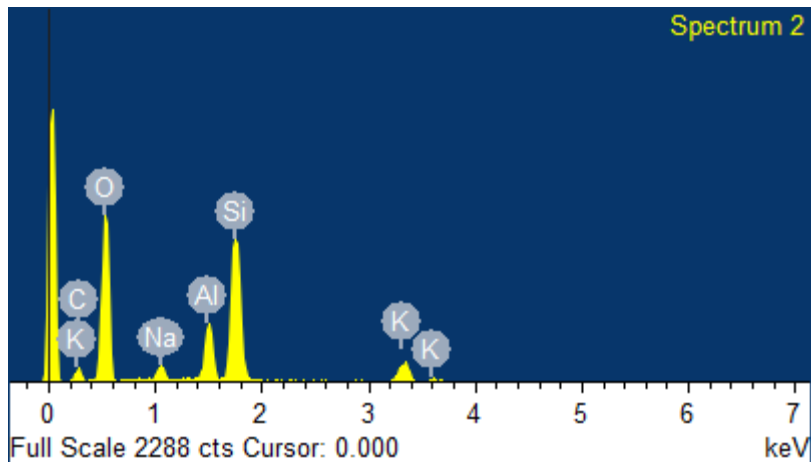
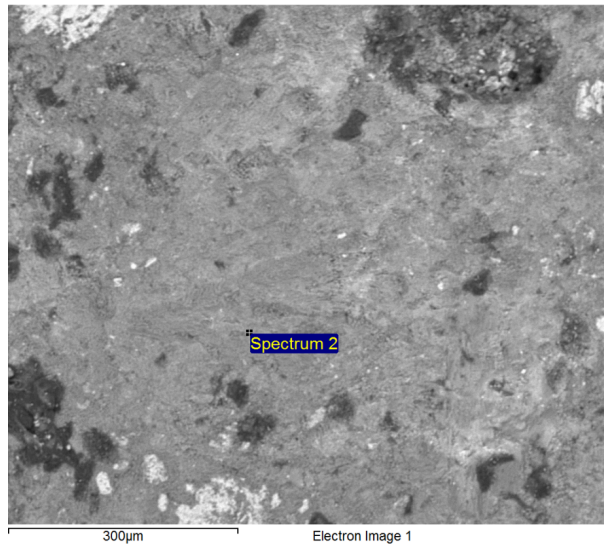
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	61,88	74,36
Na K	2,79	2,34
Al K	7,49	5,33
Si K	22,20	15,20
K K	5,64	2,77
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

O SiO<sub>2</sub>

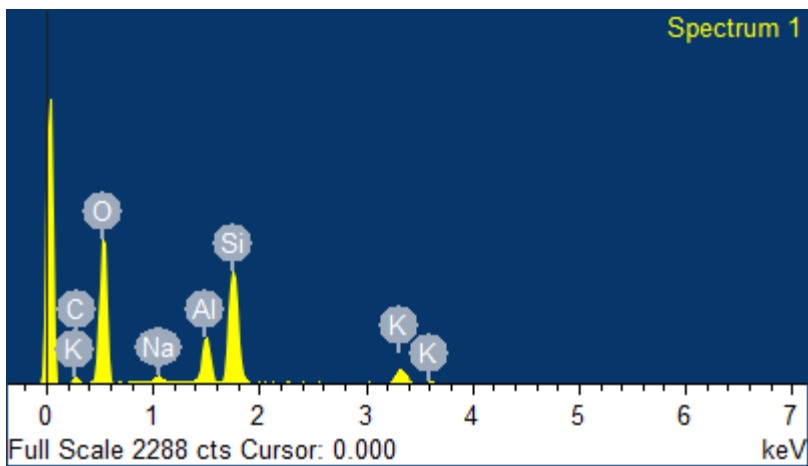
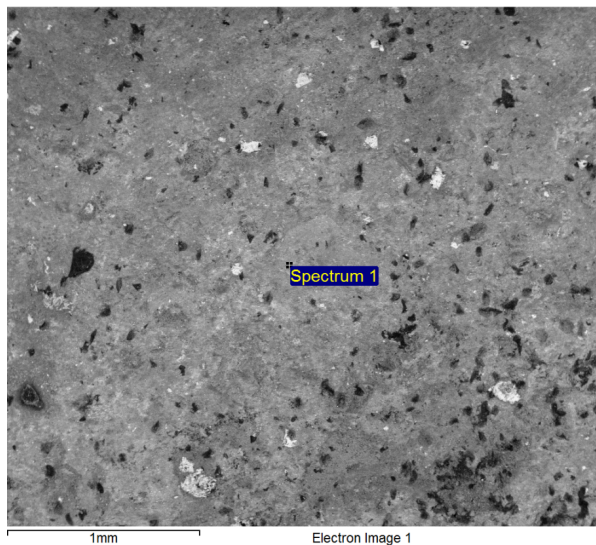
Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	64,35	76,49
Na K	1,34	1,11
Al K	7,20	5,07
Si K	21,71	14,70
K K	5,40	2,63
Total	100,00	





Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

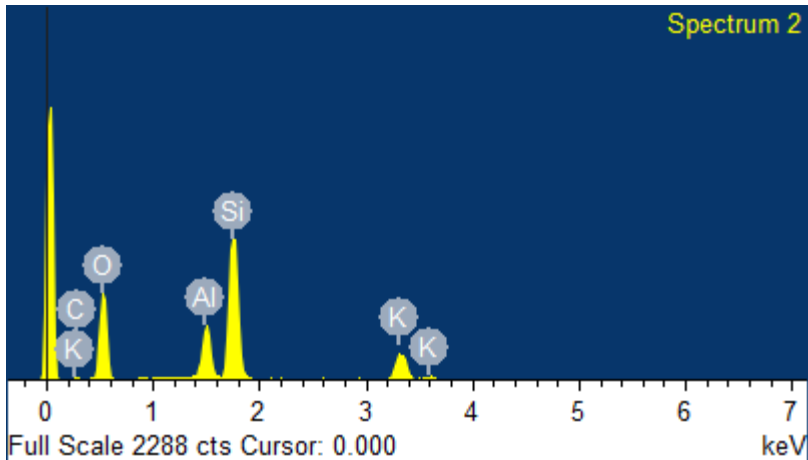
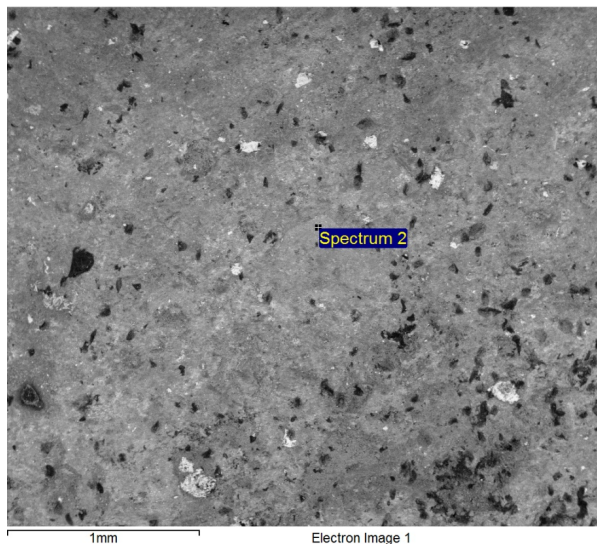
O  $\text{SiO}_2$

Al  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Si  $\text{SiO}_2$

K MAD-10 Feldspato

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	53,06	67,76
Al K	8,20	6,21
Si K	28,30	20,58
K K	10,44	5,45
Total	100,00	



## G1M23

Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

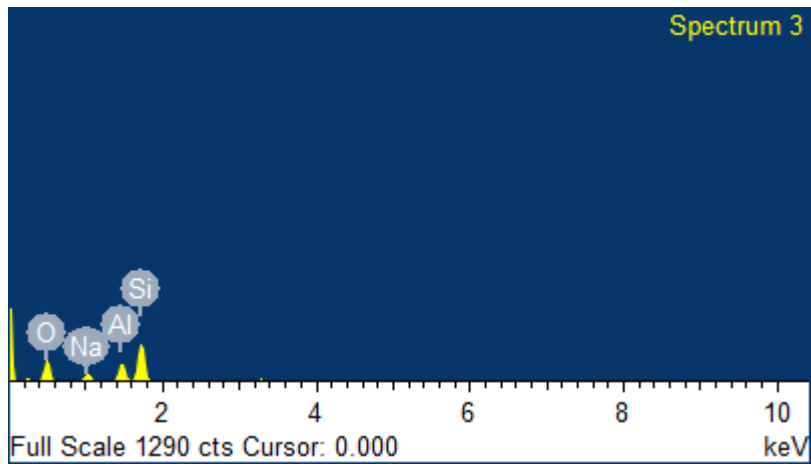
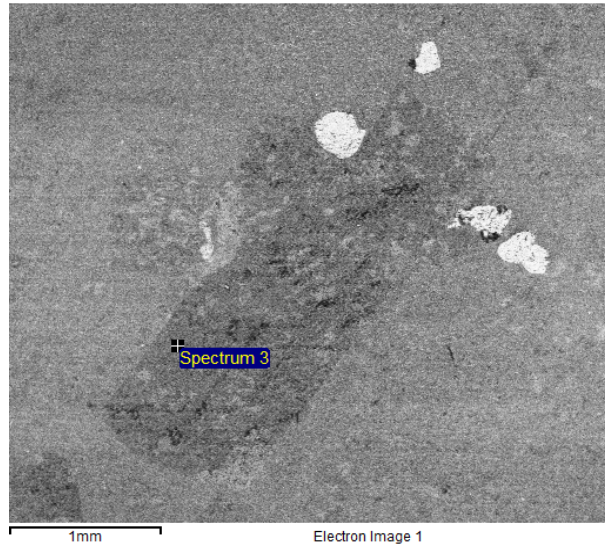
O  $\text{SiO}_2$

Na Albita

Al  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Si  $\text{SiO}_2$

Elemento	\$ Peso	% Atómico
O K	53,04	65,64
Na K	5,98	5,15
Al K	11,30	8,29
Si K	29,68	20,92
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

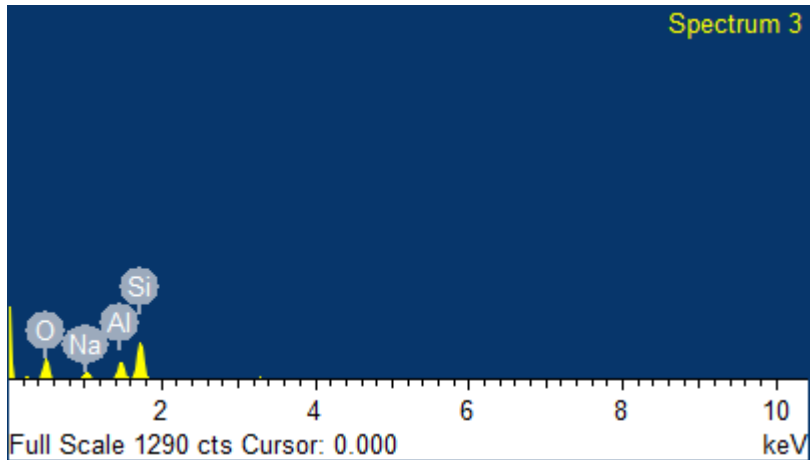
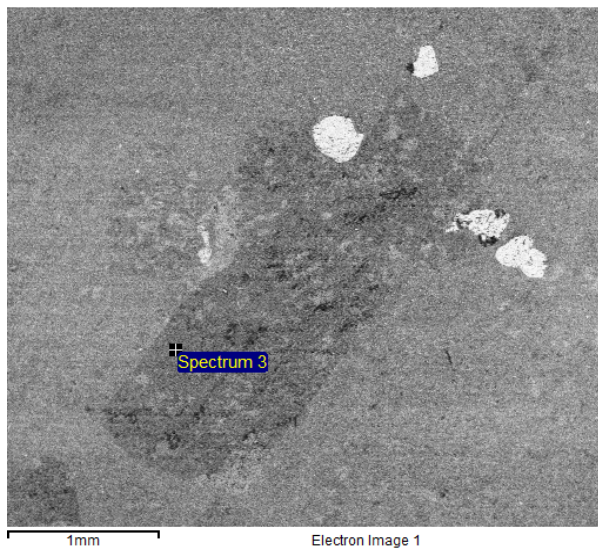
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	53,04	65,64
Na K	5,98	5,15
Al K	11,30	8,29
Si K	29,68	20,92
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 4

Standard:

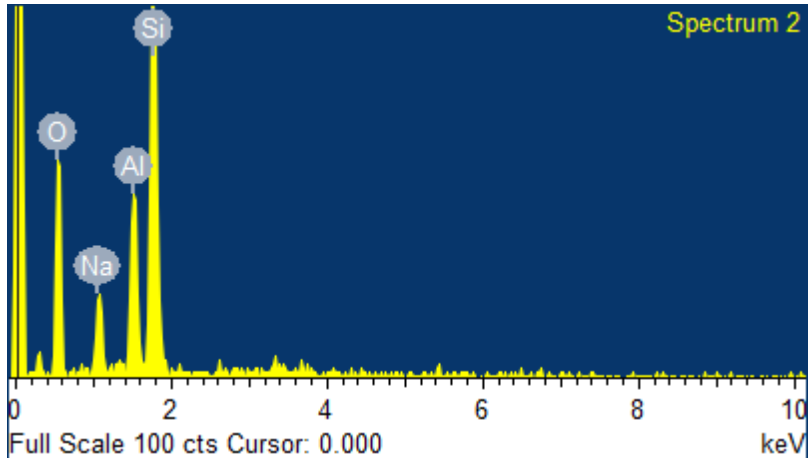
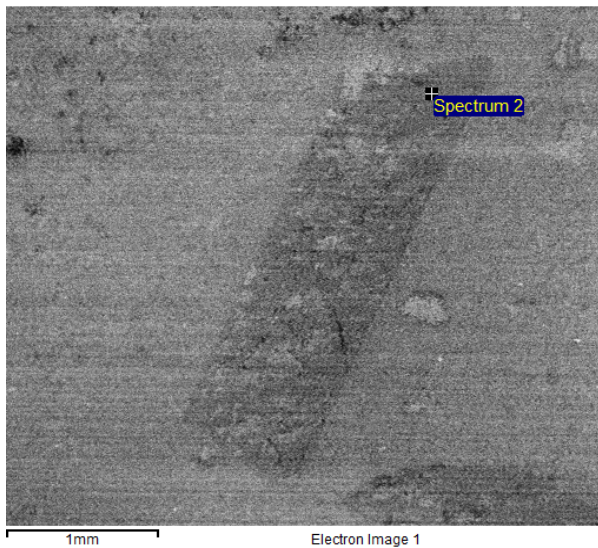
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	51,77	64,39
Na K	7,10	6,14
Al K	10,97	8,09
Si K	30,16	21,37
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 5

Standard:

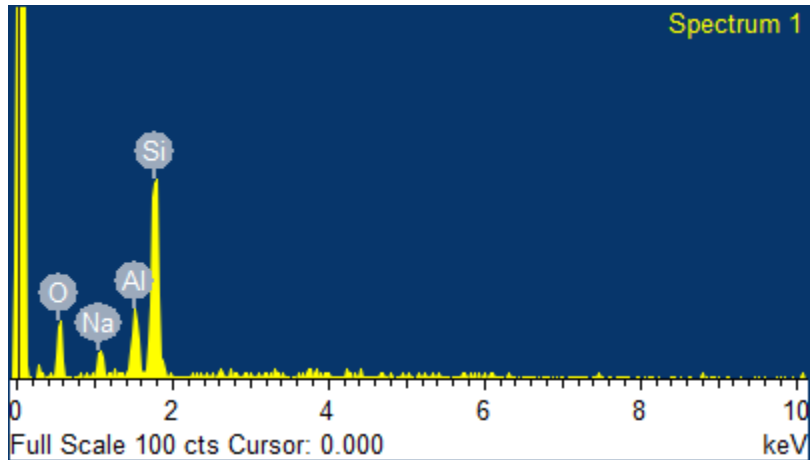
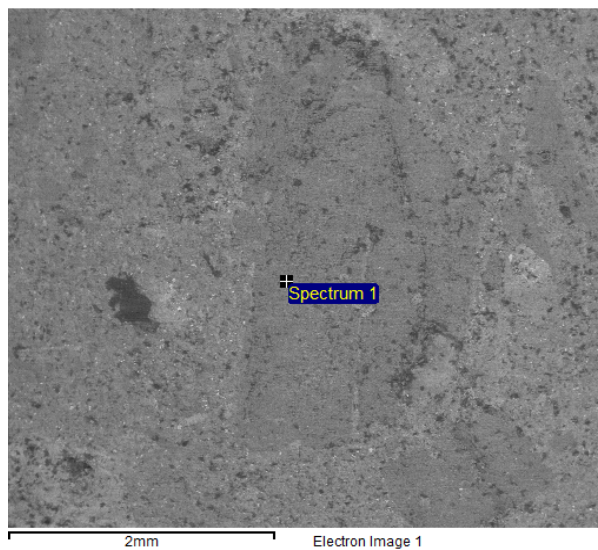
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% peso	% Atómico
O K	42,99	56,19
Na K	6,28	5,71
Al K	11,10	8,60
Si K	39,62	29,50
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones: 5

Standard:

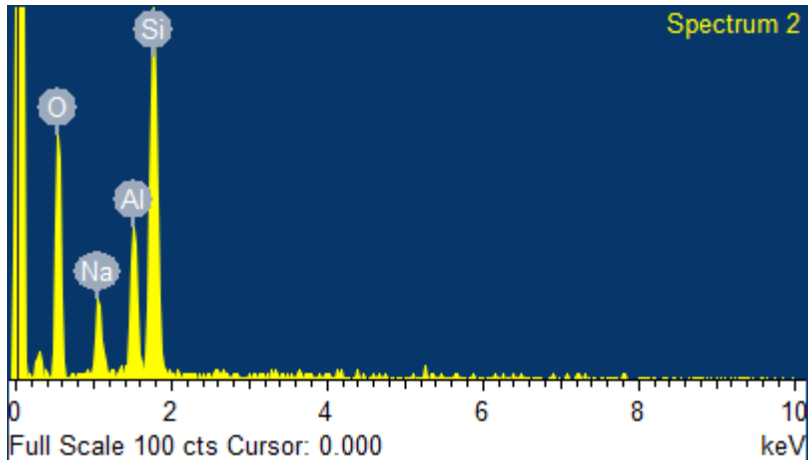
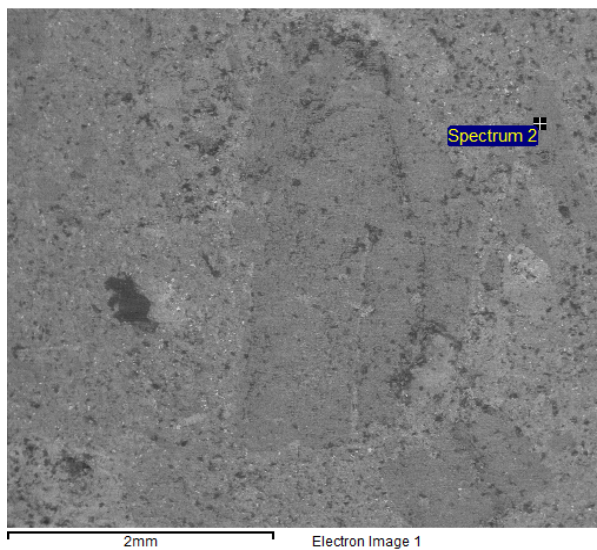
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	57,48	69,44
Na K	6,75	5,68
Al K	9,18	6,57
Si K	26,60	18,31
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones:

Standard:

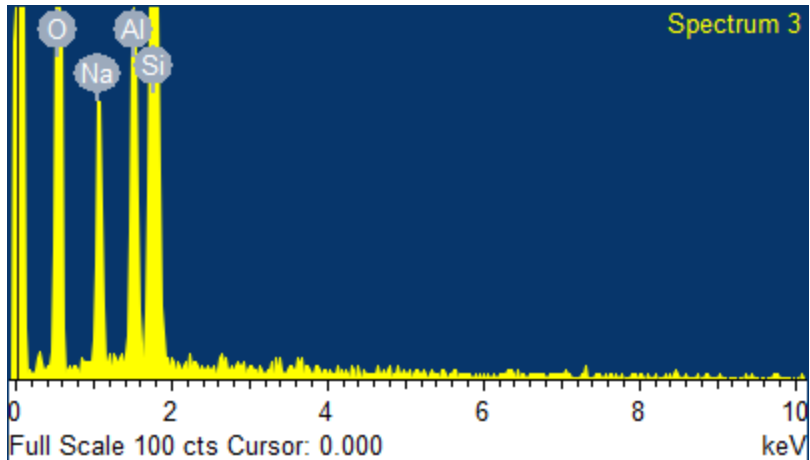
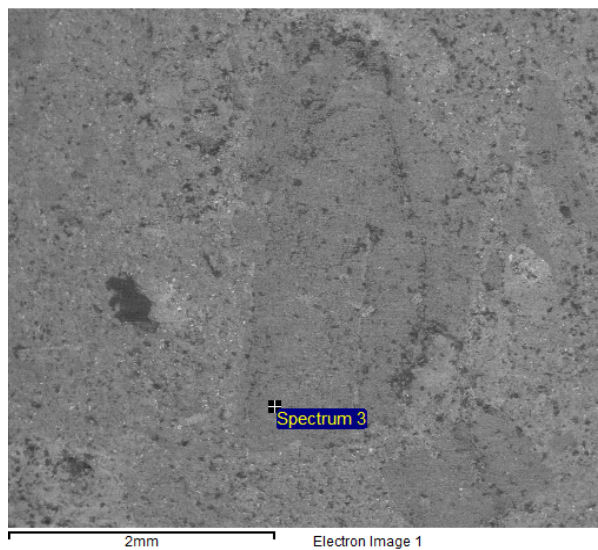
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	55,60	67,67
Na K	8,49	7,19
Al K	8,93	6,44
Si K	26,98	18,70
Total	100,00	



Procesamiento del espectro:

No se omitieron máximos

Opción de procesamiento: todos los elementos analizados (normalizados)

Número de iteraciones:

Standard:

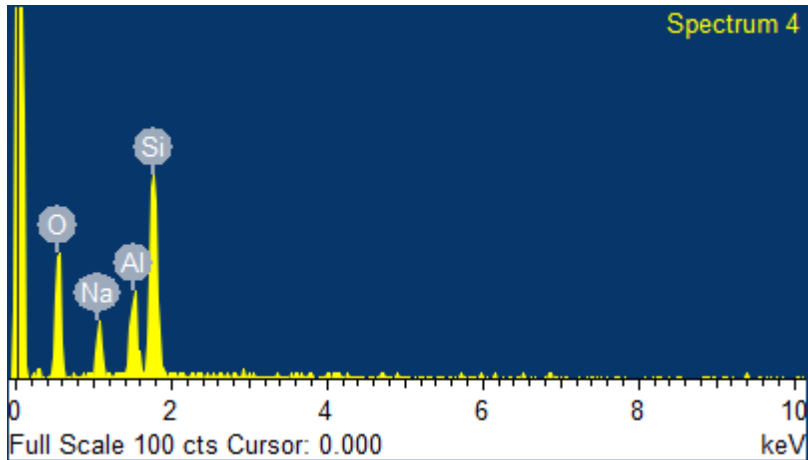
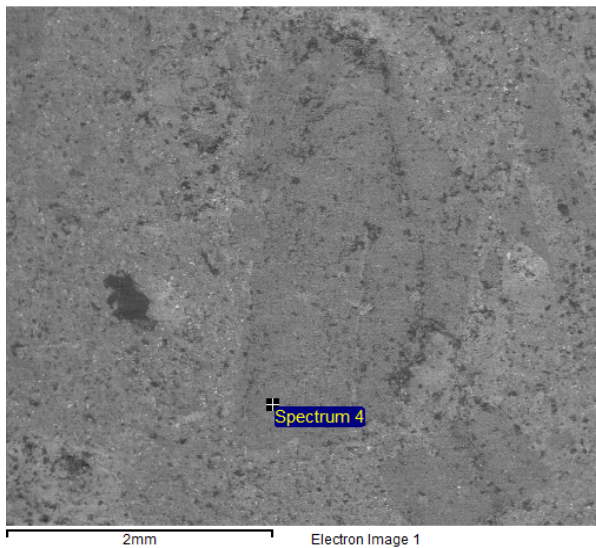
O SiO<sub>2</sub>

Na Albita

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Si SiO<sub>2</sub>

Elemento	% Peso	% Atómico
O K	54,87	66,99
Na K	8,98	7,63
Al K	8,26	5,98
Si K	27,89	19,40
Total	100,00	





## ANEXO D. IMÁGENES ARCSCENE

Con el fin de usar y aprovechar la información obtenida en terreno de la mejor manera posible, se proyectaron imágenes en 3D en el software ArcScene que corresponden a la zona de estudio, los sondeos realizados y los cuerpos mineralizados:

### Vista del Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite

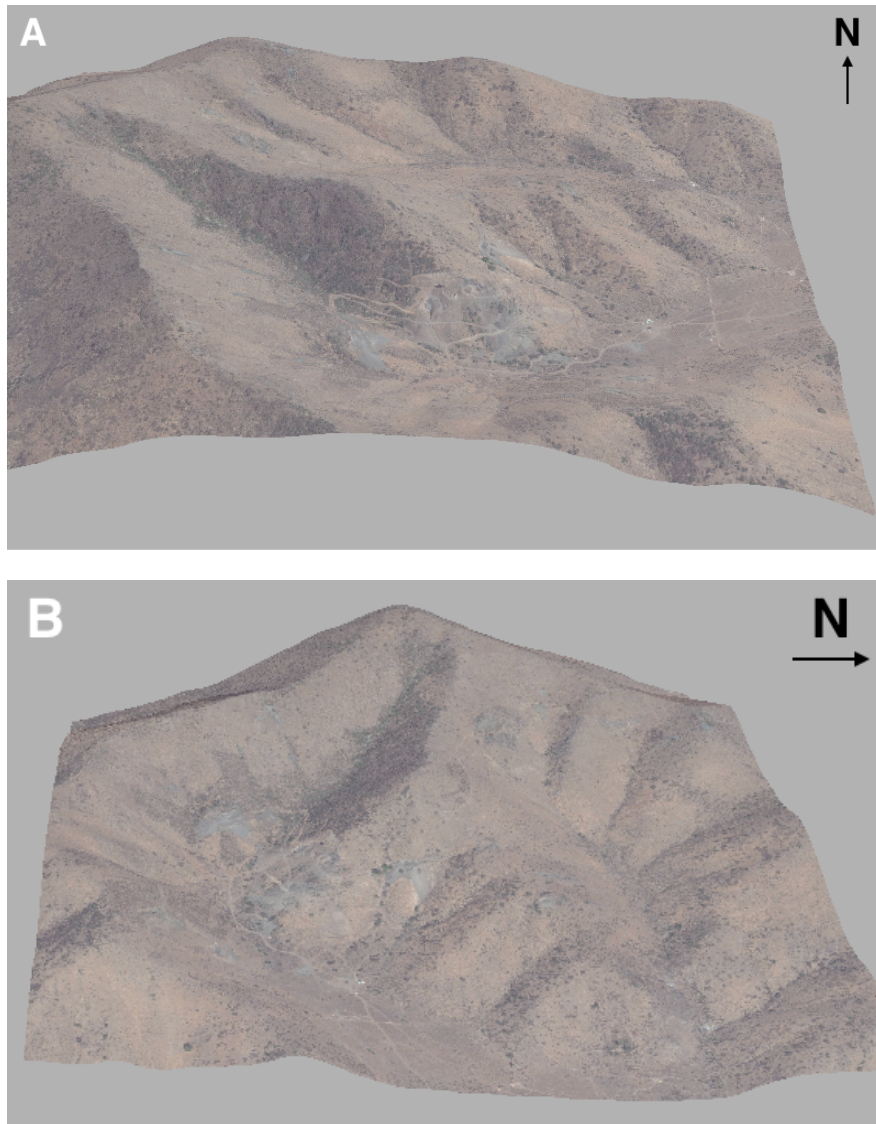


Figura 7.23. A) Vista en dirección norte del Prospecto cuprífero La Virtud – El Límite. B) Vista hacia el oeste.

## Sondaje EN-393-16

Coordenadas UTM 324.008E, 6.290.128N (Datum WGS 1984 Zona 19S).

Longitud: 260 m.

Azimut: 90°.

Inclinación inicial: -60°.

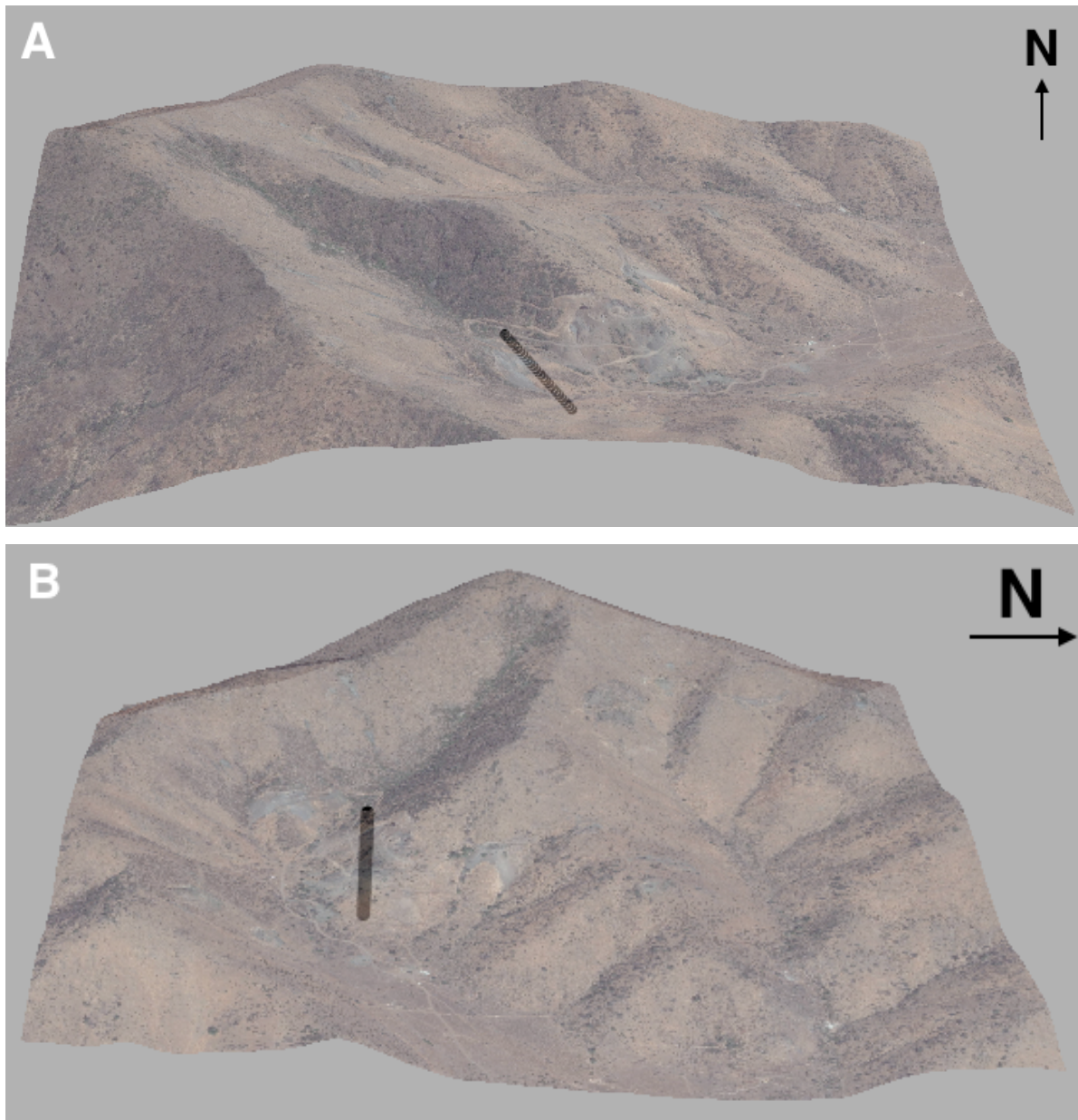


Figura 7.24. Sondajes EN-393-16. A) Vista hacia el Norte. B) Vista hacia el oeste.

## Sondaje EN-394-16

Coordenadas UTM 324.190E, 6.290.556N (Datum WGS 1984 Zona 19S).

Longitud: 200 m.

Azimut: 45°.

Inclinación inicial: -60°.

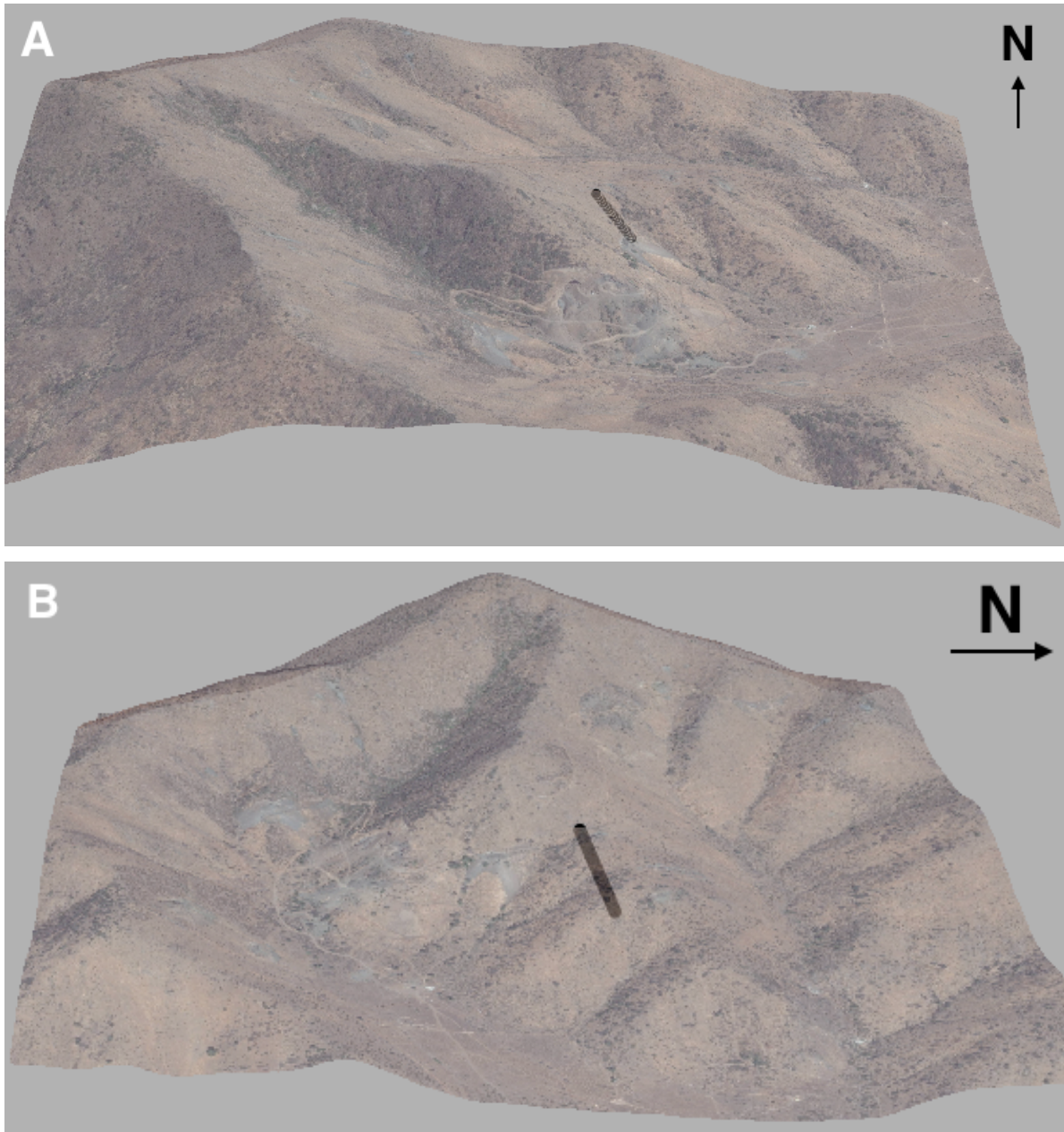


Figura 7.25. Sondaje EN-394-16. A) Vista hacia el Norte. B) Vista hacia el oeste.

## Sondaje EN-395-16

Coordenadas UTM 324.126E, 6.290.206N (Datum WGS 1984 Zona 19S).

Longitud: 340 m.

Azimut: 55°.

Inclinación inicial: -45°.

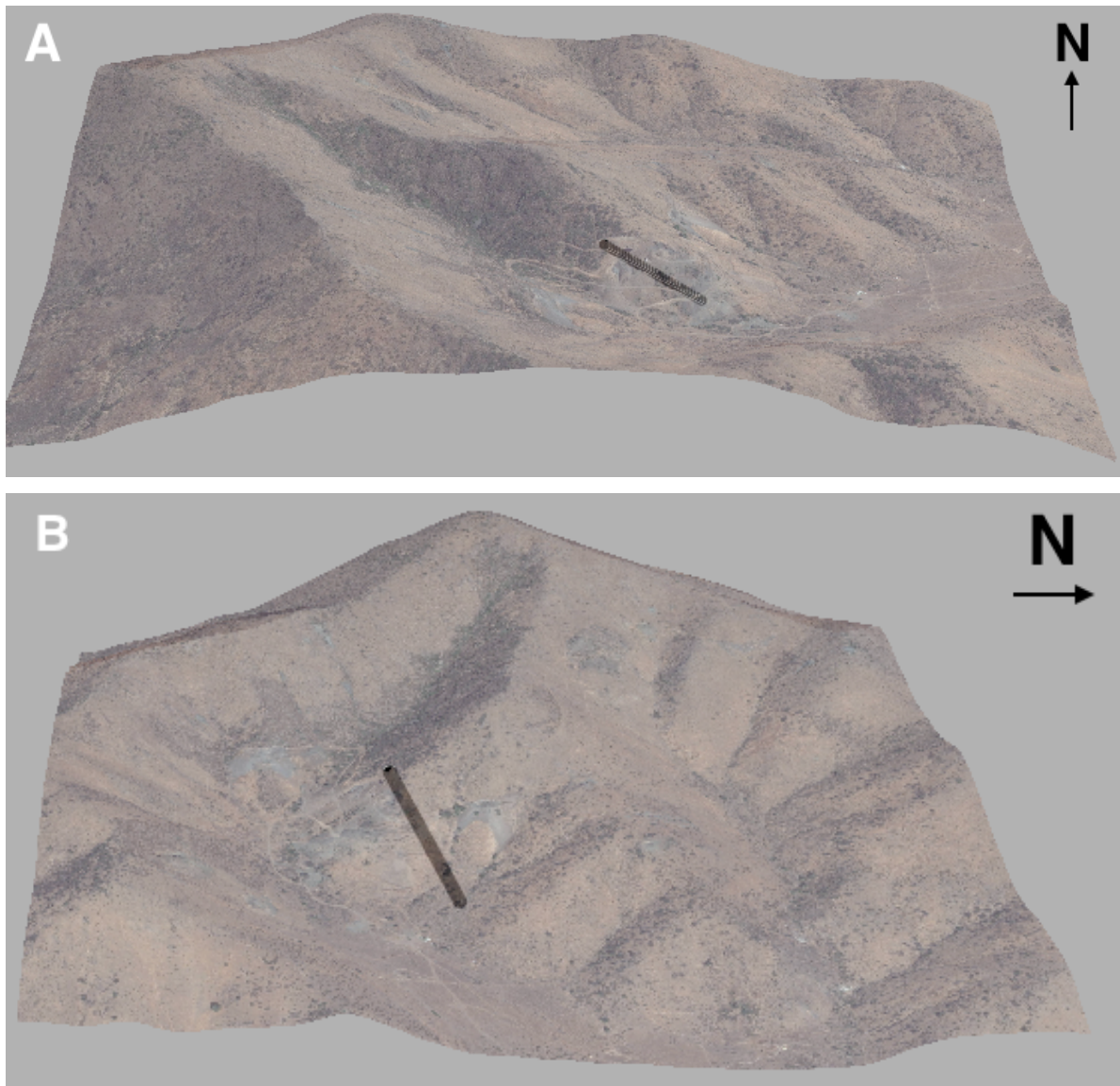


Figura 7.26. Sondaje EN-395-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Sondaje EN-396-16

Coordenadas UTM 323.959E, 6.290.255N (Datum WGS 1984 Zona 19S).

Longitud: 340 m.

Azimut: 45°.

Inclinación inicial: -70°.

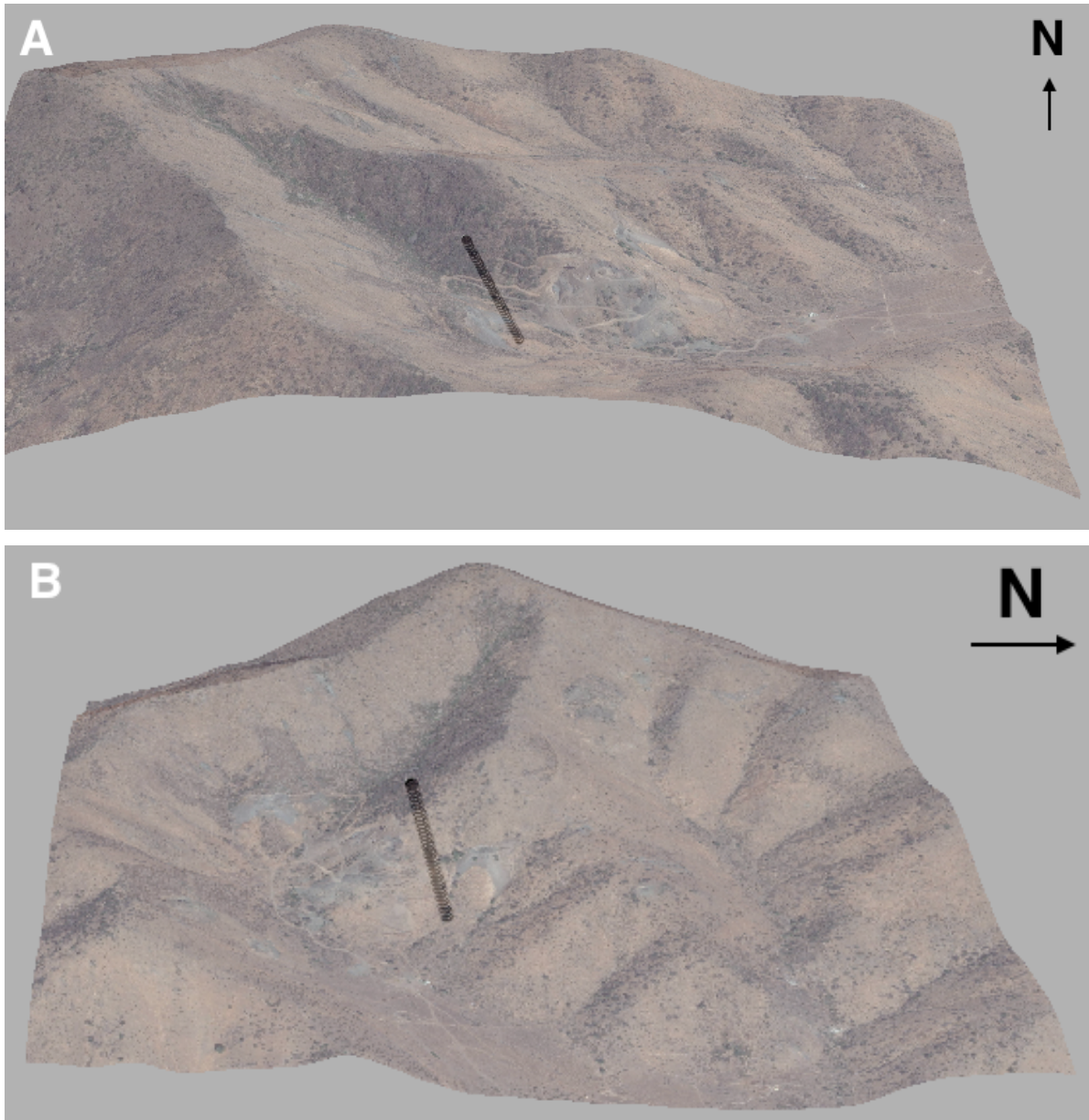


Figura 7.27. Sondaje EN-396-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Sondaje EN-420-16

Coordenadas UTM 324.259E, 6.290.400N (Datum WGS 1984 Zona 19S).

Longitud: 134 m.

Inclinación inicial:  $-90^\circ$ .

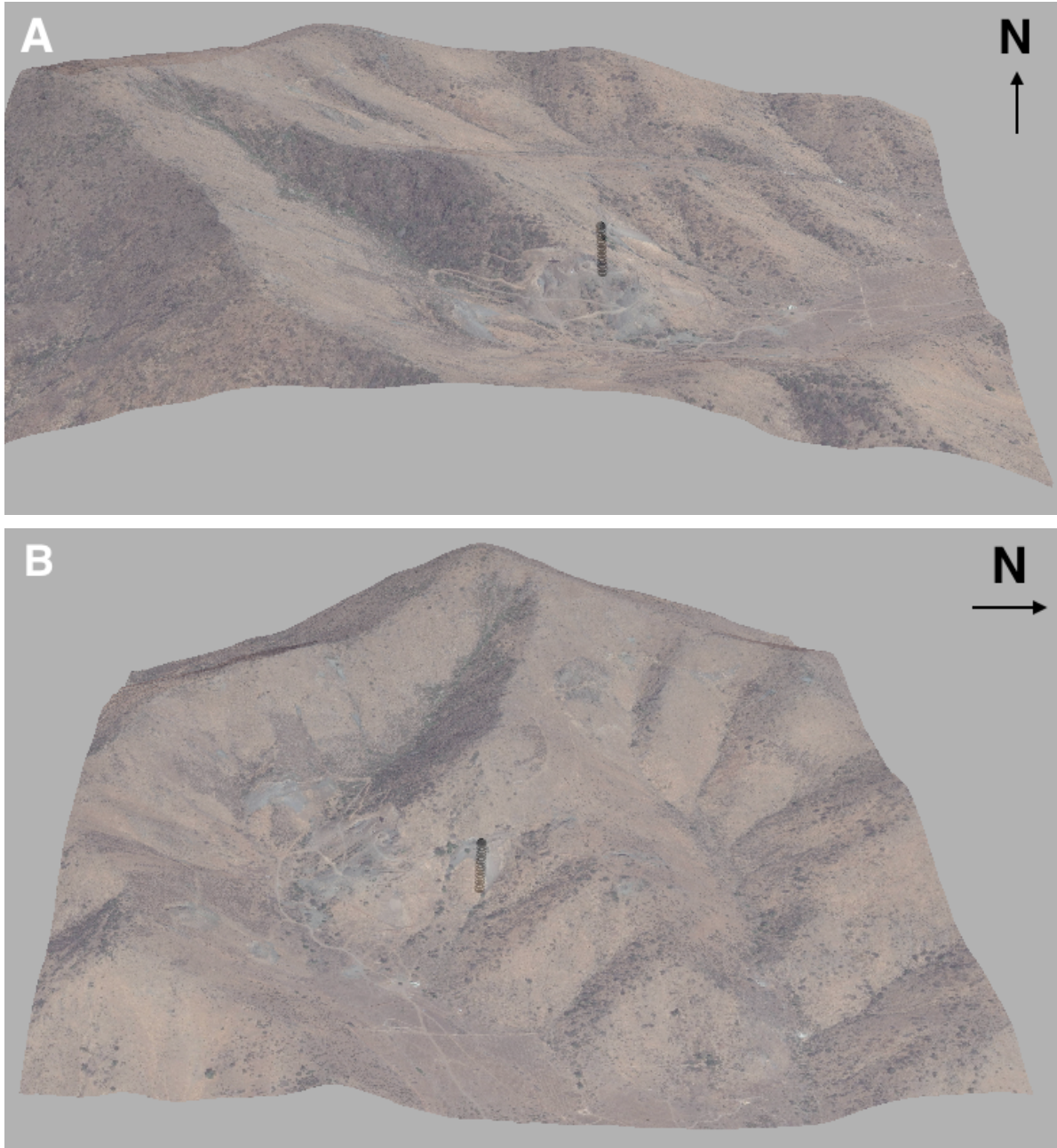


Figura 7.28. Sondaje EN-420-16. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Sondajes integrados

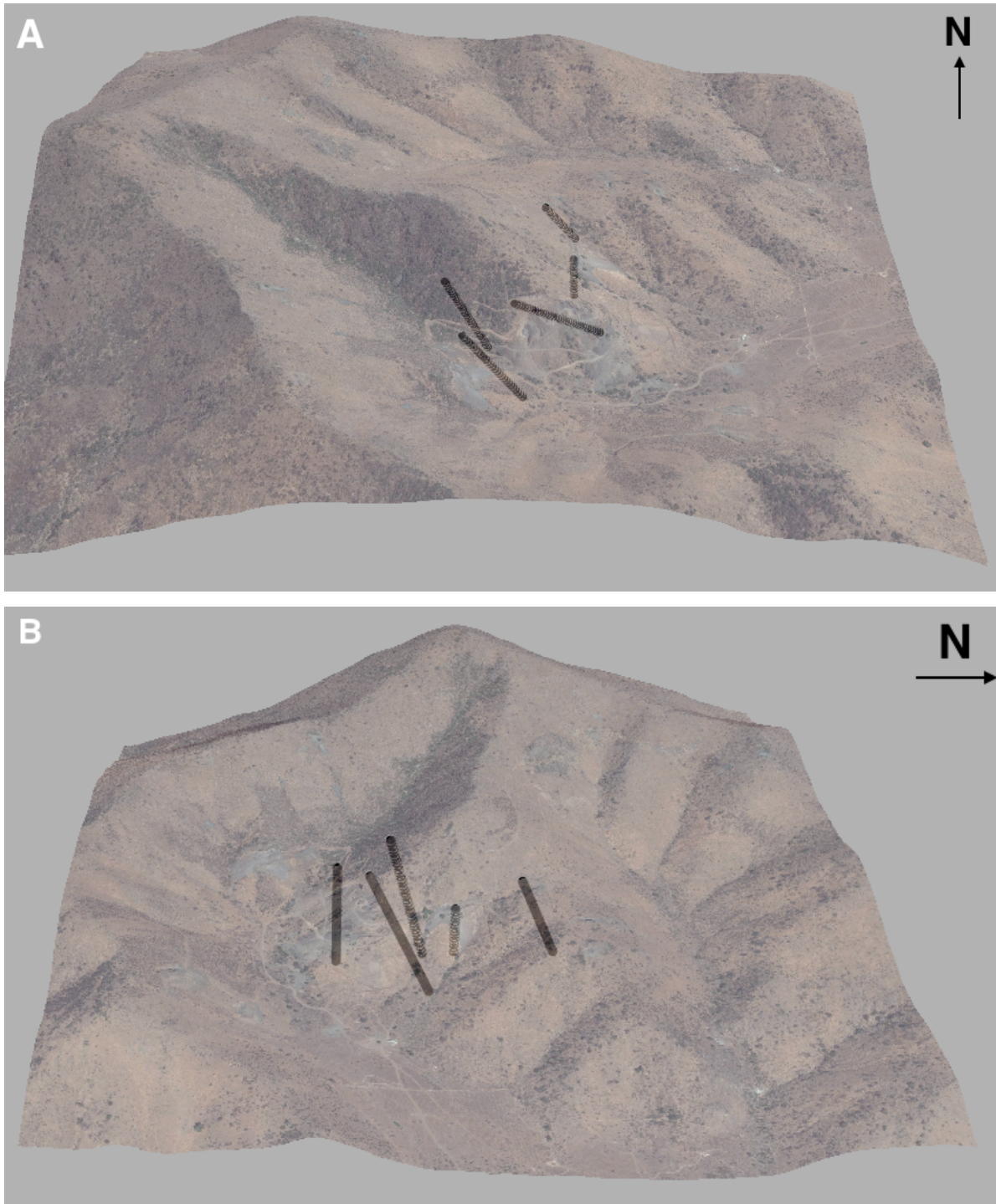


Figura 7.29. Sondajes Integrados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Veta Superior

Rumbo/Manteo: N5°W/30°W

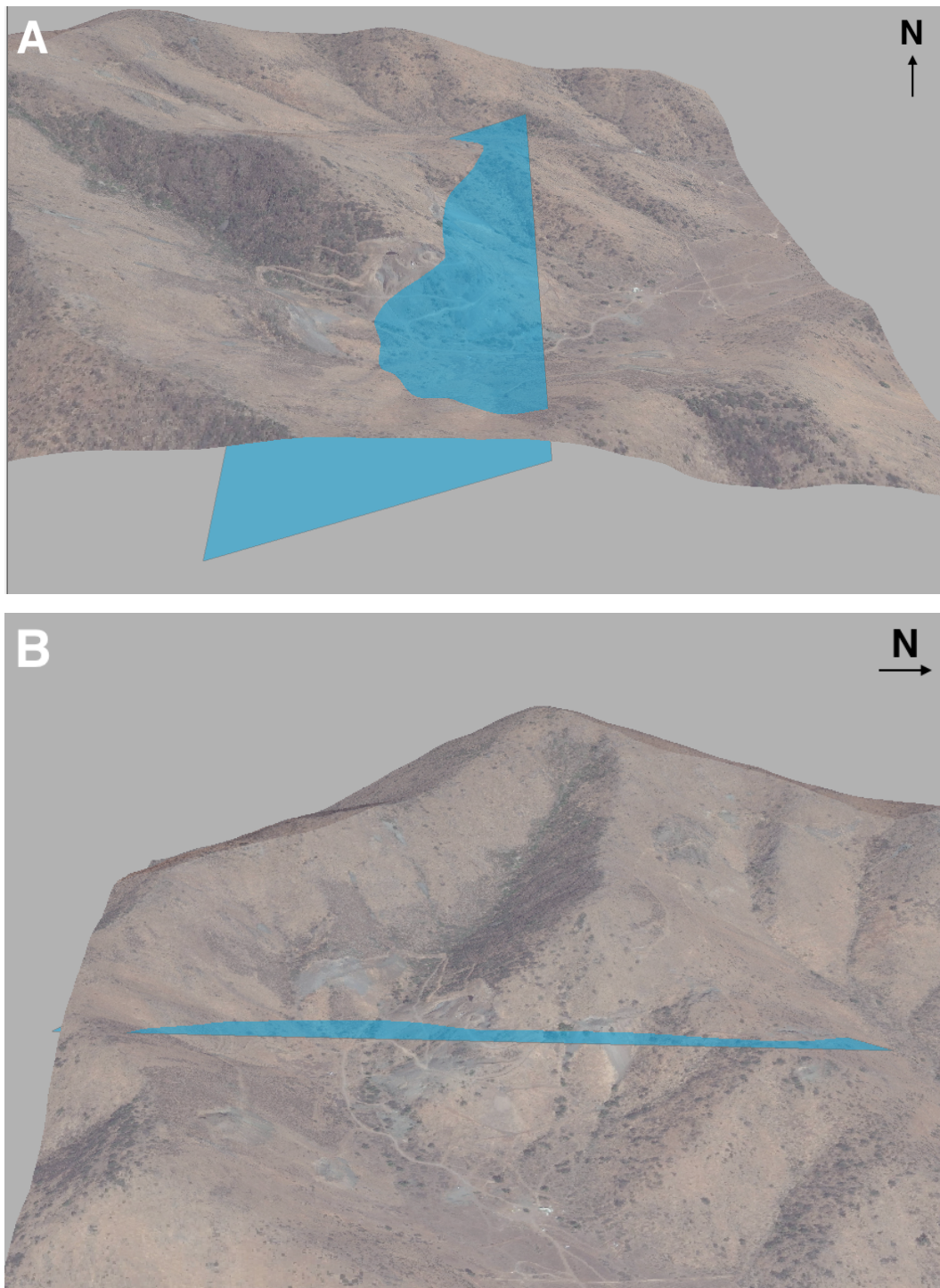


Figura 7.30. Veta Superior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.



## Veta Inferior

Rumbo/Manteo: N10°W/60°W

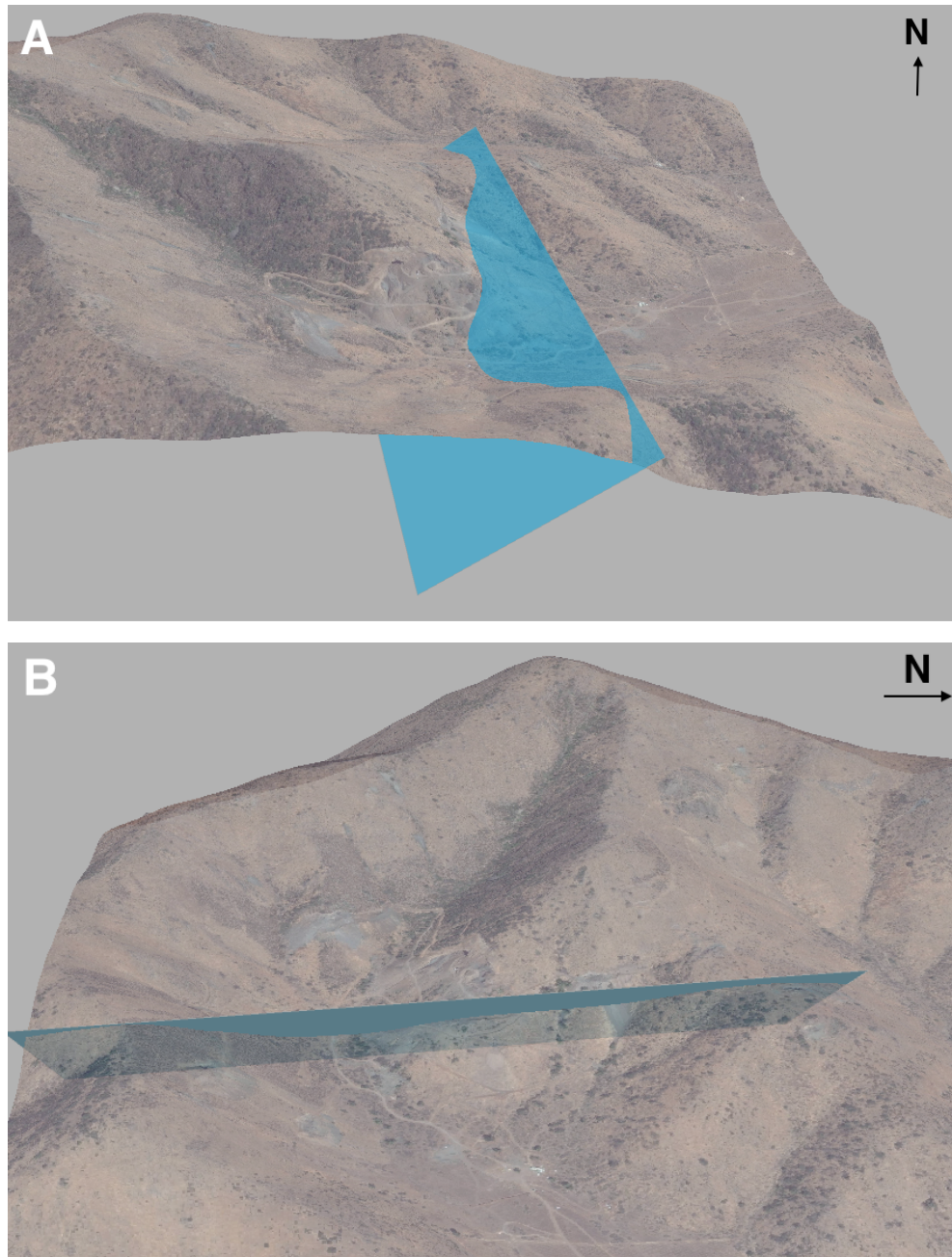


Figura 7.31. Veta Inferior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Veta Interior

Rumbo/Manteo: N60°W/60°SW

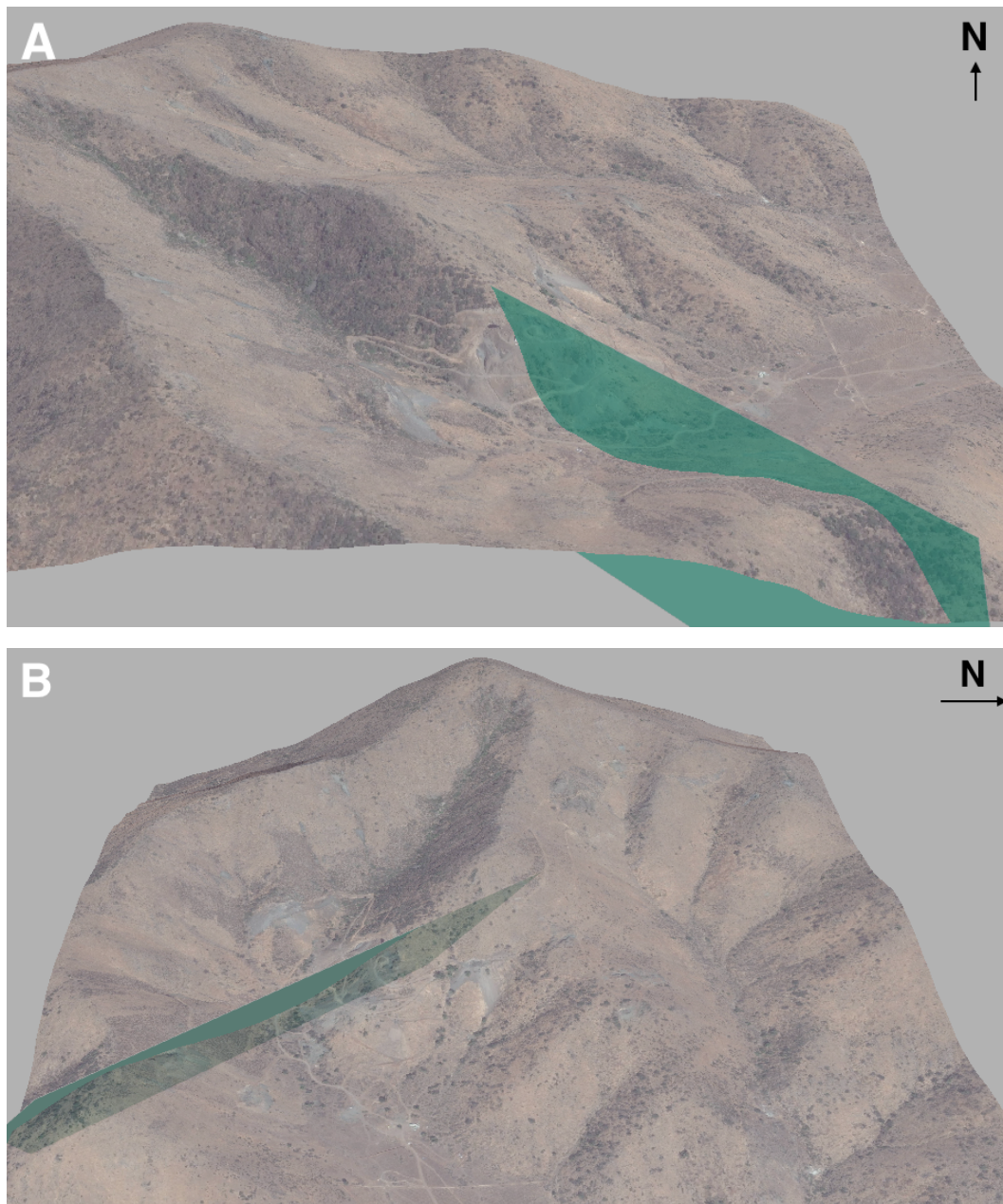


Figura 7.32. Veta Interior. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Veta principal zona norte La Virtud

Rumbo/Manteo: N70°W/55°SW

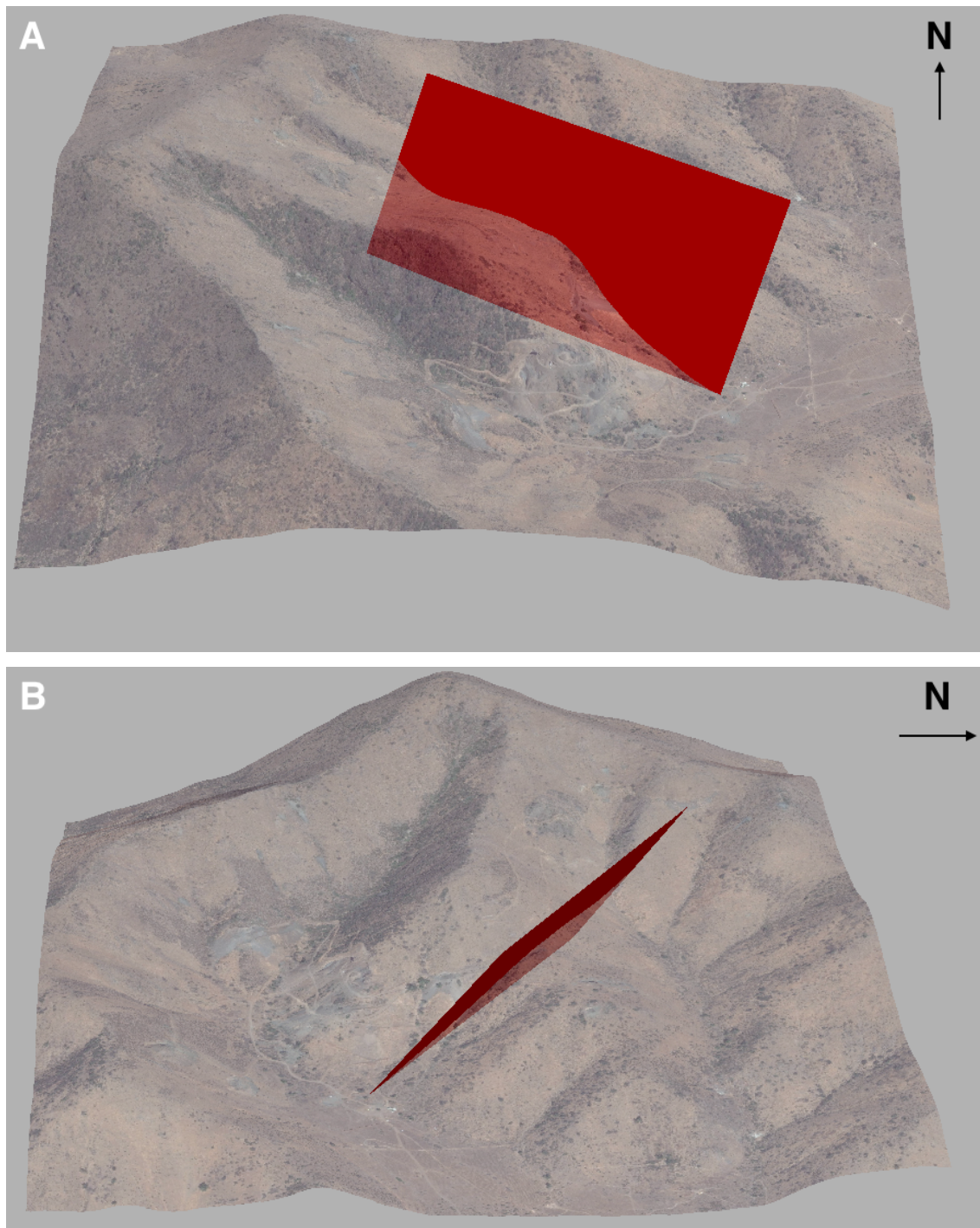


Figura 7.33. Veta Principal zona norte Propiedad Minera La Virtud. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Vetas integradas

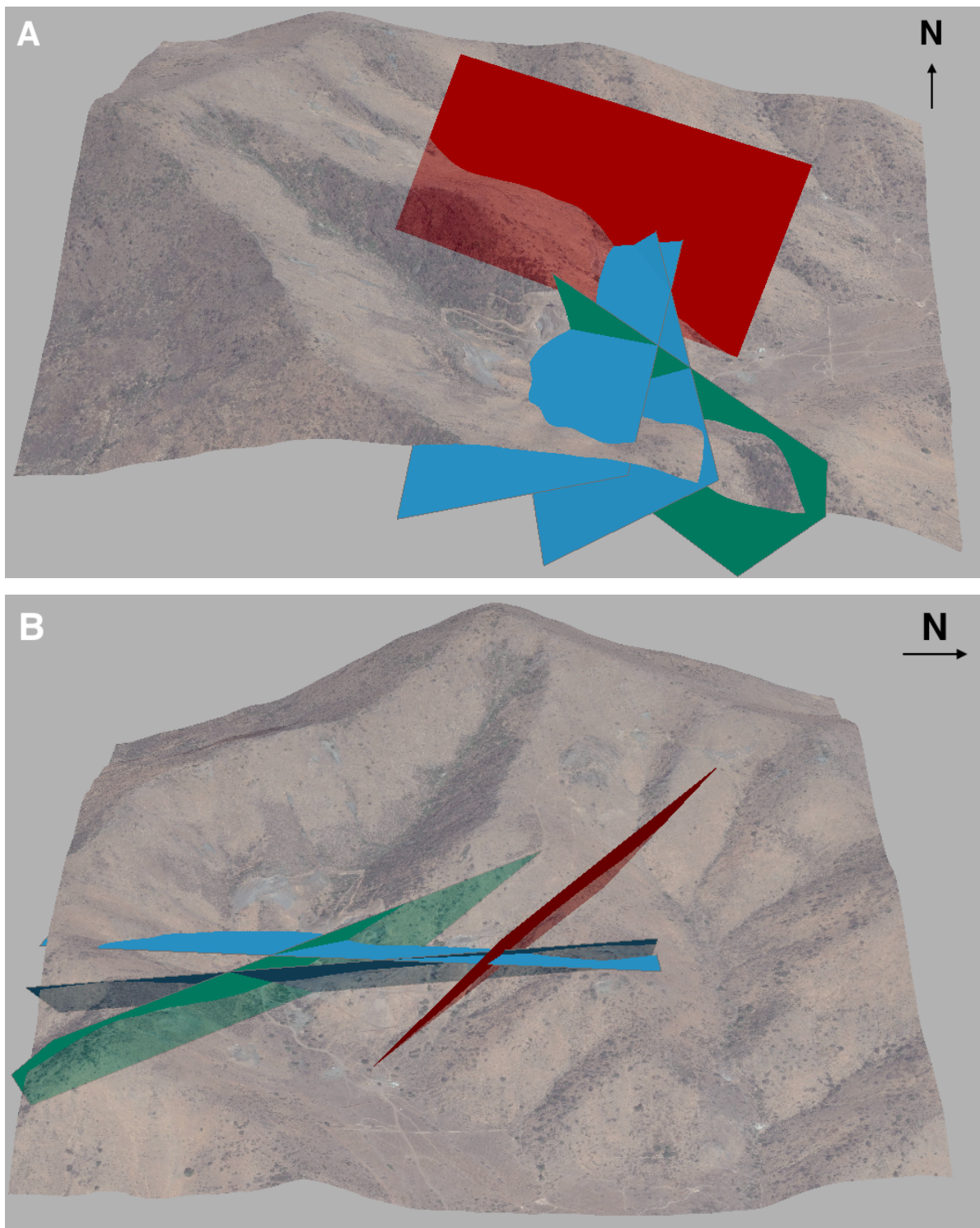


Figura 7.34. Vetas integradas. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Mineralización sondajes

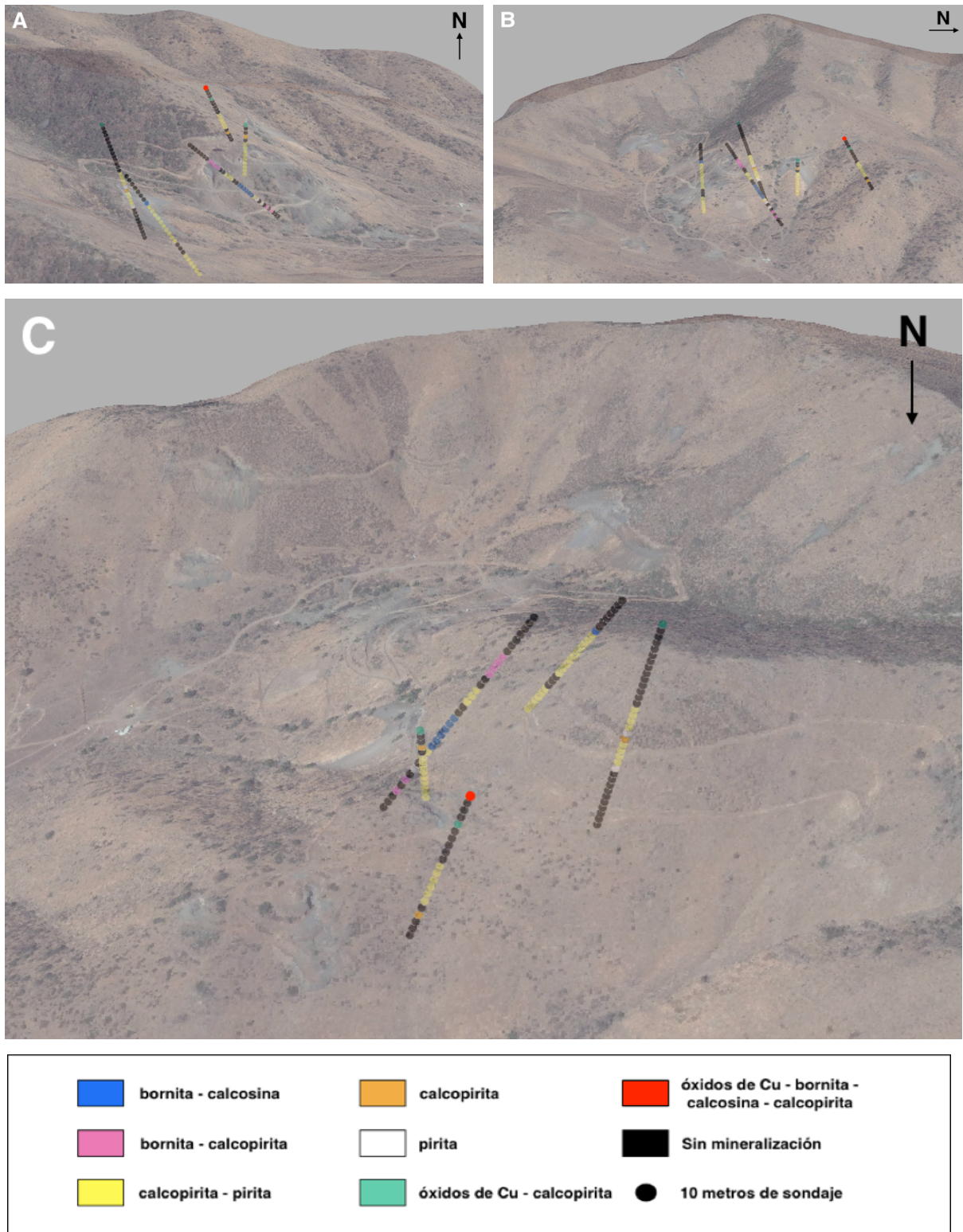


Figura 7.35. Mineralización Sondajes. A) Vista al norte. B) Vista al oeste. C) Vista al sur.

## Mineralización Sondajes sub-superficie

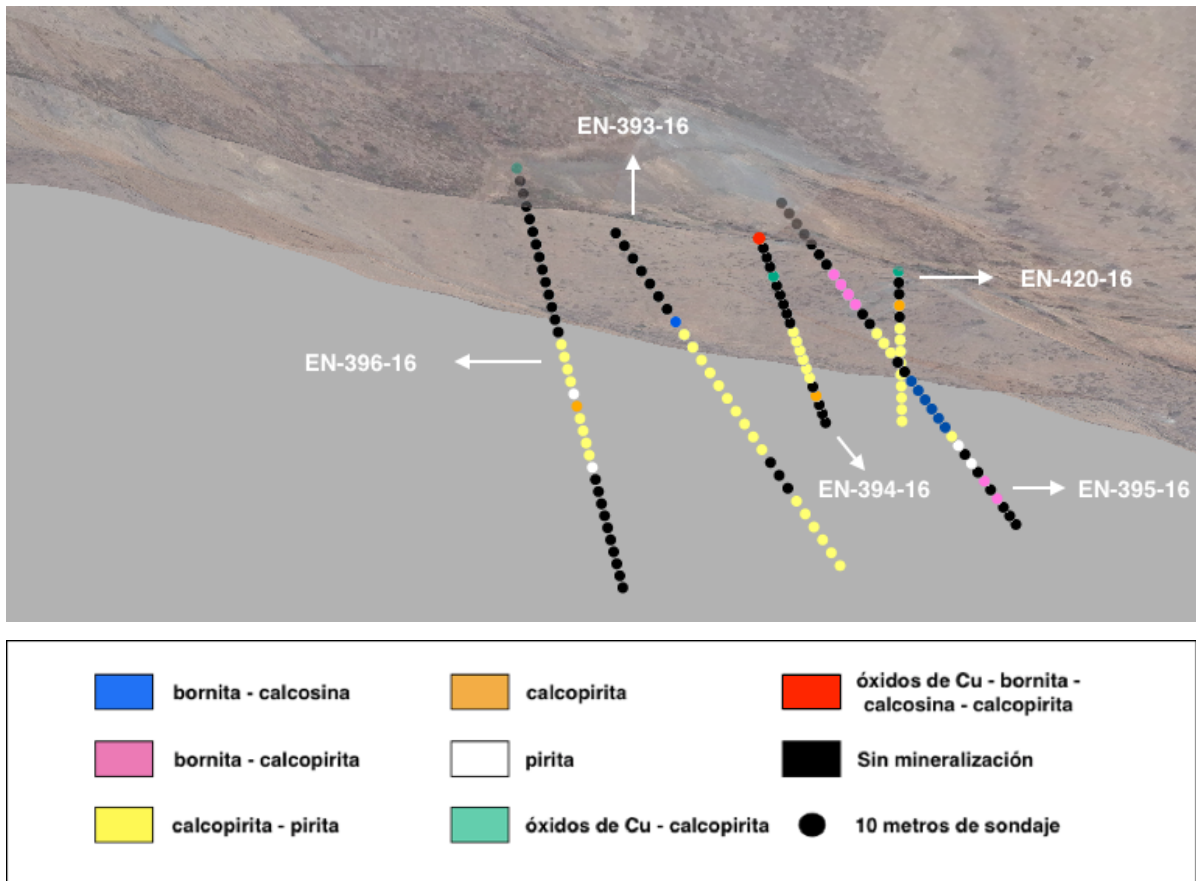


Figura 7.36. Mineralización sondajes en sub-superficie.

## Veta Superior integrado con sondajes mineralizados

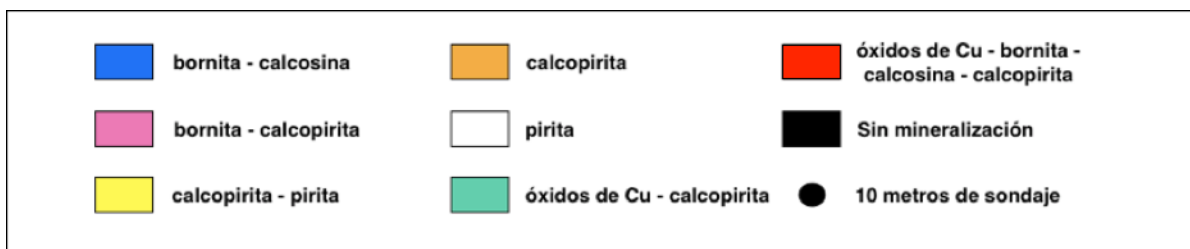
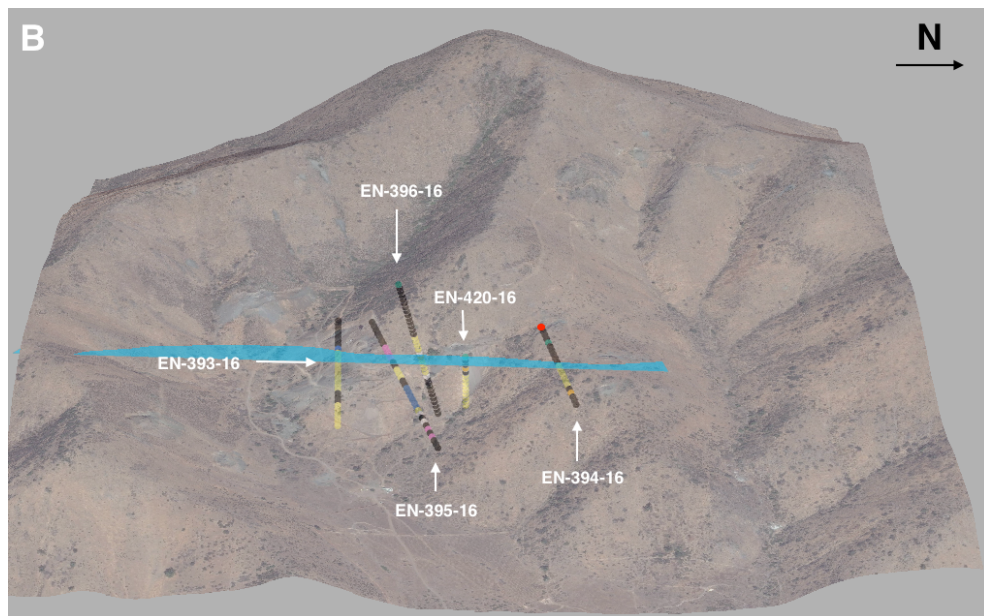
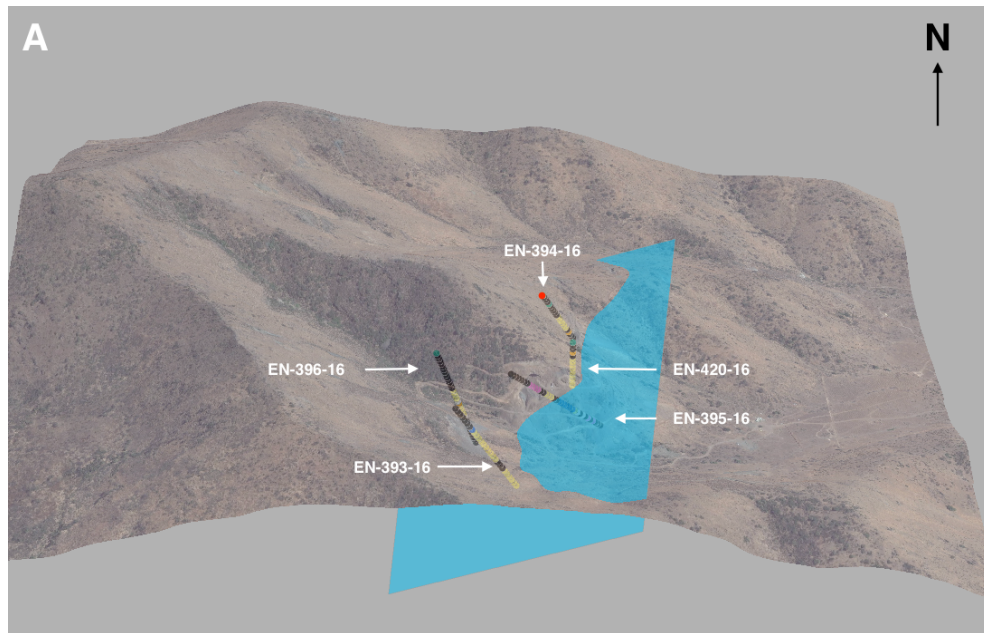


Figura 7.37. Veta Superior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Veta Inferior integrado con sondajes mineralizados

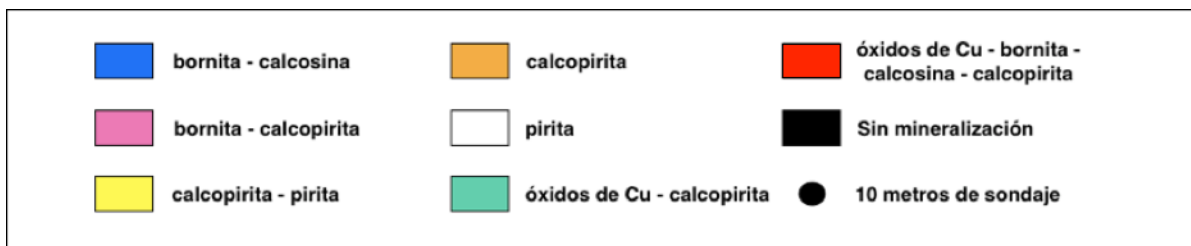
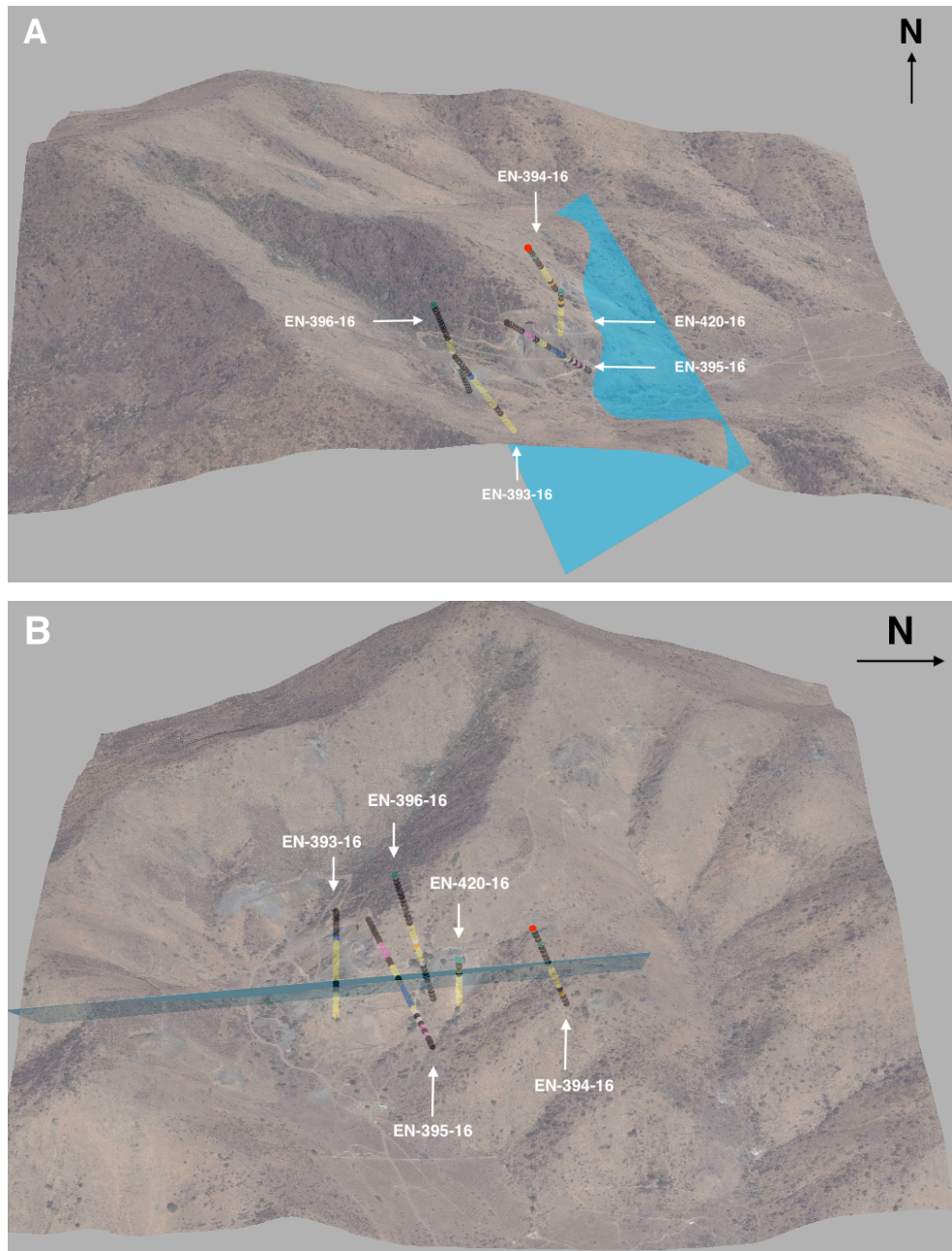


Figura 7.38. Veta Inferior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.



## Veta interior integrado con sondajes mineralizados

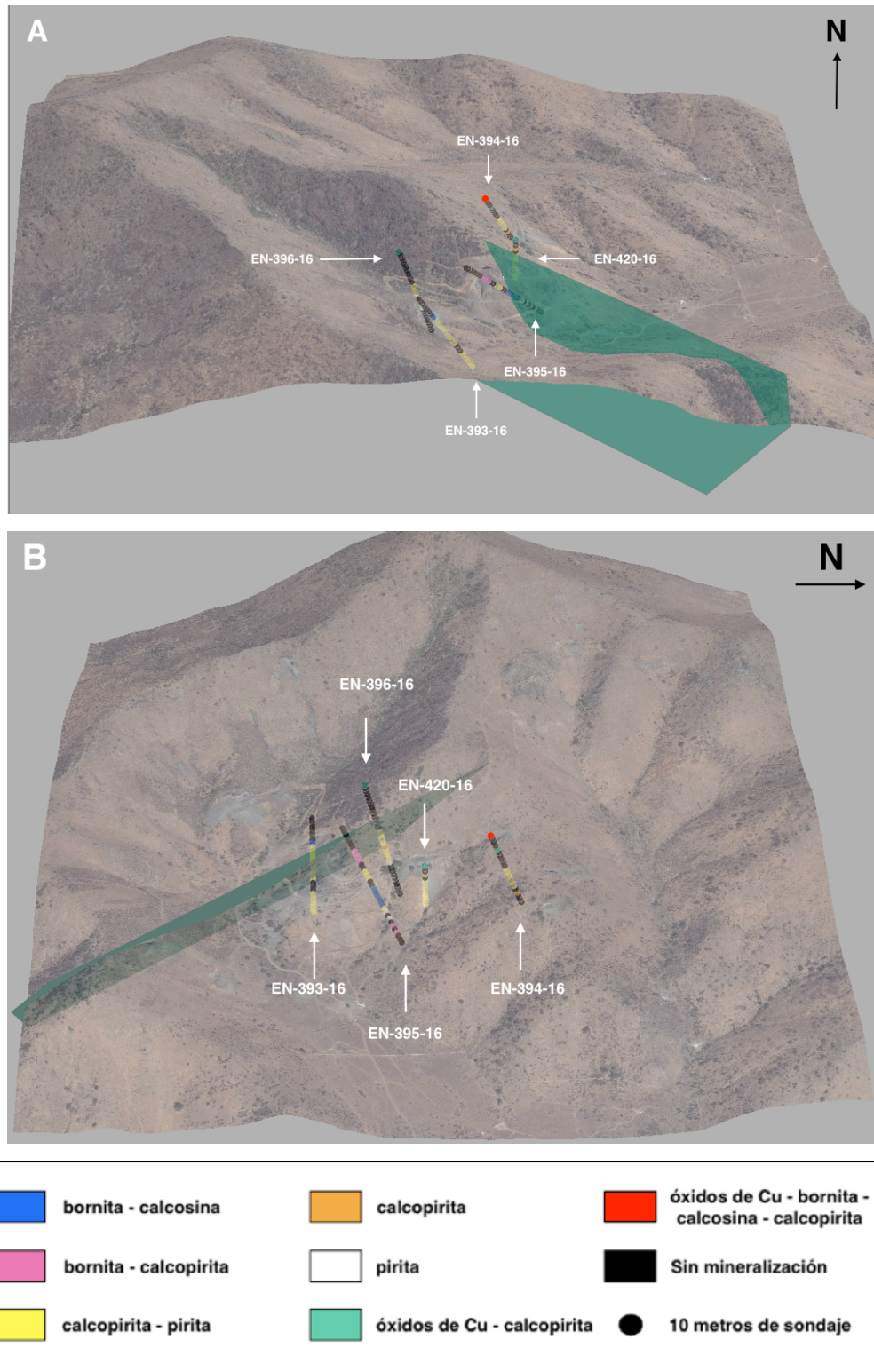


Figura 7.39. Veta interior integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.

## Veta zona norte La Virtud integrado con sondajes mineralizados

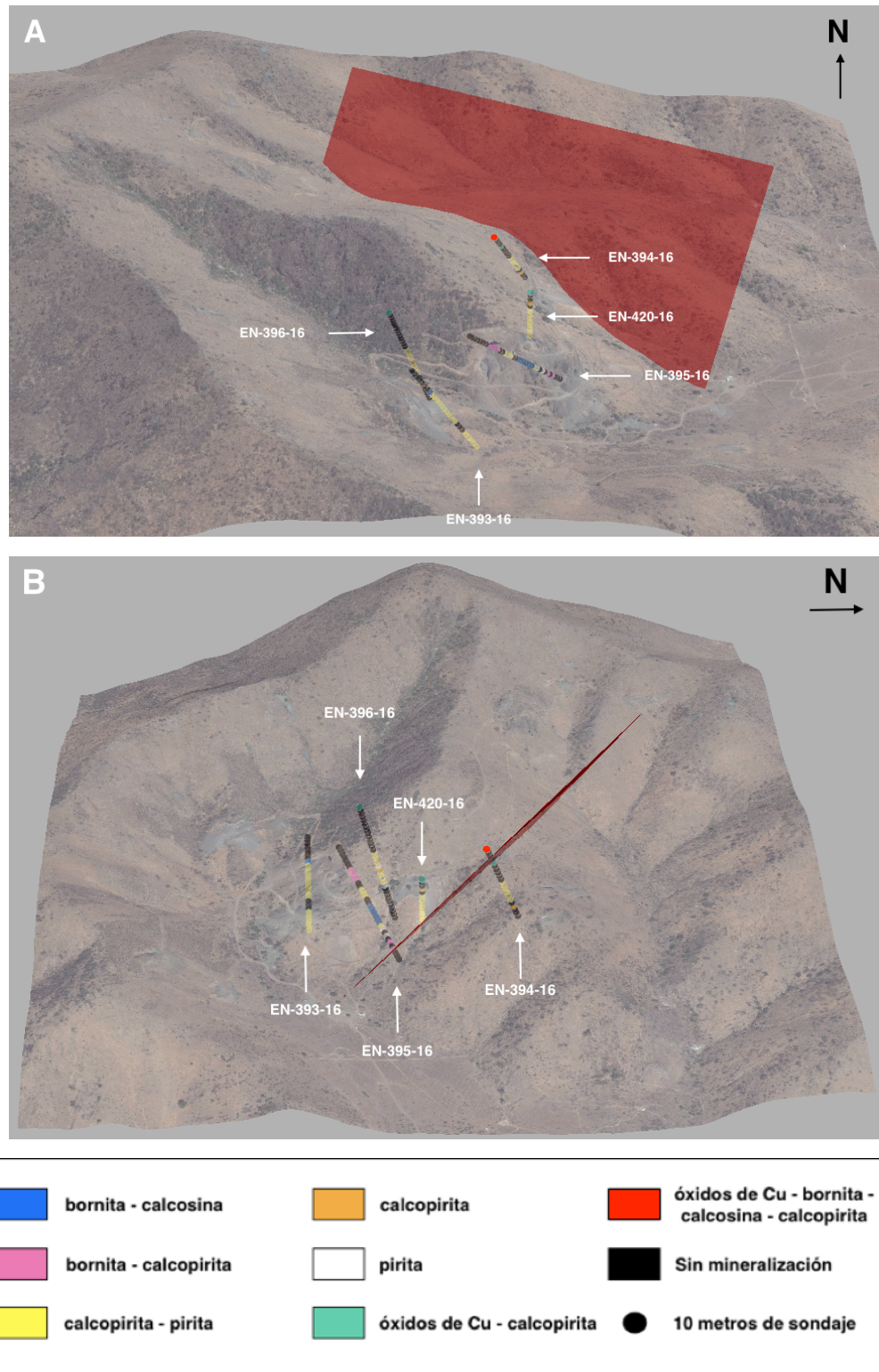


Figura 7.40. Veta zona norte La Virtud integrado con sondajes mineralizados. A) Vista hacia el norte. B) Vista hacia el oeste.