

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LAS ANOMALÍAS  
MAGNETOMÉTRICAS TERRESTRES Y LOS TIPOS DE  
ALTERACIONES HIDROTERMALES PRESENTES EN LA  
CONCESIÓN MINERA “CAÑA BRAVA”,  
PROVINCIAS DE LOJA Y EL ORO – ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**HÉCTOR WILMER MERINO FLORES**

wily.wilmer@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. OSMAN SAÚL POMA JUMBO**

osmanpoma@hotmail.com

**CO-DIRECTOR: ING. BERNARDO OSCAR BEATE CONTAG**

bbeate49@gmail.com

**Quito, Diciembre 2015**

## DECLARACIÓN

Yo, Héctor Wilmer Merino Flores, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Héctor Wilmer Merino Flores



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Héctor Wilmer Merino Flores, bajo mi supervisión.

---

Ing. Osman Saúl Poma Jumbo

DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres y mi hermano por su amor incondicional y por estar siempre apoyándome en todo lo que me he propuesto en la vida, también a toda mi familia ya que siempre están allí cuando los necesito, de manera especial a mis tíos Priscila Merino, Antonio Flores y Ángel Flores.

Al Ing. Osman Poma por aceptar dirigir este proyecto, por todos sus consejos, dedicación, y sobre todo paciencia durante la realización y culminación de este trabajo.

Al Ing. Bernardo Beate por todas sus sugerencias y comentarios para que la cristalización de este trabajo se realice.

A la Ing. Dayanara Hinojosa por sus observaciones y sugerencias en este trabajo.

A la empresa Cornerstone Ecuador S.A y a cada uno de sus profesionales, Ing. Fabián Ordóñez, Ing. Luis Muñoz, Ing. Oswaldo Arias y en especial a Ing. Yan Crepeau por el auspicio en la realización de este proyecto de investigación.

A mis profesores de la Facultad de Geología, Ing. Halina Lachowicz, Ing. Rocío López, Ing. Pablo Duque, Ing. Galo Plaza, Ing. Renán Cornejo, por todas sus enseñanzas tanto en las aulas como en las salidas al campo, a lo largo de mi vida universitaria.

A la Ing. Liliana Troncoso, Ing. Patricio Ramón, Ing. Patricia Mothes, Ing. Gorki Ruiz, Ing. Jorge Ordóñez, Dra. Silvana Hidalgo, Dr. Daniel Andrade, Ing. Silvia Vallejo y al Ing. Jorge Bustillos por estar siempre prestos a darme una mano durante mi transcurso por la universidad.

A Juan A. y Manuel S. mis acompañantes y amigos durante la recolección de datos en campo, para este trabajo. Así como a los demás trabajadores de la comunidad de Gualel con quienes compartí mis jornadas de campo en Loja.

A mis compañeros y amigos queridos Lucy A., Stefy A., Eliana B., Gaby C., Francisco V., Marco A., Cristian P., Júver J., Diego V., Camilo Z., Johnny G., Daniel S., Yesenia E., Karlita M. y los demás, por compartir juntos los éxitos,

fracasos, fiestas, salidas al campo, trabajos, locuras y muchas otras vivencias en esta época universitaria.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron en la realización de esta investigación, les agradezco mucho.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, NIMIA FLORES y MARCELO MERINO*

*A mi hermano, ANDRÉS MERINO*

*A toda mi familia*

## CONTENIDO

|   |       |
|---|-------|
| <b>DECLARACIÓN</b> .....                | II    |
| <b>CERTIFICACIÓN</b> .....              | III   |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....            | IV    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                | VI    |
| <b>CONTENIDO</b> .....                  | VII   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....          | X     |
| <b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</b> .....      | XV    |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....           | XIX   |
| <b>ÍNDICE DE MAPAS</b> .....            | XIX   |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....           | XX    |
| <b>RESUMEN</b> .....                    | XXI   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                   | XXIII |
|   |       |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                 | 1     |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....               | 1     |
| 1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS ..... | 1     |
| 1.2 OBJETIVOS .....                     | 2     |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....            | 2     |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....       | 2     |
| 1.3 ALCANCE .....                       | 3     |
| 1.4 METODOLOGÍA .....                   | 3     |
| 1.5 ÁREA DE ESTUDIO .....               | 4     |
| 1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO .....          | 4     |
| 1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA .....     | 7     |
| 1.5.3 CLIMA .....                       | 10    |
| 1.5.4 FLORA Y FAUNA .....               | 11    |
| 1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS .....    | 15    |
| 1.5.6 INFRAESTRUCTURA .....             | 16    |
| 1.6 TRABAJOS ANTERIORES .....           | 17    |

|  |    |
|--|----|
| 1.6.1 RIO TINTO ZINC CORPORATION (1994) .....                                  | 17 |
| 1.6.2 BRITISH GEOLOGICAL SURVEY Y EL GOBIERNO DEL ECUADOR<br>(1995-2000) ..... | 17 |
| 1.6.3 IAMGOLD CORPORATION (2000) .....   | 18 |
| 1.6.4 CORNERSTONE (2007-2015) .....  | 18 |
| 1.7 DESARROLLO DEL TRABAJO .....   | 18 |
| CAPÍTULO 2 .....   | 20 |
| MARCO GEOLÓGICO .....  | 20 |
| 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL .....  | 20 |
| 2.1.1 INTRODUCCIÓN .....   | 20 |
| 2.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA .....  | 21 |
| 2.1.3 INTRUSIONES .....  | 28 |
| 2.1.4 ESTRUCTURAS .....  | 28 |
| 2.1.5 ESTILOS DE MINERALIZACIÓN .....  | 29 |
| 2.1.6 HISTORIA GEOLÓGICA .....   | 34 |
| 2.2 GEOLOGÍA LOCAL .....   | 36 |
| 2.2.1 INTRODUCCIÓN .....   | 36 |
| 2.2.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                  | 36 |
| 2.2.3 LITOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                      | 38 |
| 2.2.4 ESTRUCTURAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                    | 56 |
| 2.2.5 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                            | 58 |
| CAPÍTULO 3 .....   | 59 |
| MAGNETOMETRÍA TERRESTRE .....  | 59 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN .....   | 59 |
| 3.1.1 CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE .....  | 60 |
| 3.1.2 GEOMAGNETISMO .....  | 61 |
| 3.1.3 UNIDADES USADAS EN MAGNETISMO .....                                      | 62 |
| 3.1.4 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO .....                                      | 62 |
| 3.1.5 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA .....  | 62 |
| 3.1.6 PERMEABILIDAD MAGNÉTICA .....  | 63 |
| 3.1.7 COORDENADAS GEOMAGNÉTICAS .....  | 63 |
| 3.1.8 VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO MAGNÉTICO<br>TERRESTRE .....            | 64 |
| 3.1.9 CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA .....                     | 65 |
| 3.2 PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA .....   | 66 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.1 ANOMALÍAS MAGNÉTICAS .....  | 66  |
| 3.2.2 COMPORTAMIENTO MAGNÉTICO DE MATERIALES ANTE UN CAMPO EXTERNO .....              | 67  |
| 3.2.3 MAGNETIZACIÓN DE ROCAS.....   | 69  |
| 3.2.4 EFECTO MAGNÉTICO TOTAL SOBRE CUERPOS MAGNÉTICOS ENTERRADOS EN EL SUBSUELO ..... | 70  |
| 3.2.5 MAGNETÓMETRO .....  | 70  |
| 3.3 METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA .....                                | 72  |
| 3.3.1 INSTRUMENTACIÓN.....  | 72  |
| 3.3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SOBRE EL MAGNETÓMETRO GSM-19 OVERHAUSER.....          | 75  |
| 3.3.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA .....  | 76  |
| 3.3.4 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO .....  | 77  |
| 3.4 OPERACIONES DE CAMPO .....  | 77  |
| 3.4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA TOMA DE DATOS .....                                | 77  |
| 3.4.2 DETALLES ADQUICISIÓN DE DATOS .....   | 80  |
| 3.4.3 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....  | 80  |
| 3.4.4 ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO .....   | 80  |
| 3.5 TRABAJO DE GABINETE.....  | 81  |
| 3.5.1 SOFTWARE UTILIZADO.....   | 81  |
| 3.5.2 TRANSFERENCIA DE DATOS CRUDOS (Sin procesar).....                               | 81  |
| 3.5.3 MAPA DE LÍNEAS DE MUESTREO CON DATOS CRUDOS (SIN PROCESAR) .....                | 83  |
| 3.5.4 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS .....  | 84  |
| 3.6 ESTUDIO MAGNÉTICO .....   | 96  |
| 3.6.1 MAPA DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL .....   | 96  |
| 3.6.2 MAPA DE REDUCCIÓN A POLO .....  | 97  |
| 3.6.3 MAPA DE PRIMERA DERIVADA VERTICAL .....   | 97  |
| 3.6.4 ANÁLISIS DE MAPAS MAGNÉTICOS .....  | 101 |
| CAPÍTULO 4 .....  | 104 |
| ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....  | 104 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN .....  | 104 |
| 4.2 MARCO TEÓRICO .....   | 104 |
| 4.2.1 ALTERACIONES HIDROTERMALES .....  | 104 |
| 4.2.2 TERRASPEC.....  | 109 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3 TIPOS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES PROPUESTAS EN EL MAPA DE CORNERSTONE ..... | 112 |
| 4.4 ESTUDIO DE MUESTRAS DE ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....                            | 117 |
| 4.3.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS CON TERRASPEC .....                                   | 117 |
| 4.3.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ALTERACIÓN EN LÁMINAS DELGADAS .....               | 121 |
| 4.4 TIPOS DE ALTERACIONES IDENTIFICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....                | 135 |
| 4.4.1 Sector Quebrada Soroche .....  | 135 |
| 4.4.2 Sector Quebrada Caña Brava .....   | 136 |
| 4.4.3 Sector Noreste .....   | 138 |
| CAPÍTULO 5 .....   | 141 |
| INTEGRACIÓN, INTERPRETACIÓN DE DATOS Y DISCUSIÓN .....                             | 141 |
| 5.1 RELACIÓN ENTRE MAGNETOMETRÍA TERRESTRE Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL .....          | 141 |
| 5.2 RELACIÓN ENTRE MAGNETOMETRÍA Y MINERALIZACIÓN .....                            | 147 |
| CAPÍTULO 6 .....   | 154 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 154 |
| CONCLUSIONES .....   | 154 |
| RECOMENDACIONES .....  | 157 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 158 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |   |
|--|---|
| <b>Figura 1.1</b> Ubicación de la concesión minera Caña Brava, (Modificado de Cornerstone, 2015).....  | 5 |
| <b>Figura 1.2</b> Ubicación de la concesión minera Caña Brava con respecto a la población más cercana, Gualiel ubicada a 5 km al sur de la concesión (Tomado Cornerstone, 2015)..... | 6 |
| <b>Figura 1.3</b> Acceso a la concesión Caña Brava desde la ciudad de Loja (Tomado de Google maps, 2015).....  | 7 |
| <b>Figura 1.4</b> Fig. 1.4 Morfología en la zona del proyecto Caña Brava, limitado con líneas de color naranja. (Tomado de Google Earth, 2015).....                                  | 8 |
| <b>Figura 1.5</b> Quebradas principales e hidrografía de la zona del proyecto Caña Brava.....  | 9 |
| <b>Figura 1.6</b> Distribución de precipitaciones mensuales en la parroquia de Gualiel (modelo en base a datos tomados hasta el año 2012), se observa la temperatura                 |   |



|  |    |
|--|----|
| media anual de 14.1 °C, marcada con una línea roja. (Tomado de <a href="http://es.climate-data.org">http://es.climate-data.org</a> , 2015).....  | 10 |
| <b>Figura 2.1</b> Mapa simplificado de las características geomorfológicas y principales fallas del Ecuador (Tomado de Aspden y Litherland, 1992).....   | 21 |
| <b>Figura 2.2a</b> Mapa geológico regional de la parte sur de la Cordillera Occidental (Modificado de Pratt et al., 1997). ....  | 22 |
| <b>Figura 2.2b</b> Leyenda estratigráfica y simbología de la parte Sur de la Cordillera Occidental (Modificado de Pratt et al., 1997).....   | 23 |
| <b>Figura 2.3</b> Localización del cinturón de mineralización tipo alta sulfuración-pórfido del Mioceno (Collay-Shincata) y los principales prospectos al sur del Ecuador (Modificado de PRODEMINTA, 2000 en Poma, 2015). ....   | 33 |
| <b>Figura 2.4</b> Morfología de la zona de estudio (Tomado de Google earth, 2015)...   | 37 |
| <b>Figura 2.5</b> Mapa geológico de la concesión Caña Brava (Tomado de Cornerstone, 2015).....   | 40 |
| <b>Figura 2.6</b> Sección NW-SE (A – B) mostrando la interpretación geológica en los sectores quebrada Soroche y quebrada Caña Brava. (Tomado Cornerstone, 2015).....  | 41 |
| <b>Figura 2.7</b> Estereograma de las capas volcanoclásticas en la concesión Caña Brava, en donde se observa el rumbo constante de las capas (Tomado de Poma, 2015).....   | 41 |
| <b>Figura 2.8.</b> Estereogramas de las estructuras medidas en la concesión Caña Brava. a) Estructuras con alteración-mineralización asociada N30/87 y N268/90. b) Estructuras N34/87 y N57/86 que no presentan alteración-mineralización asociada. c) Diagrama mostrando las posibles relaciones de la tectónica y la mineralización (Tomado de Poma, 2015).....  | 57 |
| <b>Figura 3.1</b> a) Esquema del campo magnético terrestre, donde se ven las líneas de fuerza del campo magnético dipolar exterior a una esfera. La sección mostrada contiene los polos. b) Intensidad F del campo magnético en un punto de la superficie de la Tierra, el cual es resultante de una componente vertical y una componente horizontal (Tomado de <a href="http://www.fcnym.unlp.edu.ar">www.fcnym.unlp.edu.ar</a> , 2015). .... | 61 |
| <b>Figura 3.2</b> Sistema de coordenadas geográficas ( $\phi$ , $\lambda$ ) y geomagnéticas ( $\phi^*$ , $\lambda^*$ ) (Tomado de Ruiz, 2003). ....  | 64 |
| <b>Figura 3.3</b> Esquema de los momentos magnéticos (Tomado de López y Zura, 2013).....   | 68 |
| <b>Figura 3.4</b> Mapa de las líneas trazadas para cubrir el levantamiento magnetométrico en la concesión Caña Brava.....  | 77 |
| <b>Figura 3.5</b> Mapa del Modelo Magnético Mundial actualizado al 2015. Las isolíneas representan la Intensidad total de campo magnético (Tomado de <a href="http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM">http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM</a> , 2015).....  | 79 |
| <b>Figura 3.6</b> Archivo “.txt” donde se visualiza parte de los datos obtenidos en una línea de levantamiento magnetométrico.....   | 82 |

- Figura 3.7** Campo magnético total, datos crudos del levantamiento magnetométrico.....83
- Figura 3.8** Archivo “.txt” donde se visualiza parte de los datos aplicados la corrección diurna en una línea de levantamiento magnetométrico.....85
- Figura 3.9** Hoja de cálculo de Excel, se observan parte de los datos de la línea 1, obtenidos durante el levantamiento magnetométrico. Cada uno dato está dispuesto en una celda lo que facilita el manejo de los mismos al momento de eliminar datos erróneos. ....86
- Figura 3.10** Perfil creado en Oasis Montaj con las medidas de campo magnético total (nT) para la línea 16. a) El perfil presenta dos valores anómalos, uno de ellos -773.8400 que resulta al aplicar la corrección diurna a un valor de cero nanoTeslas, obtenida con el magnetómetro móvil. Esto hace que el perfil tenga una caída abrupta. b) vemos el mismo perfil pero en este ya están eliminados los datos anómalos, de esta manera el perfil no muestra caídas abruptas.....87
- Figura 3.11** Perfil que indica la calidad de señal de la línea 16 del levantamiento magnetométrico. a) se observa un conjunto de datos obtenidos con una mala calidad de señal del magnetómetro con excepción de un valor de 79 considerado como aceptable. b) se ven los datos de la misma línea, pero aquí ya se han eliminado los datos obtenidos con mala calidad de señal del magnetómetro, quedando únicamente el valor de 79 del conjunto anterior.....88
- Figura 3.12** A la izquierda se indican los espacios producidos por la pérdida de satélites en las líneas 106,107 y 110 del levantamiento magnetométrico terrestre en la zona oeste. En la parte derecha se presenta una ampliación de los espacios señalados y se comparan los datos en bruto (obtenidos con 1 a 11 satélites) y los datos obtenidos con más de 4 satélites. En la línea 106 y 107 estos datos corresponden al paso por quebradas y en la línea 110 corresponde a una zona frondosa con gran cantidad de árboles que bloquearon la señal de los satélites.....91
- Figura 3.13** Perfil trazado con el número de satélites con los que se tomaron las coordenadas UTM en la línea 16 del levantamiento magnetométrico. a) se presenta el perfil en donde se muestran los datos obtenidos con menos de cuatro satélites (debajo de la línea naranja). b) se observa el perfil una vez que se ha eliminado los datos obtenidos con menos de cuatro satélites.....92
- Figura 3.14** Perfiles correspondientes a las coordenadas UTM Este de la línea 16. a) se indican los datos de campo magnético total que tienen las mismas coordenadas y cómo forman un pequeño tramo recto en el perfil. b) promedio de los valores de campo magnético total que están en las mismas coordenadas. c) el promedio de los valores de campo magnético total ha sido asignado a una sola coordenada UTM. En el perfil se reduce la línea recta por el proceso de optimización.....95
- Figura 3.15** Mapa de campo magnético reducido al polo con identificación de dominios magnéticos. Dominio 1: Zonas de alto magnetismo. Dominio 2: Zonas de bajo magnetismo. Dominio 3: Zonas de magnetismo moderado.....102

- Figura 3.16** Mapa de campo magnético reducido al polo con identificación de grandes lineamientos sobre el área de la concesión minera Caña Brava.....103
- Figura 3.17** Mapa de la primera derivada vertical con identificación de grandes lineamientos sobre el área de la concesión minera Caña Brava.....103
- Figura 4.1.** Asociaciones de minerales de alteración en sistemas hidrotermales (Tomado de Corbett y Leach, 1998).....109
- Figura 4.2** Componentes de un espectro de reflectancia mostrando la envolvente, los medios máximos de la anchura completa (FWHM) de los rasgos de absorción y las profundidades de dichos rasgos. (Tomado de Spectral International Inc, 2005).....111
- Figura 4.3** Espectros estándar de diferentes minerales de alteración. Se observa las diversas formas de los rasgos de absorción y su posición respecto al eje X (Longitud de onda nm), también se ve la forma general que presenta la envolvente (Ejemplos tomados Spectral International Inc, 2005).....112
- Figura 4.4** Mapa de alteraciones de la concesión Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).....115
- Figura 4.5** Sección NW-SE (A – B) mostrando la alteración de los sectores quebrada Soroche y quebrada Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).....116
- Figura 4.6** Minerales de alteración determinados mediante la interpretación de espectros obtenidos con el equipo TerraSpec en muestras de la concesión Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).....119
- Figura 4.7** Minerales de alteración determinados con el estudio de espectros obtenidos con TerraSpec en la concesión Caña Brava. a) distribución illita b) distribución kaolinita c) distribución alunita d) distribución turmalina. (Ver leyenda en Fig. 4.6).....120
- Figura 4.8** Minerales de alteración determinados con el estudio de espectros obtenidos con TerraSpec en la concesión Caña Brava. a) distribución clorita b) distribución sericita c) distribución dickita d) distribución pirofilita. (Ver leyenda en Fig. 4.6).....121
- Figura 4.9** Localización de muestras recolectadas dentro de la concesión Caña Brava para realización y estudio de láminas delgadas.....122
- Figura 4.10** Tipos de alteraciones presentes en el sector de la quebrada Soroche y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector de la quebrada Soroche.....136
- Figura 4.11** Tipos de alteraciones presentes en el sector de la quebrada Caña Brava y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector de la quebrada Caña Brava.....138

- Figura 4.12** Tipos de alteraciones presentes en el sector Noreste y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector Noreste.....139
- Figura 4.13** Distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero, en donde se ha señalado la superficie actual en el área de la concesión minera Caña Brava en base a las relaciones de minerales de alteración encontradas. (Modificado de Masksaev, 2004 en base a los modelos de Lowell y Gilbert, 1970; Gustafson y Hunt, 1975; Giggenbach, 1997; Carten, 1986; Dilles y Einaudi, 1992).....140
- Figura 5.1** Mapa de geológico (en fondo), donde se indican los bordes de los altos magnéticos (líneas de color rojo), los bajos magnéticos (líneas de color azul) y los diferentes lineamientos-estructuras interpretados en el mapa magnetométrico. (Modificado de Cornerstone, 2015).....142
- Figura 5.2** Mapa de alteración hidrotermal (en fondo), donde se indican los bordes de los altos magnéticos (líneas de color rojo), los bajos magnéticos (líneas de color azul) y los diferentes lineamientos-estructuras interpretados en el mapa magnetométrico. (Modificado de Cornerstone, 2015).....143
- Figura 5.3** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector de la quebrada Soroche. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos. (Ver leyenda en Fig. 5.2).....145
- Figura 5.4** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector de la quebrada Caña Brava. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos (Ver leyenda en Fig. 5.2).....146
- Figura 5.5** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector Noreste. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos (Ver leyenda en Fig. 5.2). .....147
- Figura 5.6** Mapas que muestran la relación entre los altos magnéticos (líneas de color rojo ) y bajos magnéticos (líneas de color azul) con los resultados de análisis geoquímico de rocas para molibdeno (Mo), oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag), zinc (Zn), y plomo (Pb), en la concesión Caña Brava. Usando de fondo el mapa de alteraciones hidrotermales. (Modificado de Cornerstone, 2015).....150
- Figura 5.7** Mapas que muestran la relación entre los altos magnéticos (líneas de color rojo) y bajos magnéticos (líneas de color azul) con los resultados de análisis geoquímico de suelos (colores de fondo) para molibdeno (Mo), oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag), zinc (Zn), y plomo (Pb). En la concesión Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).....151

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

**Foto 1.1** Izquierda: vista quebrada Caña Brava, donde se ven algunos fragmentos métricos de rocas intrusivas junto a cantos rodados de tobas, vista en dirección al NE (UTM: 681065 E; 9588814 N, Datum PSAD 56, zona 17 S). Derecha: Río Caña Brava, cortando un afloramiento de granodiorita lajada, vista en dirección al norte (UTM: 681095 E; 9588814 N, Datum PSAD 56, zona 17 S).....9

**Foto 1.2** Principal flora en la zona del proyecto Caña Brava. a) Pastizales, en la parte baja de la concesión b) Bosque montano, en la parte baja y media de la concesión c) Bosque montano alto, junto a las quebradas y en hondonadas. d) Páramo, en áreas planas y onduladas (Tomado de Cornerstone, 2014)..... 13

**Foto 1.3** Fauna de la zona. A la izquierda una *Cyanolyca armillata* (Urraca collarero) (UTM: 681500 E; 9590902 N, Datum PSAD 56, zona 17 S). A la derecha una trucha en el río Caña Brava (UTM: 681037 E; 9590380 N, Datum PSAD 56, zona 17 S).....14

**Foto 1.4** Infraestructura de la parroquia Gualiel. A la izquierda, la iglesia de la comunidad. A la derecha, vista de la comunidad en dirección al noroeste. (Tomado de <http://www.loja.gob.ec>, 2015). .....16

**Foto 2.1** a) Afloramiento de tobas andesíticas en la parte superior de la zona central de la concesión dentro de una pequeña quebrada (UTM: 680568E; 9589756N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Toba andesítica con alteración propilítica, muestra WM 110, con textura piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexistes o comagmáticos en una matriz de cenizas), pequeños fragmentos líticos volcánicos y presencia de clorita.....43

**Foto 2.2** Lámina delgada de muestra WM 110, toba andesítica con alteración propilítica con textura piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexistes o comagmáticos en una matriz de cenizas), a) Al centro de la foto se ve un relicto de un cristal de anfíbol, el cual se encuentra alterado a epidota (epi). Pequeños cristales alterados de plagioclasas (plg) en una matriz de cuarzo hidrotermal microcristalino y arcillas, aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) Cristal de clorita en el centro (chl), alrededor pequeños cristales de epidota (epi), dentro de una matriz de cuarzo hidrotermal microcristalino y arcillas, aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....44

**Foto 2.3** Toba riolítica que presenta una sobreimpresión de la alteración argílica sobre filica, muestra WM 28, con textura piroclástica, la roca presenta arcillas, cuarzo, fragmentos líticos, además de turmalina de alteración hidrotermal y hematita.....45

**Foto 2.4** Lámina delgada de muestra WM 28, toba riolítica que presenta una sobreimpresión de la alteración argílica sobre filica con textura piroclástica, a) cuarzo primario (qtz) junto a líticos (lit) en matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) turmalina de alteración (tur) junto a un lítico en la parte superior derecha, rodeados por matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....46



**Foto 2.5** a) Recolección de muestra de mano de una toba dacítica en afloramiento de la zona central de la concesión (UTM: 679603E; 9589820N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Toba dacítica con alteración propilítica, correspondiente a la muestra WM 113 con textura piroclástica, presencia de cuarzo, hornblenda, magnetita, además de clorita y turmalina producto de alteración hidrotermal.....47

**Foto 2.6** Lámina delgada de muestra WM 113, toba dacítica con textura piroclástica, a) magnetita en el centro (mag), junto a cuarzo (qtz), turmalina en la parte superior derecha (tur) y clorita en la parte central inferior (chl) formados por alteración hidrotermal, dentro de una matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino, aumento de 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) cuarzo hidrotermal (qtz), junto a cristales tabulares de turmalina dispuestos en forma radial (tur), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) c) masa cristalina de clorita de alteración hidrotermal (chl), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....48

**Foto 2.7** a) Afloramiento de lavas andesíticas con textura porfídica (cristales grandes denominados fenocristales en una matriz vítrea o microcristalina), al norte de la quebrada Soroche (UTM: 678927E; 9590368N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) muestra de mano del afloramiento, andesita con alteración propilítica, código WM 111.....49

**Foto 2.8** Lámina delgada de muestra WM 111, lava andesítica con alteración propilítica, con textura porfídica seriada (secuencia continua de tamaños de cristales desde la mesostasis hasta los fenocristales), a) cristales de plagioclasa de diferentes tamaños (plg), dentro de la matriz, aumento de 2.5x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) plagioclasas pequeñas (plg) y cristales pequeños de minerales ferromagnesianos (piroxenos) (pxn) alterados a epidota, dispersos entre la matriz, también se distingue magnetita (mag), aumento de 40x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....50

**Foto 2.9** a) Afloramiento de granodiorita en la quebrada Caña Brava (UTM: 681237E; 9588566N, Datum PSAD 56, zona 17 S). b) Granodiorita con textura porfídica (cristales grandes denominados fenocristales en una matriz vítrea o microcristalina), la roca presenta cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita alterándose a clorita, y carbonato secundario.....52

**Foto 2.10** Lámina delgada de la muestra WM119, granodiorita a) biotita (bio) con bordes alterándose a clorita, y cristales de plagioclasa (plg), entre matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz), aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) plagioclasa (plg) con macla polisintética rodeada por matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz), y unos pocos minerales opacos (opc), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....53

**Foto 2.11** a) Afloramiento de cuarzodiorita ubicado en la zona occidental de la concesión Caña Brava (UTM: 679326E; 9590403N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Muestra WM 112, cuarzodiorita con textura porfídica, se pueden observar cristales de cuarzo, plagioclasas, anfíboles, biotita, clorita y presencia de carbonato secundario.....54

**Foto 2.12** Lámina delgada de muestra WM 112, cuarzodiorita con alteración propilítica con textura porfídica, a) cristal de biotita alterada a clorita (chl), rodeada por cristales de plagioclasa (plg) en una matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz) 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados), b) cristal de cuarzo fragmentado 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).....55

**Foto 3.1** Componentes del magnetómetro GSM-19. a) consola b) cables de conexión c) antena GPS d) mochila e) sensor para magnetometría f) tubos de aluminio g) equipo móvil conectado h) estación base conectada.....75

**Foto 4.1** Equipo TerraSpec con todos sus elementos: a) computadora incluida con el equipo b) espectrómetro c) sonda d) cables de datos, fibra óptica y red .....110

**Foto 4.2** Lámina de muestra WM 48 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración filica a) agregados de sericita (ser) en matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino (qtz), aumento de 10X b) sericita (ser), con aumento de 40X.....123

**Foto 4.3** Lámina de muestra WM 54 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración filica a) cristales tabulares de turmalina (tur) junto a cristales de cuarzo primario (qtz), aumento de 10X b) masas criptocristalinas de illita (ill), junto a un cristal fragmentado de cuarzo (qtz), aumento de 40X. ....124

**Foto 4.4** Lámina de muestra WM (Nícoles cruzados), correspondiente a una granodiorita con alteración filica a) cristales de sericita agrupados (ser), tienen forma escamosa, están entre un cristal fragmentado de cuarzo primario (qtz) y masas criptocristalinas de illita (ill), aumento de 10X b) cristal grande de turmalina cortado de manera transversal (tur), razón por la cual no se ve su forma alargada (se puede notar zonación y un borde hexagonal) está rodeado por cuarzo secundario microcristalino (qtz), el alto color de birrefringencia en el cuarzo se debe al grosor de la lámina delgada, aumento de 2.5X .....125

**Foto 4.5** Lámina de muestra WM 51 (Nícoles cruzados), una toba dacítica que se encuentra en la zona de transición entre alteración filica y propilítica a) en el centro se ve un cristal subredondeado de cuarzo primario de la toba dacítica (qtz), mientras en matriz hay cuarzo secundario microcristalino (qtz) junto a arcillas (illita), aumento de 2.5X b) masas microcristalinas de illita esparcidas en la lámina (ill), aumento de 10X c) cristales alargados de sericita (ser) junto a illita (ill), aumento de 40X. ....126

**Foto 4.6** a) Lámina de muestra WM 13 (Nícoles cruzados), toba andesítica afectada por alteración argílica avanzada en donde se ve agregados finos de pirofillita (pir) junto hematita (hem), aumento de 40X b) Lámina de muestra WM 40 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, en el centro de la lámina se ven cristales de turmalina (tur) y hacia la parte superior está rodeado por masas criptocristalinas de kaolinita (kao), aumento de 40X.....127

**Foto 4.7** a) Lámina de muestra WM 36 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, en la que se observan cristales de turmalina (tur)

alterándose a dumortierita (dum), rodeados por cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X b) Lámina de muestra WM 29 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica avanzada, en la foto se muestra un fragmento de lítico de la toba (cubre la mayor parte de la lámina) en que cual se puede apreciar que la turmalina que tenía la roca se ha transformado completamente a dumortierita (dum), aumento de 10X. .... 128

**Foto 4.8** a) Lámina de muestra WM 125 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada en la que se ven agregados finos de alunita (alu) en una matriz de cuarzo secundario microcristalino y arcillas, aumento de 2.5X b) Lámina de muestra WM 107 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, la lámina presenta alunita (alu) en forma de cristales tabulares y en agregados junto a un agregado de hematita (hem) a la izquierda, aumento de 40X. .... 129

**Foto 4.9** Lámina de muestra WM 87 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración sílice-argílica a) masas de alunita (alu) dentro de matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X b) cristales tabulares de alunita (alu) junto cuarzo hidrotermal de la matriz diseminado en la lámina, aumento de 10X..... 130

**Foto 4.10** Lámina de muestra WM 92 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración sílice-argílica a) cristales de cuarzo magmático fragmentados (qtz) dentro de una matriz de cuarzo secundario microcristalino, rodeado por masas de pirofilita, aumento de 2.5X b) masas criptocristalinas de pirofilita (pir), aumento de 40X..... 130

**Foto 4.11** Lámina de muestra WM 24 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica, a) masas de illita (ill) que tienen una forma escamosa, entre cuarzo secundario microcristalino (qtz), aumento de 40X b) un cristal de turmalina (tur) en el centro y otro en la parte superior izquierda rodeados por illita (ill) y un agregado de hematita (hem) en la parte izquierda de la foto, aumento de 40X..... 131

**Foto 4.12** Lámina de muestra WM 28 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica, se ven agregados cristalinos radialmente orientados de turmalina (tur) junto a un fragmento lítico (lit) que presenta minerales máficos, en la parte superior derecha, rodeados por matriz de cuarzo secundario (qtz) microcristalino, aumento de 10X. .... 131

**Foto 4.13** a) Lámina de muestra WM 64 (Nícoles cruzados), toba silicificada intensamente como producto de alteración argílica avanzada, se ve sílice (sil) con fracturas rellenas con hematita (hem), aumento de 10X b) Lámina de muestra WM 70 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada con silicificación intensa, en el centro de la foto se observa un cristal de cuarzo primario de la toba dacítica (qtz), rodeado por una matriz de sílice (sil) y arcillas producto de la alteración, aumento de 10X..... 132

**Foto 4.14** Lámina de muestra WM 110, toba andesítica afectada por alteración propilítica a) Pequeño cristal opaco de magnetita color negro (mag), hacia la izquierda se ve un relicto de anfibol alterándose a epidota (epi), y también se ven



plagioclasas alteradas dispersas (plg), ( Nícoles paralelos), aumento de 10X. b) relicto de piroxeno alterado a epidota (epi), (Nícoles cruzados), aumento de 10X. ....133

**Foto 4.15** Lámina de muestra WM 113 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración propilítica a) cristales tabulares de turmalina (tur) dispuestos en forma radial rodeados por cuarzo microcristalino, posiblemente asociados a alteración filica que fue sobreimpuesta por alteración propilítica, aumento de 10X. b) masa escamosa de clorita (chl) con relieve moderado y birrefringencia débil, aumento de 10X.....134

**Foto 4.16** Lámina de muestra WM 111 (Nícoles cruzados), lava andesítica afectada por alteración propilítica, se observan plagioclasas (plg) y pequeños cristales de minerales ferromagnesianos (piroxenos) (pxn) entre la matriz, además de la presencia de magnetita, aumento de 40x. ....134

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.1** Distribución mensual de precipitaciones y temperaturas promedio, máximas y mínimas para la parroquia de Gualiel (modelo en base a datos tomados hasta el año 2012) (Tomado de <http://es.climate-data.org>, 2015).....11

**Tabla 1.2** Fauna presente en la concesión Caña Brava. (Tomado de Cornerstone, 2014).....14

**Tabla 3.1** Principales variaciones del campo magnético terrestre (tomado de Ruiz, 2003).....65

**Tabla 3.2** filtros relacionados al equipo de magnetometría. Se muestra el número y porcentaje de datos restantes (válidos) a medida que los filtros fueron aplicados.....89

**Tabla 3.3** filtro donde se indica el número de datos restantes (válidos) y su correspondiente porcentaje al aplicar el filtro relacionado con la localización.....93

**Tabla 3.4** Número de datos válidos luego de la optimización y su porcentaje con respecto al total de datos sin procesar (una vez aplicado todos los filtros anteriormente tratados para eliminar valores erróneos).....96

## ÍNDICE DE MAPAS

**Mapa 3.1** correspondiente al campo magnético total del área de la concesión minera Caña Brava.....98

**Mapa 3.2** correspondiente al campo magnético total reducido a polo del área de la concesión minera Caña Brava.....99

**Mapa 3.3** correspondiente a la primera derivada vertical del área de la concesión minera Caña Brava.....100

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| <b>ANEXO 3.1:</b> Tabla de datos correspondiente a las líneas con dirección Norte–Sur recorridas durante el levantamiento magnetométrico (2 páginas)..... | 165 |
| <b>ANEXO 4.1:</b> Muestras de la concesión Caña Brava a las que se realizó el análisis con el equipo TerraSpec (5 páginas).....                           | 167 |
| <b>ANEXO 4.2:</b> Listado de minerales encontrados en la concesión minera Caña Brava con su respectiva fórmula química (1 página).....                    | 172 |
| <b>ANEXO 4.3:</b> Descripción petrográfica de láminas delgadas de muestras recolectadas en la concesión Caña Brava (73 páginas).....                      | 173 |

## RESUMEN

El presente trabajo estudia la relación que existe entre las anomalías magnéticas terrestres y las alteraciones hidrotermales en la concesión minera “Caña Brava” localizada en las provincias de Loja y El Oro. El área de la concesión está conformada por rocas volcánicas y volcanoclásticas atribuidas al Grupo Saraguro de edad Eoceno Tardío-Mioceno Temprano; estas rocas son afectadas por intrusiones del Mioceno Medio.

El estudio geofísico consistió en el uso del método magnetométrico, el cual mide la susceptibilidad magnética de los distintos materiales del subsuelo y permite determinar zonas de anomalías. Posteriormente, mediante un procesamiento y filtrado, se elaboraron mapas de campo magnético total, reducción a polo y primera derivada vertical. En base a las interpretaciones realizadas se presentan tres dominios magnéticos principales: Dominio 1, de altos magnéticos relacionados con cuerpos intrusivos no alterados y/o con alteración potásica asociada a mineralización estilo pórfido cuprífero. Dominio 2, de bajos magnéticos asociados a zonas de alteración hidrotermal tipo argílica, argílica avanzada y filica. Dominio 3, de zonas con valores magnéticos moderados, relacionadas a la presencia de rocas con poca magnetita aflorando superficialmente que sufrieron alteración propilítica, o a cuerpos intrusivos profundos que presentan un fuerte magnetismo.

A través del análisis con TerraSpec y láminas delgadas se caracterizaron los tipos de alteraciones presentes que previamente habían sido estudiados por la empresa Cornerstone. Se encontró alteración argílica avanzada con una asociación de kaolinita-pirofilita-dumortierita en el sector de la quebrada Soroche, asociación kaolinita-dickita-alunita en el sector de la quebrada Caña Brava, y alunita-pirofilita-kaolinita-dickita en el sector Noreste. La alteración argílica presenta abundante illita en la zona del sector Soroche donde fue caracterizada. La alteración filica presenta una asociación sericita-cuarzo-turmalina; esta alteración fue encontrada en los sectores de la quebrada Soroche y quebrada Caña Brava. La alteración propilítica es la más extensa en el área de la concesión y fue caracterizada en los sectores de la quebrada Soroche y quebrada Caña Brava con una asociación clorita-epidota.

La relación entre alteración hidrotermal, magnetometría y los patrones de zonificación geoquímica estudiados sugieren la presencia de la parte profunda de un sistema tipo epitermal de alta sulfuración en transición a un sistema tipo pórfido cuprífero en la zona de la concesión, lo cual debe ser comprobado por subsiguientes perforaciones exploratorias.

## ABSTRACT

This work presents a study of the relationship between magnetic anomalies and hydrothermal alterations in “Caña Brava” mining concession, located in both Loja and El Oro provinces in Ecuador. The concession area is covered by volcanic and volcanoclastic rocks, which are attributed to Saraguro Group from Late Eocene-Early Miocene age, which are affected by magmatic intrusions of Mid Miocene age.

A portable magnetometer was used to measure the magnetic susceptibility of different subsurface materials to determine anomalous areas. The data was processed and filtered in order to produce a total magnetic field, reduction to pole and first vertical derivative maps. Interpretation show three main magnetic domains in the area: Domain 1 of high magnetic anomalies related with fresh intrusive bodies and/or intrusive bodies with potassic alteration associated with porphyry copper style mineralization. Domain 2 of low magnetic anomalies associated with hydrothermal alteration zones of argillic, advanced argillic and phyllic type. Domain 3 are areas with moderate magnetic values, related to the presence of outcropping magnetite bearing rocks with propylitic alteration or deep intrusive bodies that have a strong magnetism.

Through TerraSpec analysis and study of thin sections, hydrothermal alterations were characterized in the concession area, which was previously studied by the Cornerstone Company. Advanced argillic alteration was found, showing kaolinite-pyrophyllite-dumortierite mineral association in the Soroche creek area, kaolinite-dickite-alunite mineral association in the Caña Brava creek area and alunite-pyrophyllite-kaolinite-dickite mineral association in the Northeast area of the concession. Argillic alteration has abundant illite in Soroche creek area, where it was characterized. Phyllic alteration presents a sericite-quartz-tourmaline association; this alteration was found in both the Soroche and Caña Brava creek areas. Propylitic alteration is the most extensive in the concession area and was characterized in the Soroche and Caña Brava creek areas; it shows a chlorite-epidote mineral association.

The relationship between hydrothermal alteration, magnetometry and geochemical zonation patterns suggest the presence of an epithermal high sulfidation system with transition to a porphyry copper type system at depth in the area of the concession, which should be proven by further exploratory drilling.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS**

Debido a su ubicación geográfica y geológica, el Ecuador es un país que presenta un gran potencial minero, que no ha sido estudiado a detalle. Actualmente el avance de las tecnologías alrededor del mundo ha obligado a requerir cada vez una mayor demanda de minerales para el desarrollo industrial y gracias a esto se han desarrollado métodos más sofisticados para la prospección de yacimientos metálicos. Por tal motivo la incorporación de empresas tanto nacionales como extranjeras para la prospección y exploración de yacimientos en el país es necesaria para un mejor desarrollo económico en el futuro.

La empresa Cornerstone Ecuador S.A. (CESA) es una empresa debidamente constituida bajo las normas ecuatorianas, presente en el Ecuador desde el año 2005 como subsidiaria de Cornerstone Resources Inc., de Canadá, siendo su especialidad la prospección y exploración minera, específicamente de minerales metálicos. Actualmente Cornerstone es titular de la concesión minera “Caña Brava”, ubicada en las provincias de Loja y El Oro, y está realizando trabajos de prospección, para determinar el posible potencial de mineralización metálica en la zona.

El establecimiento del potencial de mineralización metálica de un área involucra la utilización de varias técnicas de levantamiento geológico, así como también estudios de minerales de alteración, geoquímica y geofísica.

La geofísica es una herramienta complementaria, que se basa en la medición de propiedades físicas de los minerales y rocas. Uno de los métodos de geofísica utilizados en exploración de minerales es la magnetometría. Esta técnica utiliza la medición del campo magnético terrestre, el cual se ve influenciado localmente por la presencia de minerales y rocas. Esta influencia puede ser correlacionada con ciertos tipos de alteración presentes en los yacimientos minerales, como por ejemplo la alteración argílica avanzada destruye la magnetita y produce una

disminución del campo magnético total (anomalía magnética negativa), mientras que la alteración potásica aporta magnetita al sistema, incrementando el campo magnético total (anomalía magnética positiva).

El área tiene potencial para mineralización metálica y por tal motivo Cornerstone como parte del estudio de prospección y exploración, planteó la realización del levantamiento magnetométrico terrestre en la concesión minera “Caña Brava”. Con el estudio propuesto se determinó la relación de la magnetometría y las alteraciones hidrotermales presentes, esto con el propósito de ayudar a establecer el potencial de mineralización.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir a establecer el potencial para mineralización metálica en la concesión minera “Caña Brava”, como parte del programa de exploración de la concesionaria Cornerstone Ecuador S.A., mediante el estudio de la relación entre las anomalías magnetométricas terrestres y los tipos de alteraciones hidrotermales.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el levantamiento magnetométrico terrestre en la concesión minera “Caña Brava”.
- Realizar el tratamiento de los datos obtenidos durante el levantamiento magnetométrico terrestre.
- Elaborar mapas de campo magnético total, reducción a polo y primera derivada.
- Estudiar y determinar el tipo de alteración presente en las rocas de la concesión minera “Caña Brava”.
- Realizar una comparación entre las anomalías magnetométricas y los tipos de alteraciones hidrotermales.



### **1.3 ALCANCE**

El estudio se llevó a cabo en la concesión minera “Caña Brava”, con una extensión de 1150 hectáreas (11,5 km<sup>2</sup>).

Para el levantamiento magnetométrico terrestre se realizaron medidas continuas en líneas de dirección Norte-Sur, con espaciamento cada 100 metros, en un total de 117 Km de líneas. Este levantamiento fue ejecutado con los equipos magnetométricos GSM-19 y GSM-19w. Una vez obtenidos los datos se procedió a hacer un procesamiento de los mismos, una corrección diurna con el software GEMlink 5.3, un control de calidad de datos en hojas de cálculo de Microsoft Excel, y al final se elaboraron mapas que nos ayudaron en la interpretación de las anomalías magnéticas.

Se caracterizó la alteración hidrotermal en base a la recolección y estudio de muestras (143), descripción macroscópica, análisis con TerraSpec y estudio de láminas delgadas de muestras representativas.

La hipótesis que se planteó dentro del proyecto consiste en determinar si existe una la relación directa entre las anomalías magnetométricas terrestres y los tipos de alteraciones hidrotermales presentes en la concesión minera “Caña Brava”.

### **1.4 METODOLOGÍA**

Las actividades realizadas de una manera sistemática para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto fueron:

- Recopilación de información disponible (regional, local) y síntesis.
- Levantamiento magnetométrico terrestre en líneas Norte-Sur, con espaciamento cada 100 metros, en la concesión minera “Caña Brava, mediante el uso de equipo magnetométrico GSM-19 y GSM-19w.
- Filtración y corrección de datos obtenidos, mediante el uso de software GEMlink 5.3 y hojas de cálculo de Microsoft Excel.

- Elaboración e interpretación de mapas de campo magnético total, reducción a polo y primera derivada, a partir de los datos magnetométricos obtenidos, mediante software para geofísica.
- Recolección de muestras de campo.
- Estudio e interpretación de las alteraciones presentes en las muestras.
- Correlación entre los datos magnetométricos y las alteraciones en la concesión minera “Caña Brava”.
- Informe y redacción final del Proyecto.

## **1.5 ÁREA DE ESTUDIO**

### **1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESO**

El área minera “Caña Brava”, concesionada a Cornerstone Ecuador S.A. Se encuentra al sur del Ecuador (Fig. 1.1), ubicada en las parroquias de Gualiel y Morales, pertenecientes a los cantones Loja y Portovelo de las provincias de Loja y El Oro respectivamente. Cubre una superficie de 1150 Ha (11.5 km<sup>2</sup>). La población más cercana es Gualiel ubicada a 5 km al sur de la concesión (Fig. 1.2).

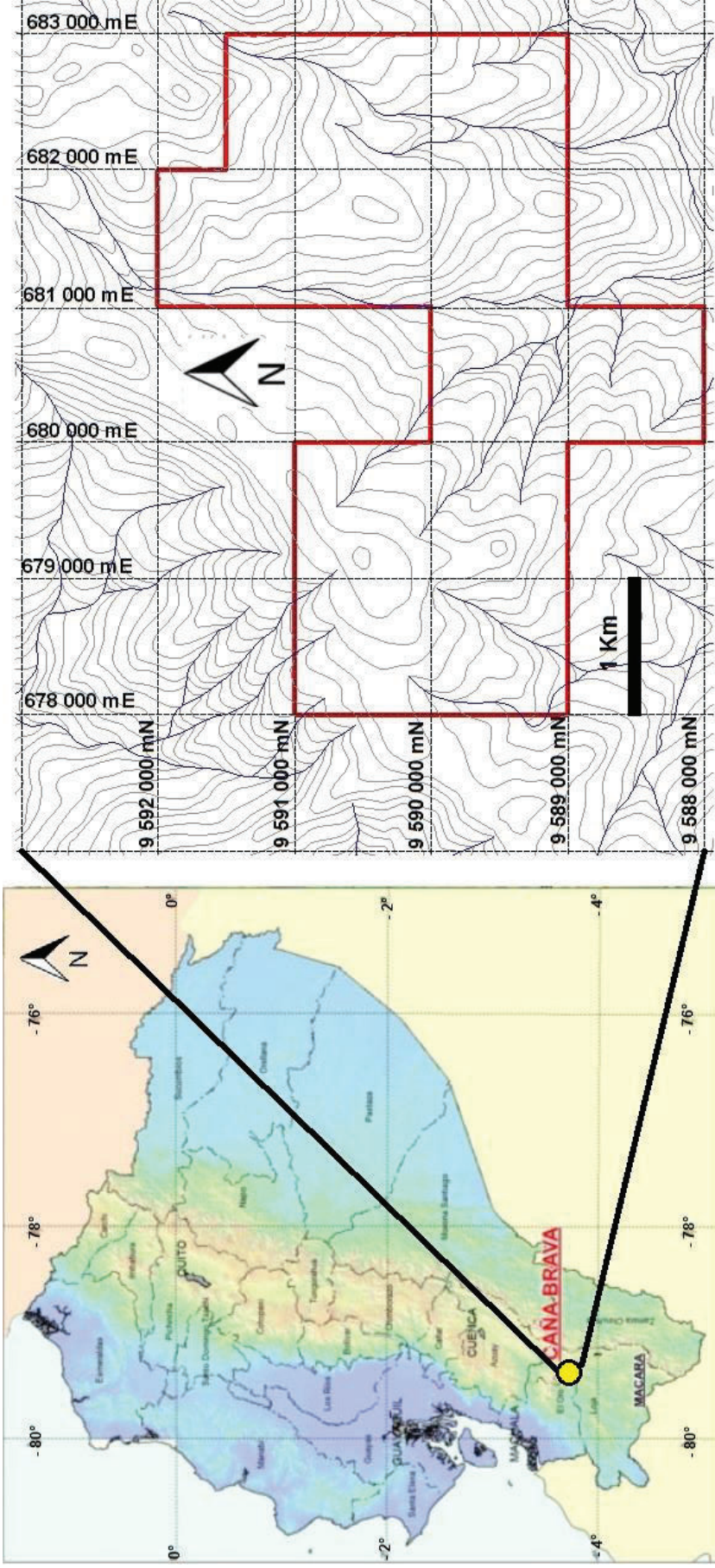
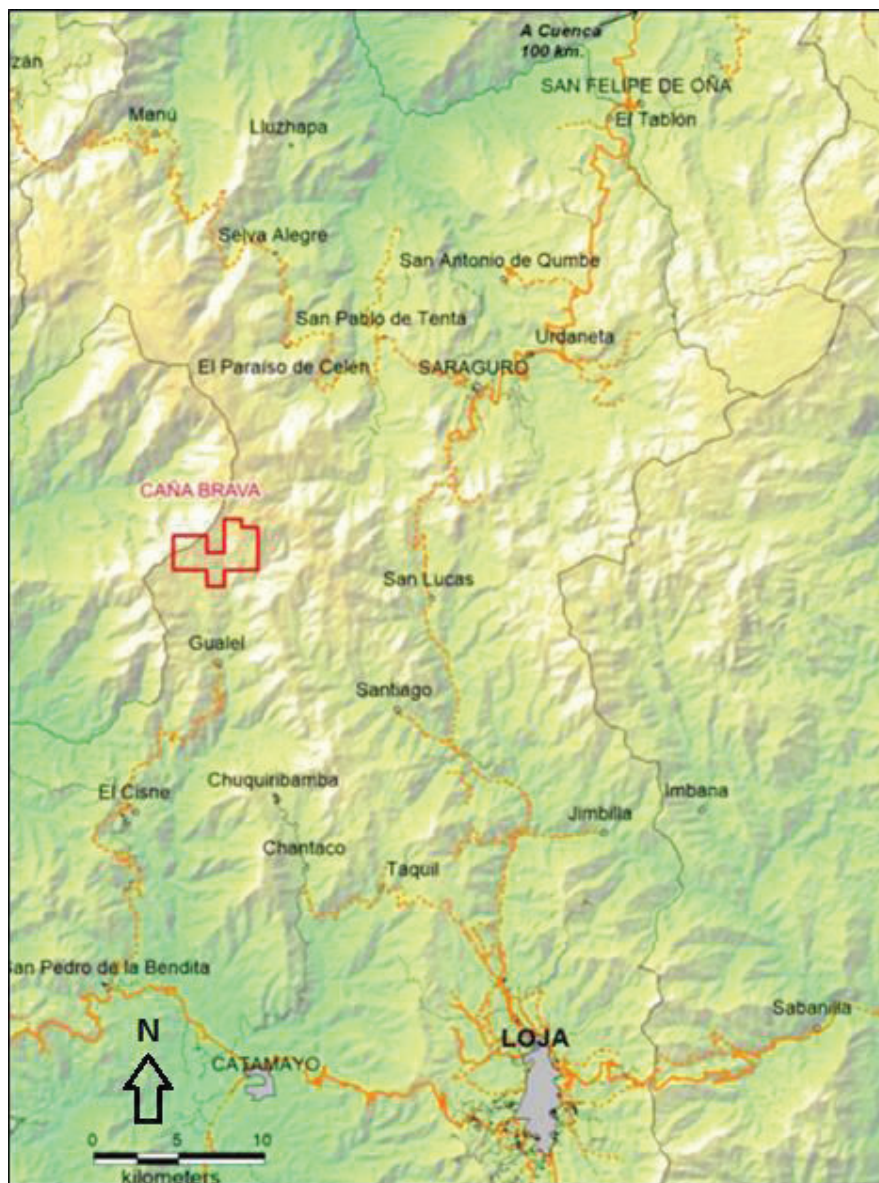


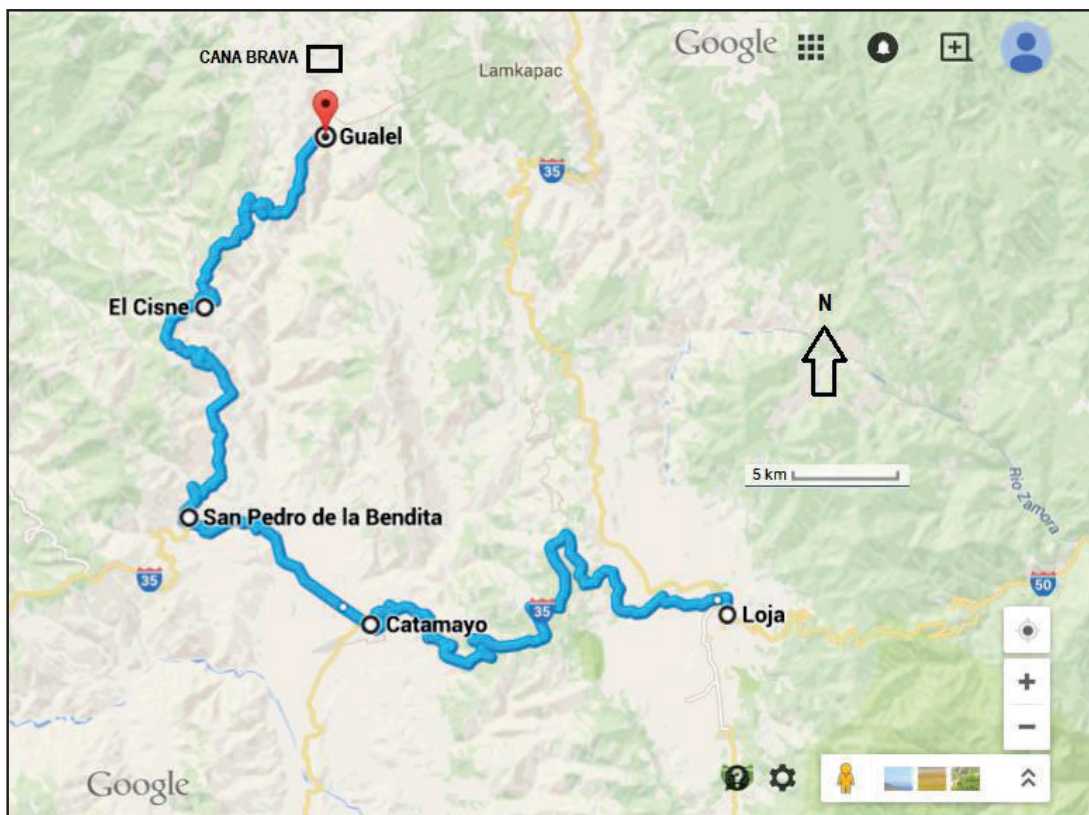
Fig. 1.1 Ubicación de la concesión minera Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).



**Fig. 1.2** Ubicación de la concesión minera Caña Brava con respecto a la población más cercana, Gualiel ubicada a 5 km al sur de la concesión. (Tomado Cornerstone, 2015).

El acceso hasta la concesión se lo realiza a través de la vía Loja - El Cisne (Fig. 1.3). Desde la ciudad de Loja se sigue una vía asfaltada pasando por la ciudad de Catamayo, después se continúa hasta San Pedro de la Bendita, en donde se toma un desvío hasta el poblado de El Cisne, desde aquí se toma una carretera de segundo orden lastrada hasta Gualiel, a partir de este lugar se toma un sendero a pie para acceder a la concesión.





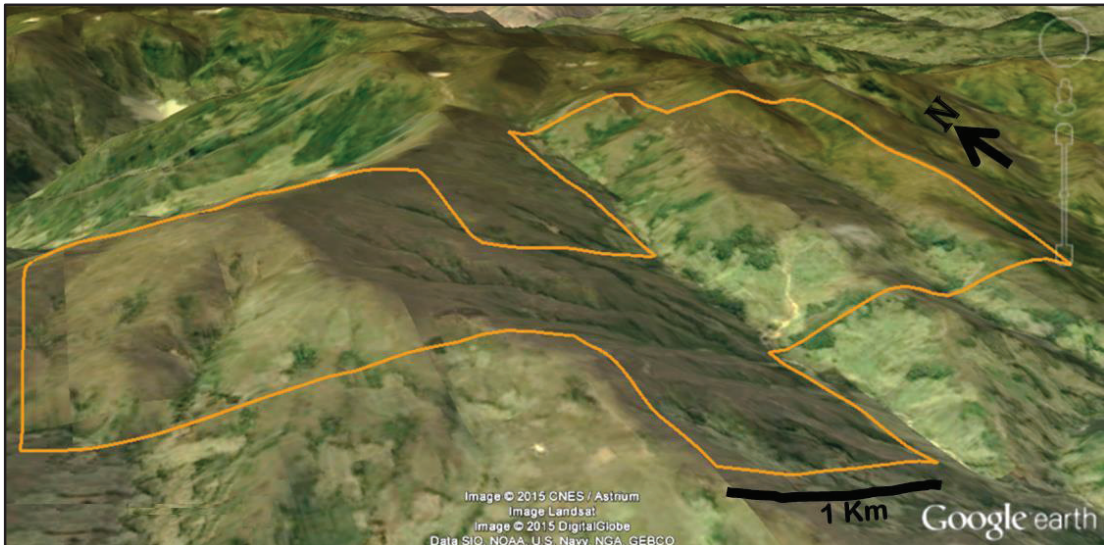
**Fig. 1.3** Acceso a la concesión Caña Brava desde la ciudad de Loja. (Tomado de Google maps, 2015).

### 1.5.2 MORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA

El área del proyecto se encuentra en los andes del sur del Ecuador, en el flanco Este de la cordillera Occidental. Presenta un relieve montañoso cordillerano típico, con cerros cuyas pendientes fuertes facilitan la configuración de marcados drenajes y elevaciones que van desde 2.950 a 3.650 metros sobre el nivel del mar, las cadenas montañosas presentan una dirección preferencial Norte-Sur.

La parte sur de la concesión presenta una pendiente dirigida al oriente, mientras que hacia el norte las pendientes se vuelven más pronunciadas a medida que sigue aumentando la altitud (Fig. 1.4).

En la parte noreste, hacia el borde externo de la concesión se encuentra la elevación denominada Fierro Urco con una altura de 3.788 metros.



**Fig. 1.4** Morfología en la zona del proyecto Caña Brava, limitado con líneas de color naranja. (Tomado de Google Earth, 2015).

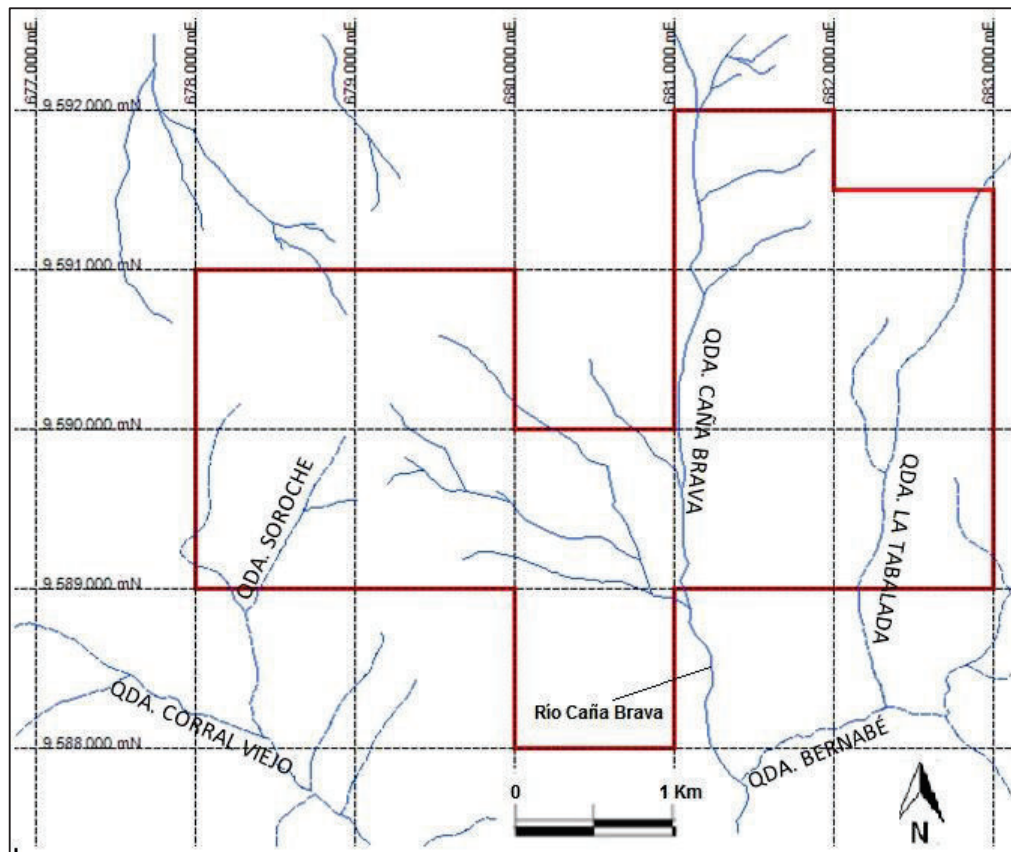
La red hidrográfica del área forma parte de la cuenca del río Catamayo. El drenaje más importante que atraviesa el área de concesión es la quebrada Caña Brava (Foto 1.1) de la cual recibe el nombre la concesión, la quebrada presenta una dirección aproximada N-S y atraviesa la parte centro-oriental de la concesión. Hacia el este la quebrada La Tablada fluye con dirección al sur paralela a la quebrada Caña Brava hasta desembocar en la quebrada Bernabé, posteriormente se une con la quebrada Caña Brava para formar el río del mismo nombre (Fig.1.5).

En la parte occidental y central de la concesión existen pequeñas quebradas y riachuelos, siendo la más importante la quebrada Soroche, la cual fluye en dirección NE-SW y desemboca en la quebrada Corral Viejo, que fluye a su vez hacia el SE hasta su desembocadura en el río Caña Brava.

El resto de la concesión presenta quebradas con dirección NE-SW y NW-SE que alimentan a quebradas más grandes.



**Foto 1.1** Izquierda: vista quebrada Caña Brava, donde se ven algunos fragmentos métricos de rocas intrusivas junto a cantos rodados de tobas, vista en dirección al NE (UTM: 681065 E; 9588814 N, Datum PSAD 56, zona 17 S). Derecha: Río Caña Brava, cortando un afloramiento de granodiorita lajadada, vista en dirección al norte (UTM: 681095 E; 9588814 N, Datum PSAD 56, zona 17 S).



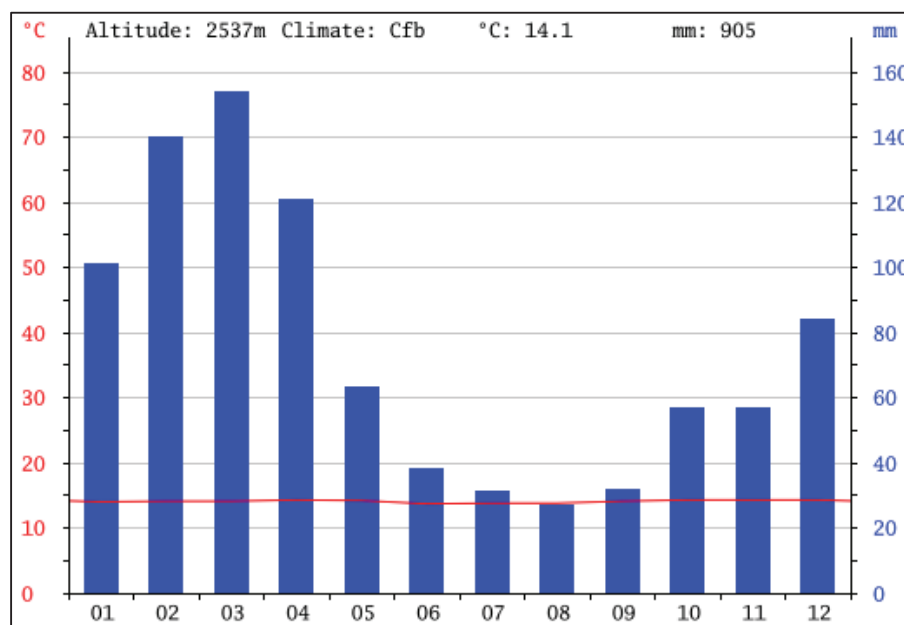
**Fig. 1.5** Quebradas principales e hidrografía de la zona del proyecto Caña Brava.



### 1.5.3 CLIMA

La zona donde se sitúa la concesión minera “Caña Brava” presenta un clima templado andino, el cual se caracteriza por una temperatura media anual de 14°C, además lluvias abundantes, granizadas y neblina frecuentes. El clima tipo templado andino, debido a la diversidad de pisos altitudinales propios de la irregular topografía de la región, es favorable para el desarrollo de una flora y fauna muy variada (Cornerstone, 2014).

En la parroquia de Gualel, que es la población más cercana, la temperatura media anual es de 14.1 °C, esta es prácticamente constante, ya que no varía de una manera significativa (Fig. 1.6). Hay una pluviosidad anual de alrededor de 905 mm., el mes más seco es agosto con 27 mm., mientras que el mes de marzo presenta las mayores precipitaciones con 154 mm. (Fig. 1.6). La distribución mensual de precipitaciones y temperatura se pueden apreciar en la tabla 1.1, donde se ve que la diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 127 mm., y las temperaturas medias varían durante el año en un 0.6 °C. (<http://es.climate-data.org>, 2015).



**Fig. 1.6** Distribución de precipitaciones mensuales en la parroquia de Gualel (modelo en base a datos tomados hasta el año 2012), se observa la temperatura media anual de 14.1 °C, marcada con una línea roja. (Tomado de <http://es.climate-data.org>, 2015).



| month    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mm       | 101  | 140  | 154  | 121  | 63   | 38   | 31   | 27   | 32   | 57   | 57   | 84   |
| °C       | 14.0 | 14.1 | 14.1 | 14.3 | 14.2 | 13.7 | 13.8 | 13.8 | 14.1 | 14.3 | 14.3 | 14.3 |
| °C (min) | 9.4  | 9.6  | 9.5  | 9.7  | 9.4  | 8.9  | 8.9  | 8.9  | 9.1  | 9.2  | 8.9  | 9.1  |
| °C (max) | 18.7 | 18.7 | 18.8 | 18.9 | 19.0 | 18.6 | 18.7 | 18.8 | 19.1 | 19.5 | 19.7 | 19.6 |

**Tabla 1.1.** Distribución mensual de precipitaciones y temperaturas promedio, máximas y mínimas para la parroquia de Gualel (modelo en base a datos tomados hasta el año 2012). (Tomado de <http://es.climate-data.org>, 2015).

## 1.5.4 FLORA Y FAUNA

### 1.5.4.1 FLORA

En el área de la concesión existen cuatro tipos de cubierta vegetal (Foto 1.2), el denominado páramo herbáceo, bosque montano alto, bosque montano, y áreas de plantaciones-pastizales (Cornerstone, 2014).

A continuación se describen más detalladamente los tipos de vegetación de acuerdo a Cornerstone (2014):

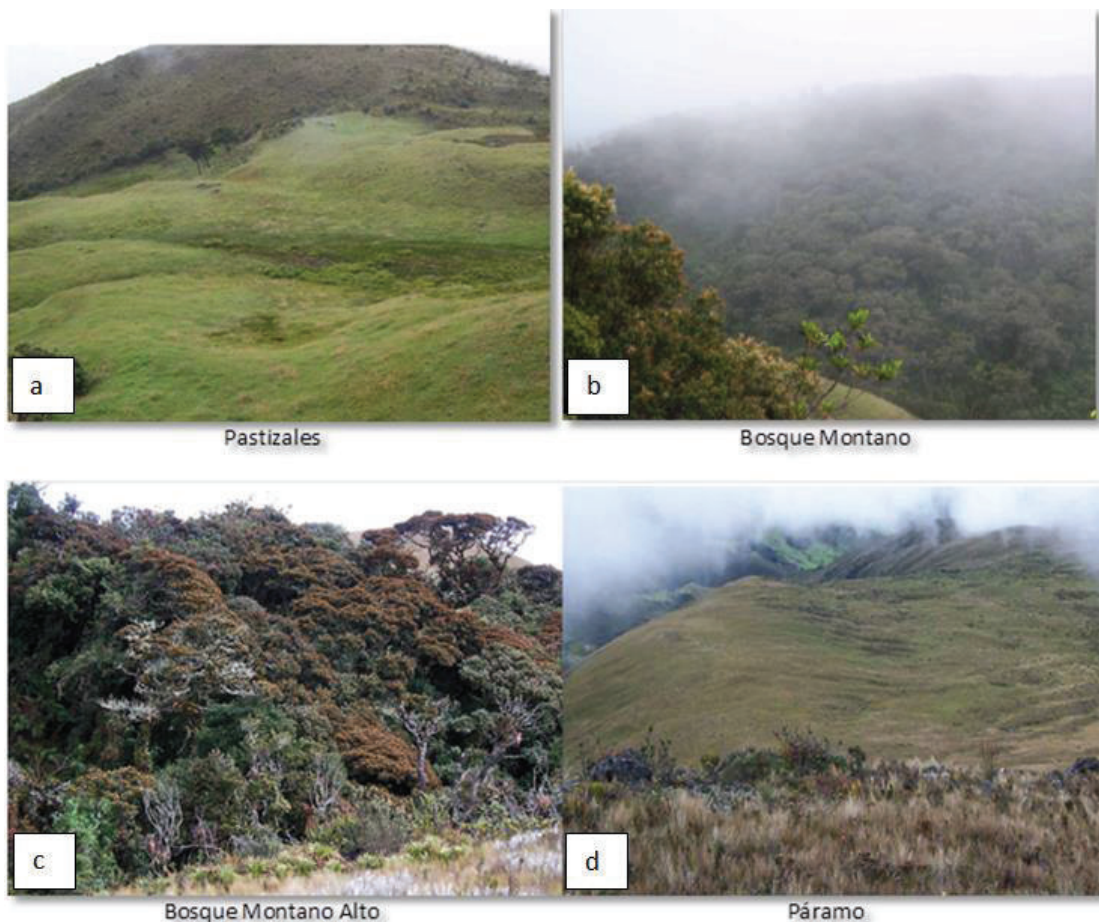
**Páramo:** este tipo de vegetación, también conocida como bosque enano de altura, presenta varios elementos florísticos, pero debido a sus condiciones ambientales, topográficas y edáficas, no se desarrollan como árboles y sus alturas no superan los tres metros (Lozano, 2002). La diversidad de especies de esta comunidad vegetal es de 55, identificadas en el área de la concesión, correspondientes a géneros y especies. Las familias que caracterizan a esta comunidad son: Asteraceae, Clusiaceae, Cyperaceae, Gentianaceae y Poaceae, que corresponden a 46 % de las familias identificadas. La vegetación es de tipo estructural herbáceo con una cubierta vegetal del 90%. El estrato del pajonal o páramo puede alcanzar hasta 0.5 m hasta 1.0 m. Está distribuido en la parte baja media y alta de la concesión con pendientes rectas, planas y onduladas.

**Bosque Montano Alto:** caracterizado por árboles con alturas considerables de hasta 10 metros, el suelo y los árboles se encuentran cubiertos por una densa

capa de musgos que dan el aspecto de alfombra esponjosa. La diversidad de especies de esta comunidad vegetal es de 25 de las identificadas en las parcelas, correspondientes a géneros y especies. Las familias que caracterizan a esta comunidad son: Asteraceae, Ericaceae, Melastomataceae, que corresponden a 48 % de las familias identificadas. La vegetación es de tipo estructural arbustivo con una cubierta vegetal del 100%. El estrato del bosque o remanente boscoso puede alcanzar hasta 8 m. o 10 m. Está distribuida en parte media y baja de la concesión, junto a las quebradas y en hondonadas.

**Bosque Montano:** este tipo de vegetación está dominada por una vegetación con arbustos y algunos árboles. La diversidad de especies de esta comunidad vegetal es de 28, de las identificadas en las parcelas, correspondientes a géneros y especies. Las familias que caracterizan a esta comunidad son: Arecaceae y Melastomataceae, que corresponden a 28 % de las familias identificadas. La vegetación es de tipo estructural arbustivo con una cubierta vegetal del 100%. El estrato del bosque o remanente boscoso puede alcanzar hasta 8 m hasta 10 m. Está distribuido en la parte baja y media de la concesión, con pendientes cóncavas y rectas.

**Pastizales-Plantaciones:** se caracteriza por su vegetación predominantemente gramínea como pastos. Las plantaciones presentes son de pino (*Pinus patula*), ubicadas en el límite del bosque natural, mientras que los pastizales de *Pennisetum clandestinum* se encuentran en la parte baja de la Concesión.



**Foto 1.2** Principal flora en la zona del proyecto Caña Brava. a) Pastizales, en la parte baja de la concesión b) Bosque montano, en la parte baja y media de la concesión c) Bosque montano alto, junto a las quebradas y en hondonadas. d) Páramo, en áreas planas y onduladas. (Tomado de Cornerstone, 2014).

#### 1.5.4.2 FAUNA

Debido a factores como altitud, clima andino de páramo y actividad antrópica, la diversidad de la fauna del lugar es reducida. Además hay que sumar los escasos remanentes de bosque que son el lugar donde los animales viven, procrean y crían sus descendencias. Sin embargo se ha reportado algunas especies (Foto 1.3) (Cornerstone, 2014), a continuación se sintetiza en la tabla 1.2 la fauna del área de la concesión:

| MAMÍFEROS       | AVES               | PECES             |
|-----------------|--------------------|-------------------|
| Lobo            | Gavilán dorsirrojo | Trucha salmonella |
| Sacha cuy       | Pato de torrentes  | Trucha arcoiris   |
| Venado          | Patillo            |                   |
| Conejo          | Alifajeado         |                   |
| Cuy silvestre   | Pava de monte      |                   |
| Chucurillo      | Avefría andina     |                   |
| Ratón de páramo | Vencejo            |                   |
| Zorro           |                    |                   |

**Tabla 1.2** Fauna presente en la concesión Caña Brava. (Tomado de Cornerstone, 2014).



**Foto 1.3** Fauna de la zona. A la izquierda una *Cyanolyca armillata* (Urraca collarejo) (UTM: 681500 E; 9590902 N, Datum PSAD 56, zona 17 S). A la derecha una trucha en el río Caña Brava (UTM: 681037 E; 9590380 N, Datum PSAD 56, zona 17 S).

### 1.5.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

La parroquia Gualel, perteneciente al cantón Loja, es el centro habitado más cercano a la concesión (5 km al sur), está ubicada a 90 km de la cabecera cantonal (Loja), se caracteriza por ser esencialmente agrícola-ganadera y por mantener viviendas patrimoniales. Limita al norte con la parroquia San Antonio de Tenta, del cantón Saraguro; al Sur con las parroquias Chuquiribamba y El Cisne del cantón Loja; al Este con las parroquias Santiago y San Lucas del cantón Loja; y al Oeste con la parroquia El Cisne del cantón Loja, parroquias Morales y Salatí del cantón Portovelo en la provincia de El Oro.

La parroquia tiene 3.500 habitantes, de los cuales un 50% se dedican a la ganadería, un 30% a la agricultura y un 20% a la crianza y comercialización de aves de corral (<http://www.inec.gob.ec>, 2015), debido a la diversidad de pisos altitudinales propios de la irregular topografía de la región, se desarrolla una flora y fauna variada que permite excelente producción para abastecer a otros mercados de la región.

Las zonas bajo cultivos de tamaño considerable se concentran en los alrededores de la cabecera parroquial, las principales cosechas consisten en: maíz, habas, fréjol, mellocos, papas, entre otros. El tipo de riego predominante es por gravedad y aspersión, este último sobre todo en áreas donde está la mayor producción.

En cuanto a la ganadería, a pesar de que la mayor parte del territorio está bajo pasto natural, no está debidamente desarrollada y sirve solo de sustento (bovino y ovino). La crianza de cobayos es la que más se comercializa, aunque reporta pocos ingresos económicos.

Además se debe mencionar que parte de la población se dedica a la elaboración de quesillo y lo comercializan en Catamayo y Loja, igualmente con plantas medicinales.



### 1.5.6 INFRAESTRUCTURA

La mayor parte de las casas en la comunidad de Gualel está constituida por paredes mixtas de tapia y adobe con techos de teja y acabados de madera (Foto 1.4). Al momento Gualel cuenta con Instituciones municipales, gubernamentales y educativas (<http://www.loja.gob.ec>, 2015).

En el aspecto educativo, cuenta con 2 escuelas y 1 colegio; además de dos vías de comunicación terrestre, una que conduce a la parroquia El Cisne, y otra a la parroquia Chuquiribamba.

Existe también telefonía pública, y señal de telefonía celular, aunque esta no tiene muy buena cobertura. En el caso de medios de comunicación a esta comunidad llegan señal de radio de la provincia, y también algunos canales nacionales de televisión.



**Foto 1.4** Infraestructura de la parroquia Gualel. A la izquierda, la iglesia de la comunidad. A la derecha, vista de la comunidad en dirección al noroeste. (Tomado de <http://www.loja.gob.ec>, 2015).

## **1.6 TRABAJOS ANTERIORES**

En la zona de estudio se han realizado algunos trabajos anteriores, los cuales han aportado información significativa al conocimiento geológico de la región, permitiendo generar ideas de la evolución geológica y la posible mineralización de la zona. Trabajos de exploración en la propiedad se reportan por primera vez en la década de 1990 y consistieron en el análisis de imágenes satelitales para definir objetivos de exploración y realizar el seguimiento en la zona.

A continuación se citan varios trabajos que contienen información relacionada con el área estudiada en este proyecto de titulación:

### **1.6.1 RIO TINTO ZINC CORPORATION (1994)**

Durante 1994, Rio Tinto Zinc Corporation explora en busca de depósitos de oro epitermal y depósitos de pórfidos de cobre, realizando geoquímica de sedimentos en ríos.

### **1.6.2 BRITISH GEOLOGICAL SURVEY Y EL GOBIERNO DEL ECUADOR (1995-2000)**

Entre 1995 y 2000, se realizó un trabajo por parte del Servicio Geológico Británico (British Geological Survey) y el Gobierno del Ecuador, en donde se hicieron estudios a escala regional como: estudio magnético aéreo, mapeo geológico, muestreo de rocas y de sedimentos en la zona.

El levantamiento magnético de 1 km de espaciamiento presentó una serie de estructuras y características a escala regional, incluyendo un bajo magnético con tendencia Este-Noreste de unos 5 km de ancho, el cual pasa directamente sobre el área de Caña Brava. Este bajo magnético puede ser debido a la destrucción de la magnetita asociada a la alteración hidrotermal a lo largo de una estructura coincidente.

La falla El Girón no presenta evidencia en datos magnéticos, sin embargo el mapeo regional muestra una falla con tendencia norte-noreste que está sobre la parte norte de este bajo magnético. Lineamientos asociados a estructuras mayores y anillos/fallas concéntricas dobles, pueden representar estructuras de

una caldera, las cuales se evidencian en mapas topográficos regionales y la hipótesis apoyada por estudios vulcanológicos regionales.

### **1.6.3 IAMGOLD CORPORATION (2000)**

Iamgold Corporation llevó a cabo una exploración regional en toda la zona en el año 2000, en la parte occidental de la concesión Caña Brava se realizó geoquímica de suelos (muestras espaciadas cada 100 m, sobre 100-200 m de espaciamiento entre las líneas de la malla) como parte de este programa. Se reportaron anomalías de cobre, molibdeno y oro, coincidentes con alteración epitermal.

### **1.6.4 CORNERSTONE (2007-2015)**

Cornerstone Ecuador S.A. (CESA) adquirió la concesión de Caña Brava en 2007, pero los trabajos fueron suspendidos por un prolongado periodo, resultado de la moratoria minera promulgada en abril del 2008. Inmediatamente después “Caña Brava” fue erróneamente revocada por el gobierno ecuatoriano, sin embargo esta decisión fue apelada y los derechos de la concesión fueron restaurados en noviembre del 2012. Actualmente (año 2015) Cornerstone es titular de la concesión minera “Caña Brava”, y ha realizado trabajos geológicos, muestreo de rocas y suelo, así como un mapeo de alteración hidrotermal.

## **1.7 DESARROLLO DEL TRABAJO**

Los siguientes cinco capítulos se explican brevemente a continuación:

**Capítulo 2.** En este capítulo se presenta el marco geológico regional, detallando las principales unidades litológicas a nivel regional, además se describe las estructuras tectónicas representativas y la evolución geológica. También se presenta en detalle la geología en la concesión Caña Brava, es decir las unidades litológicas presentes, en base a la petrografía que ha sido observada en afloramientos, muestras de mano y análisis en láminas delgadas.

**Capítulo 3.** En este capítulo se describe el método geofísico de la magnetometría terrestre, sus principales conceptos y fundamentos. Se detalla el levantamiento magnetométrico terrestre realizado en la concesión minera y se presenta los



resultados e interpretaciones en mapas de campo magnético total, reducción a polo y primera derivada.

**Capítulo 4.** Este capítulo presenta los principales conceptos de alteración hidrotermal, y también se describe los diferentes minerales de alteración presentes en el área de estudio, como resultado del análisis petrográfico de láminas delgadas y espectroscopía de alta resolución con el uso del equipo TerraSpec.

**Capítulo 5.** En este capítulo se propone la integración de los datos obtenidos a través del levantamiento magnetométrico terrestre y su relación con los minerales de alteración hidrotermal, así como la interpretación de los mismos, esto en base a los resultados obtenidos en los capítulos 3 y 4.

**Capítulo 6.** Se presentan las conclusiones y recomendaciones determinadas durante la realización del trabajo.

**Bibliografía y Anexos.** Por último se incluye la lista de referencias y los anexos correspondientes, que respaldan el trabajo presentado en los capítulos.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO GEOLÓGICO**

#### **2.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

##### **2.1.1 INTRODUCCIÓN**

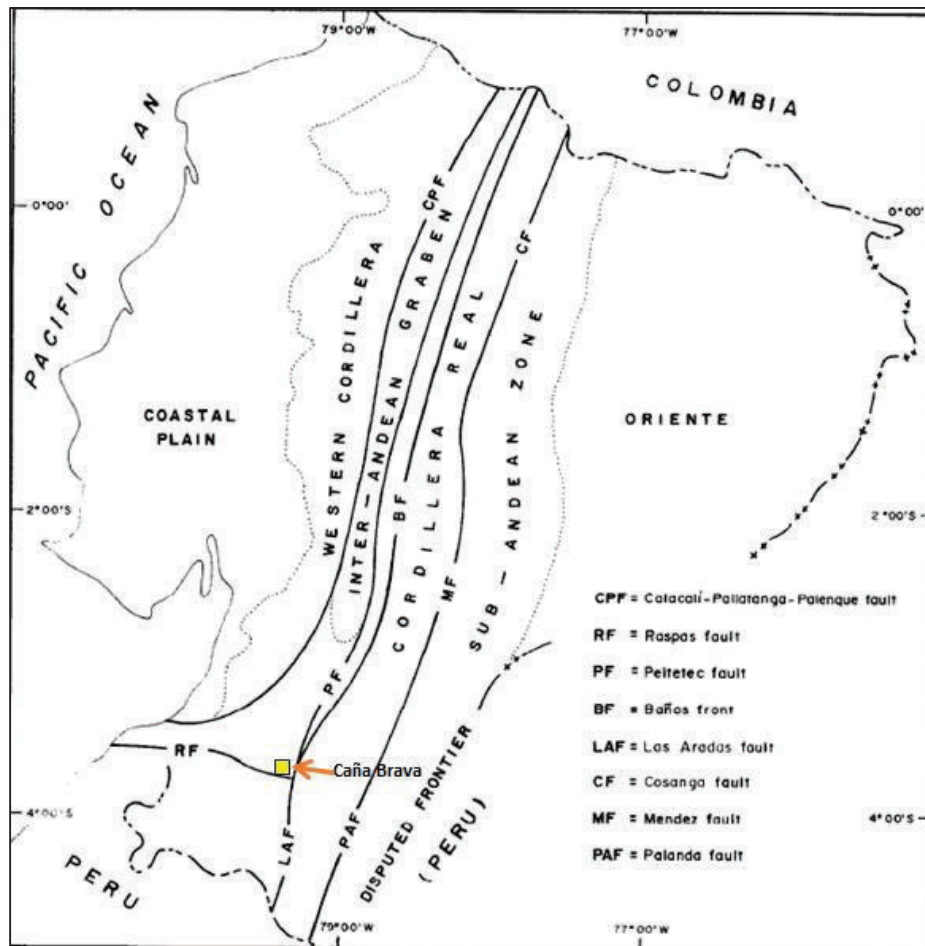
La cordillera de Los Andes del Ecuador forma parte del segmento de los andes del norte de Sudamérica, ésta se caracteriza por la presencia de terrenos alóctonos, incluyendo fragmentos oceánicos/ofiolíticos (Feininger y Bristow, 1980; McCourt et al., 1984; Megard y Lebrat, 1987), acrecionados al margen de sudamérica desde el Cretácico Medio (Egüez, 1986; Van Thournout, 1991). La cordillera andina comprende dos cadenas montañosas subparalelas, la cordillera Real hacia el este y la cordillera Occidental en el oeste, separadas por un graben central (Fig. 2.1).

La cordillera Occidental está constituida por terrenos acrecionados en los que se encuentran rocas de arco, corteza oceánica y secuencias turbidíticas, con edades que van desde el Mesozoico Tardío hasta el Cenozoico Temprano. Estas rocas son intruidas por cuerpos de granitoides del Terciario Medio. Cubriendo estas secuencias se presentan rocas volcánicas de composición calco-alcalina con edades posteriores al Eoceno (Pratt et al., 1997).

La concesión minera Caña Brava se encuentra ubicada en la parte sur de la cordillera Occidental del Ecuador (Fig. 2.1). Regionalmente en esta área afloran rocas metamórficas que son expuestas en ventanas de erosión dentro de afloramientos volcánicos y en sus bordes, están cubiertas por lavas y tobas de composición andesítica a riolítica y por una delgada secuencia turbidítica. Rocas volcánicas de arco como andesitas y tobas dominan la zona. En cuanto a cuerpos intrusivos, la zona presenta cuarzdioritas, granodioritas-tonalitas, distribuidas entre el basamento metamórfico. Stocks de composición riolítica y andesítica son comunes en estratos del Oligoceno y más jóvenes.

Los dos sistemas de fallas regionales más importantes son el Cinturón Gañarín y el sistema de Fallas Girón, éstas restringieron las cuencas intramontañosas,

participaron en la inversión tectónica, situaron calderas y controlaron la mineralización epitermal en la zona. (Pratt et al., 1997).



**Fig. 2.1** Mapa simplificado de las características geomorfológicas y principales fallas del Ecuador. (Tomado de Aspden y Litherland, 1992).

### 2.1.2 LITOESTRATIGRAFÍA

A continuación se describen las principales unidades y formaciones que se encuentran alrededor de la concesión minera Caña Brava (Fig. 2.2a; Fig. 2.2b).





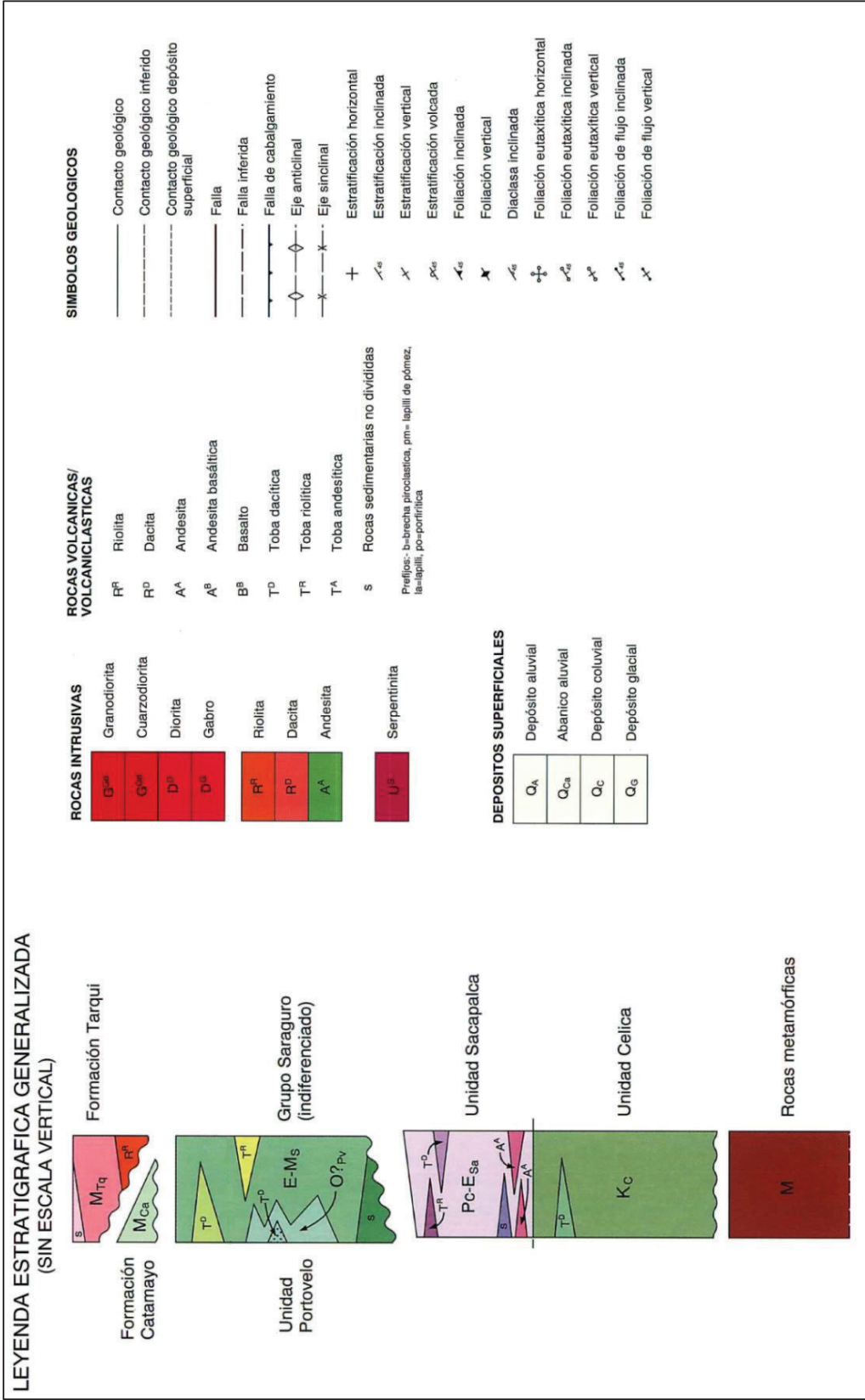


Fig. 2.2b Leyenda estratigráfica y simbología de la parte Sur de la Cordillera Occidental. (Modificado de Pratt et al., 1997).

### **2.1.2.1 Rocas Metamórficas (M)**

Son consideradas como la continuación hacia el norte del Complejo Metamórfico El Oro (Aspden et al., 1995; Feininger, 1978). En su mayoría consisten en rocas metasedimentarias incluyendo algunas de bajo grado como pizarras. Sin embargo, aparecen gneises entre estas rocas de bajo grado (Pratt et al., 1997). Este complejo metamórfico se lo considera de edad Paleozoica a Cretácica con eventos metamórficos en el Triásico y Cretácico (Aspden et al., 1995).

### **2.1.2.2 Unidad Celica (Kc)**

Pratt et al. (1997) establece esta unidad como rocas volcánicas que comprenden tobas andesíticas-dacíticas alteradas y lavas andesíticas a basálticas, las cuales afloran al NNE de El Cisne. Sobreyace discordantemente al Complejo Metamórfico El Oro y está sobreyacido por la Unidad Sacapalca. En la cuenca Alamor a unos 50 km al sur de Zaruma las relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana (Jaillard et al., 1996).

Hungerbühler et al. (2002) considera que la zona oeste de la concesión corresponde a la Formación Saraguro, mientras que Pratt et al. (1997) incluye a estas rocas en la Unidad Celica. La Formación Saraguro es la formación volcánica con mayor extensión en el Sur del Ecuador y está compuesta por piroclastos de composición intermedia a ácida (Hungerbühler et al., 2002).

### **2.1.2.3 Unidad Sacapalca (Pc-Esa)**

Definida como una secuencia de lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas distribuidas ampliamente (Pratt et al., 1997). Previamente estuvo restringida al graben de Catamayo (Kennerley, 1973; DGGM, 1975). Sin embargo estas rocas continúan hacia el norte, y lo que anteriormente fue mapeado como Grupo Saraguro también pertenece a la Unidad Sacapalca (Pratt et al., 1997).

Petrográficamente las andesitas de la Unidad Sacapalca son más frescas que aquellas de la Unidad Celica. Aunque existe una alteración con clorita y calcita, pero en comparación con las lavas de la Unidad Celica, hay ausencia de epidota.

La unidad probablemente representa depósitos de volcanes andesíticos y sus productos transportados desde zonas altas. Datos geoquímicos de roca total y la abundancia de clinopiroxeno/anfibol implican una composición calco-alcalina (Pratt et al., 1997).

Una edad del Paleoceno-Eoceno Temprano (Jaillard et al., 1996) es probable, debido a que la unidad esta intruida por el plutón de San Lucas (59-51 Ma; Aspden et al., 1992); (39,1 ± 3 Ma; Steinmann, 1997), por la intrusión El Tingo (47 ± 2 Ma; Kennerley, 1980); (21,2 ± 2,6 Ma; Hungerbühler, 1997) y el plutón Rodanejo (38,7 ± 5,6 Ma; Hungerbühler, 1997). Las variaciones de edad de estos plutones pueden ser parcialmente explicadas por diferentes temperaturas de clausura de las fases minerales e historias de enfriamiento post-cristalización (Hungerbühler, 2002). También se tiene una datación con trazas de fisión de 66,9 ± 5,8 Ma cerca de Catacocha (Hungerbühler, 1997) y otra de 67 ± 6 Ma (Hungerbühler, 2002). Andesitas al norte de Manú, en el tope de la unidad, dan una edad de Oligoceno Tardío (24,8 ± 1,8 Ma) por el método de trazas de fisión (Pratt et al., 1997), aunque esto podría ser un reseteo debido al calentamiento ocasionado por un cuerpo intrusivo.

#### **2.1.2.4 Grupo Saraguro (E-Ms)**

Consiste principalmente de tobas de composición ácida, lavas andesíticas y material volcánico retrabajado (Dunkley y Gaibor, 1997). Mediante análisis geoquímico de roca total, Pratt et al., (1997) diferenció tres composiciones:

- a) Tobas andesíticas de color verde con abundante plagioclasa, anfíbol y augita, rara vez con textura vitroclástica y foliaciones no muy desarrolladas.
- b) Tobas dacíticas de color rosado o café con textura consolidada y cristales de feldespato, ± anfíboles y algunos cristales de cuarzo. Algunas veces lapilli de pómez es común.
- c) Tobas riolíticas de color blanco, café claro o rosadas. Textura vitroclástica destruida por recristalización y desvitrificación. El contenido de cristales es variable, siendo comunes feldespato y cuarzo, la biotita constituye un componente importante en algunas de estas tobas.



La edad más antigua para el Grupo Saraguro es ca.  $38,6 \pm 1,3$  Ma (Eoceno Tardío) (Dunkley y Gaibor, 1997) la cual es tomada de una toba ácida en la parte norte. Al noreste una toba da una edad de  $37 \pm 1,5$  Ma (Pratt et al., 1997). Sin embargo en la parte más alta de la secuencia (Tobas La Paz) se registra una edad de  $22,5 \pm 0,9$  Ma correspondiente al Mioceno Temprano (Pratt et al., 1997).

Aunque la mayor parte del Grupo Saraguro esta indiferenciado, Pratt et al. (1997), reconoce cinco formaciones y una unidad litológica: Formación Las Trancas, Unidad Portovelo, Formación Plancharumi, Formación La Fortuna, Formación Jubones y Formación La Paz. Estas divisiones son consideradas por PRODEMINCA (2000) en tres fases:

- Eoceno Tardío (ca. 42-35 Ma), actividad caracterizada por tobas ácidas (dacítica a riolítica), flujos de lava y brechas.
- Oligoceno Temprano (ca. 35-29 Ma), rocas volcánicas con una composición intermedia (andesítica).
- Oligoceno Tardío - Mioceno Temprano (ca. 29-21 Ma) volcanismo ácido, con formación de tobas riolíticas, flujos de ceniza, lavas y además la presencia de sedimentos lacustres.

En base a trazas de fisión de zircón, Hungerbühler et al., (2002) dividió al Grupo Saraguro en dos Formaciones: Formación Loma Blanca (Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano) y Formación Saraguro (Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano), las cuales incluyen piroclastos con una composición intermedia a ácida. De estos dos, la Formación Saraguro es la que estaría dentro del área de la concesión y consiste de tobas andesíticas a dacíticas y flujos de lava. La Formación Loma Blanca corresponde a volcanoclásticos más antiguos que los de la Formación Saraguro, y a pesar de sus similitudes litológicas, fueron emitidas/depositadas en diferente tiempo (Hungerbühler et al., 2002).

#### **2.1.2.4.2 Unidad Portovelo (O?-Pv)**

Es una de las unidades litológicas que Pratt et al., (1997) reconoce dentro del Grupo Saraguro, ocupa el área hacia el sur de Zaruma y Portovelo, esta fallada con rocas metamórficas en el sur a lo largo del sistema de fallas Piñas-Portovelo. Trabajos anteriores han incluido esta secuencia dentro de la Formación Celica

(DGGM, 1982), La Formación Piñón (DGGM, 1973; DGGM, 1975) y volcánicos Saraguro (BGS y CODIGEM, 1993). Comprende lavas basalto-andesíticas y andesíticas, ricas en minerales (plagioclasa, anfíbol, augita), también incluye tobas andesíticas y dacíticas. Datos geoquímicos de la unidad dibujados sobre un diagrama  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (Le Bas et al., 1986) indican una composición andesítica de afinidad calco-alkalina. Una datación realizada por Schütte (2010) a tres zircones de un pórfido de plagioclasa y hornblenda expuesto en trabajos subterráneos en la mina La Abundancia en Portovelo, proporciona una edad de  $24,04 \pm 0,06$  Ma.

#### **2.1.2.5 Formación Catamayo (Mca)**

Jaillard et al. (1996) define a esta formación como areniscas rojas y amarillentas, limolitas y lutitas que afloran alrededor de Catamayo, las cuales previamente fueron incluidas dentro de la Formación Gonzanamá. Esta formación sobreyace a la Unidad Sacapalca con discordancia angular en el sector de Catamayo. Se desconoce su edad, sin embargo Jaillard et al. (1996) sugiere que hubo inundación costera (parte baja), fluvial (en la parte media) y ambientes llanos costeros con incursiones marinas (parte superior) comparables cercanamente con ambientes deposicionales encontrados en la Formación Gonzanamá con edad de  $15,7 \pm 2,0$  Ma a  $14,0 \pm 3,0$  Ma y otras series del Mioceno Medio en el sur del Ecuador (Hungerbühler, et al., 2002).

#### **2.1.2.6 Formación Tarqui (Mtg)**

Representa la formación volcánica más joven en el sur del Ecuador, cubriendo las formaciones más antiguas. Consiste de tobas riolíticas pobremente consolidadas, conglomerados tobáceos y areniscas tobáceas. Aflora alrededor de Saraguro y al este de la caldera de Quimsacocha. Se reportan remanentes de plantas y algunos carbones en esta formación (UNDP, 1969). Una edad de Mioceno Tardío es asignada por Dunkley y Gaibor (1997), grandes stocks dacíticos datados por trazas de fisión en  $9,6 \pm 0,5$  Ma instruyen la formación al sur de Saraguro (Pratt et al., 1997). Edades obtenidas por Hungerbühler et al. (2002) dan un rango de  $5,1 \pm 0,6$  Ma a  $6,8 \pm 0,8$  Ma para la Formación Tarqui.

### 2.1.3 INTRUSIONES

Existen dos tipos de intrusiones a nivel regional: granitoides e intrusiones subvolcánicas. Las intrusiones del tipo granitoide afectan a rocas metamórficas, formaciones Cretácicas, la Unidad Sacapalca y niveles bajos del Grupo Saraguro. La mayoría de estas intrusiones son de grano fino.

El mayor cuerpo intrusivo la zona es el de San Lucas, está emplazado principalmente en las rocas de la Cordillera Real y la Unidad Sacapalca, ocupando el área de Santiago a San Lucas (Fig. 2.2). Datos K/Ar de  $60 \pm 5$  Ma (Paleoceno) y una edad Rb/Sr de  $53 \pm 2$  Ma fueron obtenidas por Aspden et al. (1992). Esta intrusión parece estar vinculada, al menos físicamente, a la granodiorita que se expone en el sector de Fierro Urco, sin embargo esta última es mucho más joven, ya que intruye al Grupo Saraguro en el mismo sector, por tanto lo más probable es que existan dos fases del intrusivo (Pratt, et al., 1997).

Existen pocas intrusiones subvolcánicas que se presentan dentro del Grupo Saraguro, estas intrusiones han sido datadas en  $9,6 \pm 0,5$  Ma (Pratt et al., 1997).

Intrusiones jóvenes de granodiorita al este de la Cordillera Occidental, asociadas con el depósito epitermal de alta sulfuración de El Mozo han sido datadas en  $16,04 \pm 0,02$  Ma mediante U-Pb en zircones (Schütte, 2010). Esta edad es interpretada como la edad del emplazamiento del intrusivo, y coincide con otra obtenida mediante K-Ar en una alunita de  $15,4 \pm 0,7$  Ma (PRODEMINCA, 2000). La edad de  $16,04 \pm 0,02$  es contemporánea con el volcanismo de Santa Isabel más al Norte (Hungerbühler, et al., 2002), además es cercano a  $16,09 \pm 0,2$  Ma de la intrusión de Paccha hacia el oeste (Pratt et al., 1997) y  $15,3-14,8$  Ma obtenidos para el batolito de Chaucha hacia el norte (Schütte, 2010). Todo esto sugiere que hubo un magmatismo post-Saraguro muy extenso al sur del Ecuador.

### 2.1.4 ESTRUCTURAS

El principal sistema de fallas que afectan las la zona de la concesión Minera Caña Brava y sus cercanías corresponde a El Sistema de Fallas Girón (Fig. 2.2; 2.3), el cual comprende fallas inversas, pliegues cerrados y cabalgamientos, con una dirección que oscila entre un rumbo N-NE cerca de Cuenca a N-S cerca de El Cisne. Previamente había sido modelada como un sistema de fallas normal

(DGGM, 1974), en muchos lugares este sistema tiene una convergencia al noroeste y un carácter inverso (Pratt et al., 1997).

### **2.1.5 ESTILOS DE MINERALIZACIÓN**

La mineralización se relaciona con actividad magmática y/o fallas y está documentada en varios tipos de depósitos (Goossens, 1972; Gemuts et al., 1992; Paladines y Rosero, 1996; Pratt et al., 1997; PRODEMINCA, 2000). Entre los cuales se tiene mineralizaciones de estilo pórfido de Cu +/-Mo +/-Au (ejemplo: Fierro Urco) y mineralizaciones de tipo epitermales de alta sulfuración, la mayoría alojadas en volcánicos del Grupo Saraguro (ejemplo: El Mozo). La concesión “Caña Brava”, parece estar relacionada con un cinturón de mineralización tipo alta sulfuración-pórfido de Cu (cinturón Collay-Shincata) (Poma, 2015) (Fig. 2.3).

#### **2.1.5.2 CINTURÓN COLLAY-SHINCATA**

Este corresponde a un cinturón de alta sulfuración-pórfido cuprífero de edad probablemente Miocénica. Tiene una dirección aproximada NE-SW, posiblemente relacionada a la Falla Baños, este cinturón aloja varias ocurrencias de mineralizaciones principalmente epitermales y de pórfido cuprífero. La concesión Caña Brava está ubicada en la parte sur de este cinturón, el cual se extiende hacia el noreste comprendiendo prospectos como: Fierro Urco, Encrucijada, Cañicapa, Mozo y Gima (Fig. 2.3) (Poma, 2015).

Las rocas del Grupo Saraguro, del Eoceno Tardío al Mioceno Temprano, son huéspedes para mineralización epitermal en el sur del Ecuador, el Grupo Saraguro contiene muchas ocurrencias conocidas de mineralización aurífera de estilo epitermal y pórfido cuprífero (PRODEMINCA, 2000). La ausencia de cobertura volcánica cuaternaria y la actividad erosiva, son factores claves para la exposición de las rocas Miocénicas de tipo pórfido en el sur de Ecuador.

La localización de intrusiones a escala regional está controlada por fallas mayores, tanto normales como de “strike-slip” que se extienden hacia el basamento. La mineralización está localizada en estructuras secundarias subsidiarias a esas zonas estructurales. Conforme a esto, el cinturón Collay-Shincata fue un foco de actividad intrusiva y volcánica sobre periodos

considerables, y es claramente una zona favorable para el emplazamiento de mineralización de estilo epitermal y pórfido cuprífero. (PRODEMINCA, 2000).

#### *2.1.5.2.1 Mineralización de Estilo Pórfido cuprífero (Ejemplo de "Fierro Urco")*

Los pórfidos cupríferos son depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje. Se denominan pórfidos porque frecuentemente, están asociados con rocas ígneas intrusivas con fenocristales en una masa fundamental cristalina de grano fino. Estos tipos de depósitos se pueden subdividir considerando su contenido metálico, estos incluyen Cu-Mo, Cu-Au, Cu-Au-Mo. Los depósitos de tipo pórfido están relacionados genética y espacialmente con intrusiones. En la Cordillera Occidental del Ecuador las mineralizaciones asociadas a pórfidos han sido localmente preservadas, mientras en unas zonas se puede observar el núcleo del sistema de pórfido; en otras zonas, las partes más importantes del sistema han sido removidas debido a una mayor erosión. Los sistemas de pórfidos están a menudo asociados con intrusivos dispersos que se formaron en las etapas finales de la formación de grandes batolitos (Schütte, 2010).

Un ejemplo de mineralización de estilo pórfido cuprífero es Fierro Urco que está situado a unos 36km al NNW de Loja y a 15 km al SW de Saraguro (Fig. 2.3), corresponde a un sistema de pórfido de cobre y oro, se aloja en rocas volcánicas con lechos sedimentarios intercalados, pertenecientes a la Formación Sacapalca del Paleoceno-Eoceno (Kennerley, 1973; Bristow y Hoffstetter, 1977; Pratt et al., 1997) que ocupan el Sinclinal de Chuquiribamba de rumbo N-S (Pratt et al., 1997). En el núcleo del sinclinal y en un área donde las andesitas de Sacapalca se expanden hacia el norte, éstas están cubiertas discordantemente por las tobas de flujo de cenizas ("ash-flow") dacíticas a riolíticas del Grupo Saraguro de edad Oligoceno-Mioceno (PRODEMINCA, 2000).

Fierro Urco comprende un complejo intrusivo de granodioritas con morfología de "sills", microdioritas intensamente diaclasadas, y un intrusivo félsico relacionado con la mineralización de pórfido de cobre que se supone está bajo la parte Sur del área de Fierro Urco (PRODEMINCA, 2000).

La riolita de Fierro Urco (Pratt et al., 1997), es la principal roca que aloja a la mineralización, está ampliamente brechificada y silicificada al extremo de que en

lámina delgada ya no es identificable como una roca ígnea. A causa de la intensa alteración los contactos con las tobas de flujo de cenizas ("ash-flow") sub-horizontales del Grupo Saraguro no son claros y pueden haber sido cartografiados sin precisión (Pratt et al., 1997).

Fierro Urco es típico de un ambiente de pórfido con mineralización en las rocas volcánicas. El actual nivel de la erosión pone de manifiesto mineralización transicional entre un régimen epitermal del alta sulfuración y un "stockwork" en un pórfido cuprífero mesotermal. La mineralización posdata el emplazamiento de las granodioritas y está aparentemente asociada con una riolita más joven que puede ser comagmática de las tobas de flujo de cenizas que la rodean. El patrón de alteración hidrotermal en y alrededor del pico Fierro Urco está dominado por cuarzo-alunita rodeado por un área de alteración argílica primaria dentro de una zona propilítica más extensa. El desarrollo de la alunita normalmente tiene lugar en las partes más profundas de un sistema de sulfato-ácido verticalmente zonado y puede estar cubierto por zonas o niveles de jarosita-sílice, hematita-sílice. El nivel actual de erosión en el pico Fierro Urco está por tanto 50-100 metros bajo la paleosuperficie del tiempo en que la célula de convección hidrotermal era activa (PRODEMINCA, 2000).

#### *2.1.5.2.2 Mineralización Epitermal de Alta Sulfuración (Ejemplo de "El Mozo")*

Los depósitos epitermales se forman cerca de la superficie, generalmente a profundidades menores que 1 km, y comúnmente en terrenos volcánicos. Estos depósitos ocurren en condiciones cambiantes conforme los fluidos metalíferos presurizados ascienden a través de la corteza y reaccionan con las rocas. Depósitos de alta sulfuración se derivan de fluidos ricos en sulfuros, oxidados, acidificados, generados en ambientes hidrotermales volcánicos. (PRODEMINCA, 2000).

Uno de los ejemplos de depósito epitermal de alta sulfuración en el cinturón Collay-Shincata es el Prospecto El Mozo que se encuentra localizado a 60 km al Sur de Cuenca (Fig. 2.3). El área donde se encuentra, está subyacida por rocas volcánicas y volcanoclásticas calco-alcálicas del Grupo Saraguro, las cuales sobreyacen el basamento metamórfico. Una datación K-Ar realizada en un cristal

de alunita dio una edad de  $15,4 \pm 0,7$  Ma (PRODEMINCA, 2000), que puede corresponder al evento de alteración de alta sulfuración y mineralización. Otra datación más reciente realizada por Schütte (2010) en un dique de granodiorita, da una edad de  $16,04 \pm 0,02$  Ma que es interpretada como edad del emplazamiento. El prospecto el Mozo muestra rasgos típicos de depósitos metalíferos epitermales de alta sulfuración y está localizado cerca de estructuras regionales mayores de dirección noreste-suroeste y este-oeste, en particular por el sistema de fallas transcurrente dextral Las Aradas-Baños en la Cordillera Real, denominado Cinturón Collay-Shincata, el cual se caracteriza por numerosas ocurrencias de mineralización (Jemielita y Bolaños, 1993).

No hay historia de minería en El Mozo. Newmont Overseas Exploration Ltd. descubrió la mineralización en 1992, luego de encontrar bloques silicificados en un arroyo bajo el Cerro Mozo. Subsecuentemente, Newmont llevó a cabo una exploración detallada sobre el área que comprendió mapeo, muestreo de rocas superficiales, levantamientos geofísicos sobre el terreno y en trincheras y además perforaciones exploratorias (PRODEMINCA, 2000). La alteración comprende asociaciones típicas de alta sulfuración que están centradas en fallas de control. La alteración de vuggy sílice ocurre en posiciones proximales, gradando a argílica avanzada y argílica.

En el Mozo están expuestos dos niveles del sistema epitermal: un nivel más profundo que muestra rasgos de mineralización de una zona periférica mayormente limitada por estructuras, y un nivel más alto y más cercano al centro del sistema que comprende zonas más extensas de alteración asociada con mineralización aurífera (PRODEMINCA 2000).

El prospecto El Mozo constituye uno de los principales ejemplos de depósito de Au de alta sulfuración a lo largo del cinturón Collay-Shincata en el sur del Ecuador, el cual se produjo por procesos magmáticos-hidrotermales en la zona.



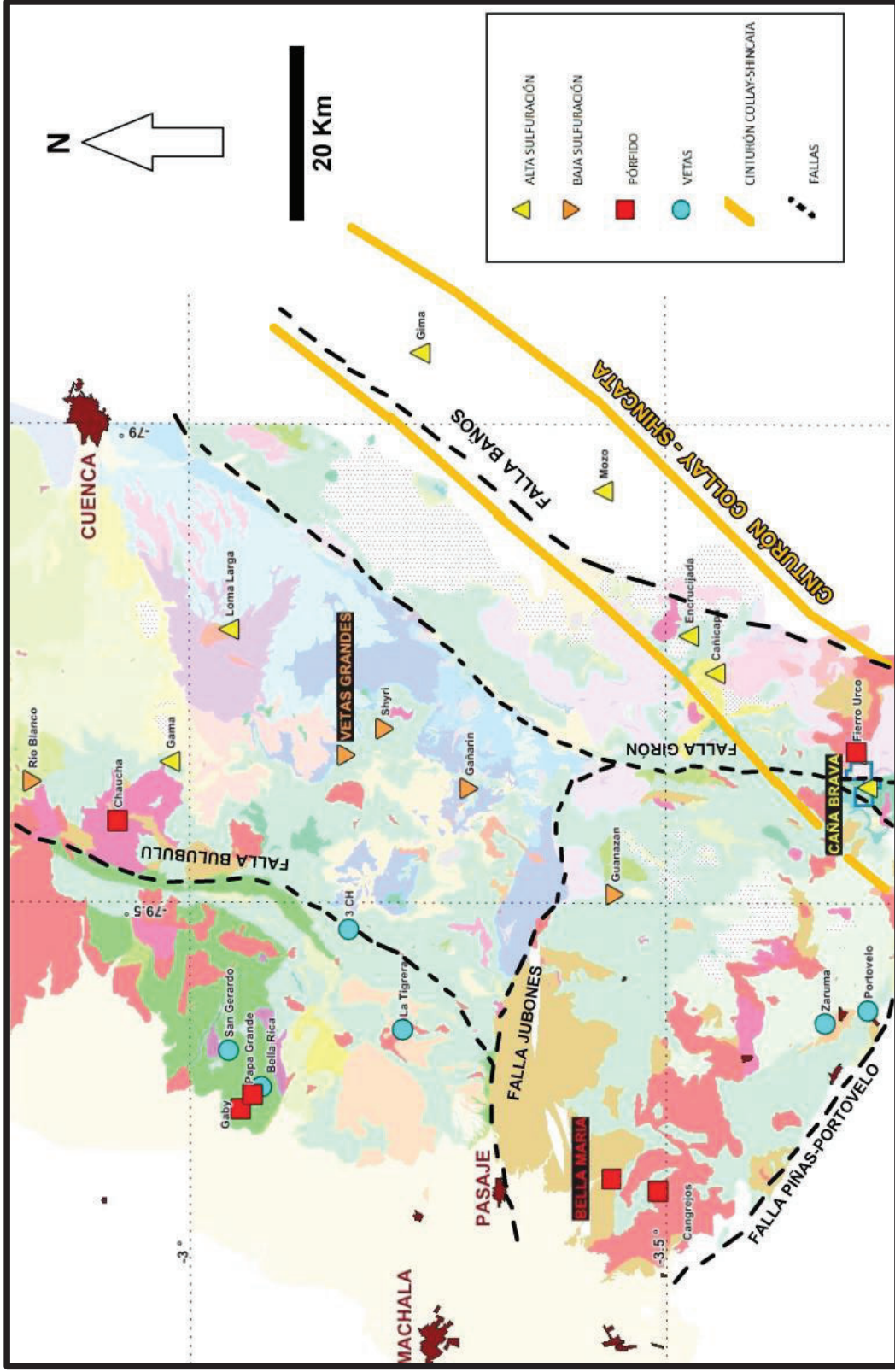


Fig.2.3 Localización del cinturón de mineralización tipo alta sulfuración-pórfido del Mioceno (Collay-Shincata) y los principales prospectos al sur del Ecuador. (Modificado de PRODEMINCA, 2000 en Poma, 2015).

### 2.1.6 HISTORIA GEOLÓGICA

Las rocas más antiguas del área corresponden a los metasedimentos Pre-Cretácicos del Complejo Metamórfico El Oro (Aspden et al., 1995). Las cuales son interpretadas como parte de un complejo prisma acrecionario que incluye; rocas metamórficas de alto grado, de edad Triásica, probablemente de un protolito Paleozoico, rocas con metamorfismo de más bajo grado, de edad probablemente Jurásica-Cretácica que comprenden la matriz del prisma/melange y rocas de alta presión de edad Cretácico Temprano, tectónicamente emplazados dentro del melange.

Andesitas de arco volcánico de la Unidad Sacapalca del Paleoceno-Eoceno posiblemente se acumularon en una fosa entre la Cordillera Real y el terreno Amotape-Tahuin (Megard, 1989). Datos geoquímicos y petrográficos indican un arco volcánico calco-alkalino, el cual podría ser contemporáneo con el arco de islas Macuchi presente al borde oeste de la Cordillera Occidental al norte de 2°30' (Pratt et al., 1997). Durante el Eoceno Tardío inició el volcanismo continental calco-alkalino del Grupo Saraguro y sus productos se depositaron sobre un basamento de rocas metamórficas y secuencias volcánicas más antiguas correspondientes a la Unidad Sacapalca. Fallas sin-deposicionales como el Sistema de Fallas Girón se desarrollaron sobre fallas mayores del basamento, restringiendo las cuencas Terciarias, centros volcánicos y las intrusiones subvolcánicas.

Los primeros eventos de arco de margen continental Saraguro corresponden a la erupción en gran escala de flujos piroclásticos dacíticos-riolíticos seguidos por voluminosas lavas andesíticas (Dunkley y Gaibor, 1997). Eventos posteriores fueron dominados por actividad volcánica explosiva ácida con erupción de flujos de ceniza riolíticos (Pratt et al., 1997).

Aproximadamente hace 18 Ma se produjo una extensión este-oeste que dio lugar a la sedimentación de la cuenca intramontañosa en Catamayo. Esto podría ser el reflejo de un "roll-back" de la zona de subducción entre las placas Nazca y Sudamericana (Pratt et al., 1997).

El desarrollo de los depósitos minerales posiblemente estaría relacionado a las intrusiones de granodiorita datadas entre  $16,04 \pm 0,04$  Ma y  $15,4 \pm$  Ma (Schütte, 2010; PRODEMINCA, 2000).

Hace 10 Ma un evento compresivo invirtió las cuencas intramontañosas al sur del Ecuador y levantó/cabalgó los estratos del Grupo Saraguro y la Unidad Sacapalca sobre dichas cuencas. La Formación Tarqui fue depositada en un ambiente transicional entre deltaico, lacustre y fluvial, pero con un fondo constante de volcanismo ácido, y es posible que la caldera de Quimsacocha haya sido fuente de tobas ácidas de esta formación (Pratt et al., 1997).

## **2.2 GEOLOGÍA LOCAL**

### **2.2.1 INTRODUCCIÓN**

Para la descripción de la geología local se sintetizó los trabajos de levantamiento geológico existentes para la concesión minera Caña Brava. También se realizó un muestreo de rocas, así como su posterior análisis petrográfico en láminas delgadas para definir la litología.

Mediante el reconocimiento de campo se aprecia que la geomorfología de la zona es escarpada y presenta una topografía irregular, posiblemente como producto de la actividad tectónica pasada. Se observan dos direcciones principales de estructuras, una siguiendo el rumbo andino NE relacionado a los principales sistemas de fallas y la segunda con una dirección E-W asociada a cuerpos de brechas hidrotermales (Poma, 2015).

La descripción geológica de las diferentes formaciones, grupos y unidades se basan en interpretaciones propias, así como en las definiciones existentes en léxicos estratigráficos generales y definiciones de autores que han realizado trabajos en la zona.

La concesión Caña Brava, se presenta en un marco geológico local dominado por rocas volcánicas y rocas volcanoclásticas atribuidas al Grupo Saraguro de edad Eoceno Tardío-Mioceno Temprano. Estas rocas han sido intruidas por granodioritas, cuarzodioritas y dioritas del Mioceno Medio, que posiblemente serían responsables de la mineralización.

### **2.2.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

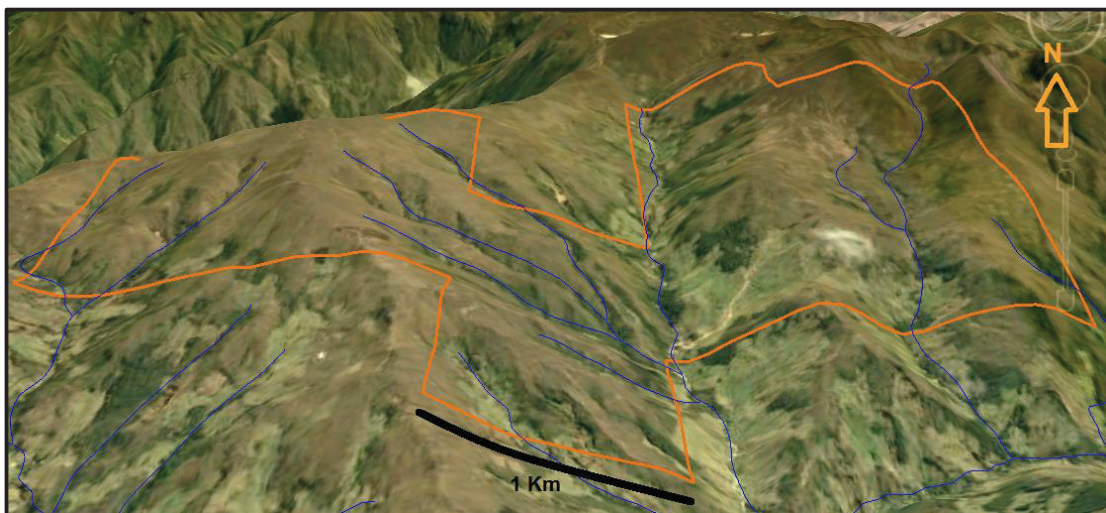
La zona de la concesión presenta una morfología accidentada, producto del tectonismo y erosión sobre las rocas volcanoclásticas que cubren el área (Fig. 2.4).

La concesión Caña Brava está ubicada en la parte sur de la Cordillera Occidental, y se caracteriza principalmente por una topografía muy irregular y escarpada, con un rango de altitudes que van desde 2.900 m a 3.650 m sobre el nivel del mar. Se

pueden observar de acuerdo a la topografía y rasgos morfológicos dos zonas geomorfológicas.

La zona alta, al este y oeste de la concesión, presenta un relieve pronunciado y ondulado de colinas medias, ligeramente disectadas con cimas redondeadas y laderas de pendientes moderadas que aproximadamente varían entre  $8^{\circ}$  a  $17^{\circ}$ . En la parte oeste se presenta un patrón de drenaje dendrítico formado por pequeñas quebradas que se dirigen hacia el SE, para posteriormente unirse al río Caña Brava, otro drenaje importante es la quebrada Soroche que sigue una dirección NE-SW al igual que las fallas principales presentes en la concesión. En la parte este, una colina sigue un rumbo aproximado N-S, separando dos drenajes, la quebrada Caña Brava y quebrada La Tablada, que también presentan un lineamiento N-S. El río Caña Brava es el principal drenaje en toda la zona de la concesión, aquí confluyen los riachuelos que descienden desde el oeste.

La zona baja, en la parte central de la concesión presenta elevaciones entre 2900 y 3300 msnm con una pendiente hacia el oriente y suroriente. Se observa cierta orientación en los cauces de las quebradas al sureste hacia el río Caña Brava. Esto se debe principalmente al control estratigráfico al existir tobas volcánicas estratificadas con un buzamiento de  $29^{\circ}$  al SE (Poma, 2015).



**Fig. 2.4** Morfología de la zona de estudio. (Tomado de Google Earth, 2015).

### 2.2.3 LITOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Trabajos de mapeo geológico anteriores (Pratt, et al., 1997; Hungerhühler et al., 2002) proponen la existencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Unidad Sacapalca y del Grupo Saraguro en la zona de la concesión, estos estudios manifiestan que los volcánicos del Grupo Saraguro están en la parte central y occidental de la concesión y hacia el oriente volcánicos de la Unidad Sacapalca son separados por una falla que sigue aproximadamente el curso del río Caña Brava. No existen dataciones de rocas dentro del área de la concesión para poder discriminar si éstas pertenecen a la Formación Sacapalca o al Grupo Saraguro específicamente y dada la similitud petrográfica de las secuencias volcánicas entre las dos, se hace muy difícil la diferenciación de las mismas, a esto se suma que las rocas han sido afectadas por procesos de alteración hidrotermal. Por tal motivo y teniendo en cuenta que los límites entre formaciones en mapas geológicos suelen ser inferidos, en este trabajo, se consideran a las rocas que afloran en la zona de la concesión Caña Brava como parte de los volcánicos del Grupo Saraguro. Esto en base al estudio de rocas recolectadas en campo que se encuentran descritas en los siguientes párrafos.

Se realizó una descripción de la litología en base al levantamiento geológico a escala 1:5000 llevado a cabo por parte de la empresa CORNERSTONE S.A (Fig. 2.5; Fig. 2.6) y rocas recolectadas en este trabajo en la zona de la concesión minera Caña Brava.

La bibliografía manifiesta que el Grupo Saraguro comprende principalmente tobas soldadas de composición andesítica, dacítica y riolítica, lavas andesíticas, y material volcánico reabajado. De estas litologías se han encontrado en el área de estudio tobas de composición intermedia a ácida y lavas andesíticas. Las edades registradas corresponden al Eoceno Tardío - Mioceno Temprano (Dunkley y Gaibor, 1997; Pratt et al., 1997). Los afloramientos de donde se recolectaron las muestras están dispersos entre pajonales y pastizales, así como en las quebradas dentro de la concesión. De acuerdo con Poma (2015) las capas de las secuencias volcanoclásticas y volcánicas presentan un rumbo aproximado de N57/29 (Fig. 2.7).



Las secuencias volcánicas y volcanoclásticas atribuidas al Grupo Saraguro cubren prácticamente toda la concesión y están atravesadas por sistemas de brechas hidrotermales. En la zona baja de la quebrada Caña Brava, aflora un cuerpo de granodiorita, el cual intruye a volcanoclásticos andesíticos y andesitas, mediante un contacto estructural – intrusivo (el emplazamiento del cuerpo a través de una estructura), esto último se evidencia por la presencia de una brecha ortomagmática (Poma, 2015). Un cuerpo similar se observa en la esquina noroeste de la concesión.

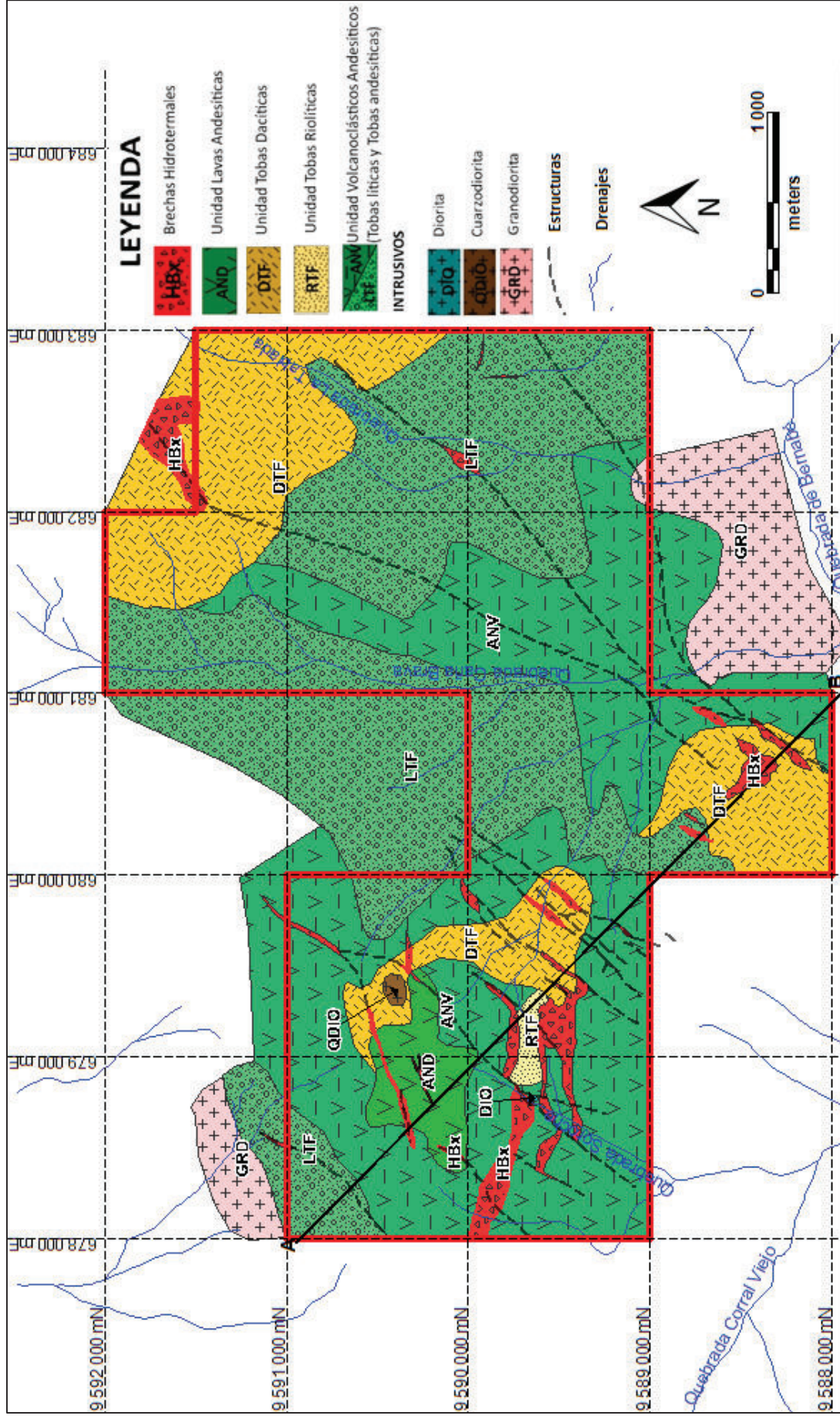
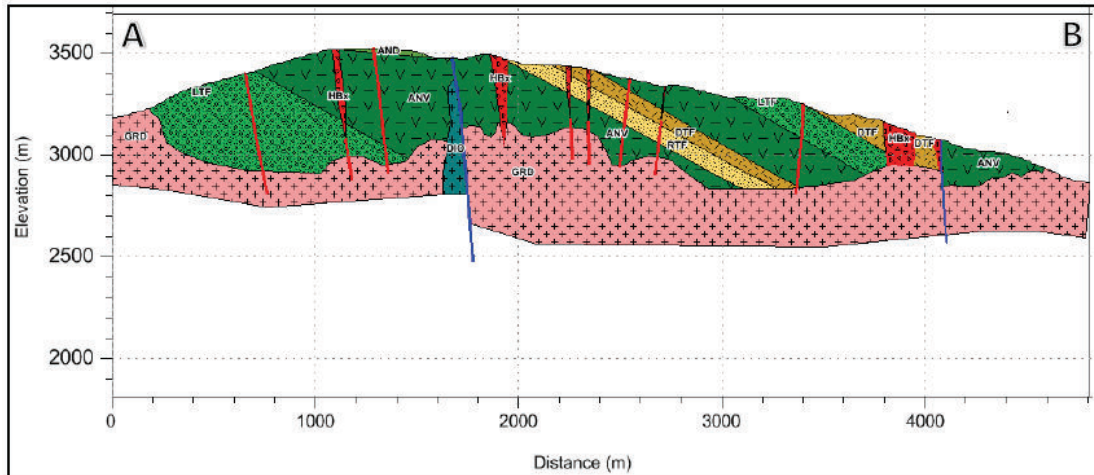
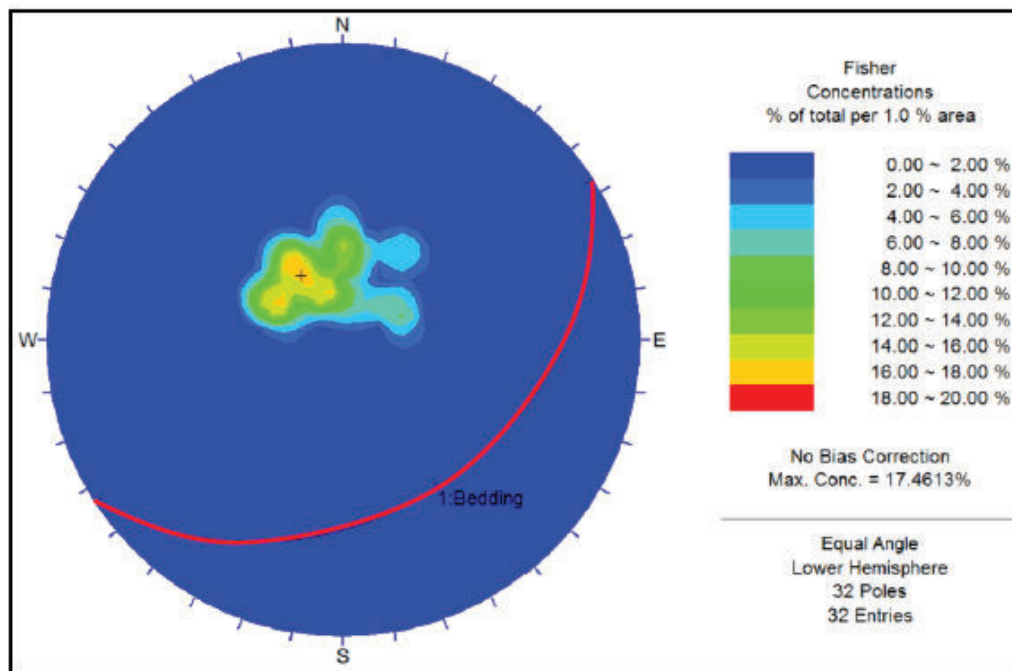


Fig. 2.5 Mapa geológico de la concesión Caña Brava. (Tomado de Cornerstone, 2015).



**Fig. 2.6** Sección NW-SE (A – B) mostrando la interpretación geológica en los sectores quebrada Soroche y quebrada Caña Brava. (Tomado Cornerstone, 2015).



**Fig. 2.7** Estereograma de las capas volcanoclásticas en la concesión Caña Brava, en donde se observa el rumbo constante de las capas. (Tomado de Poma, 2015).

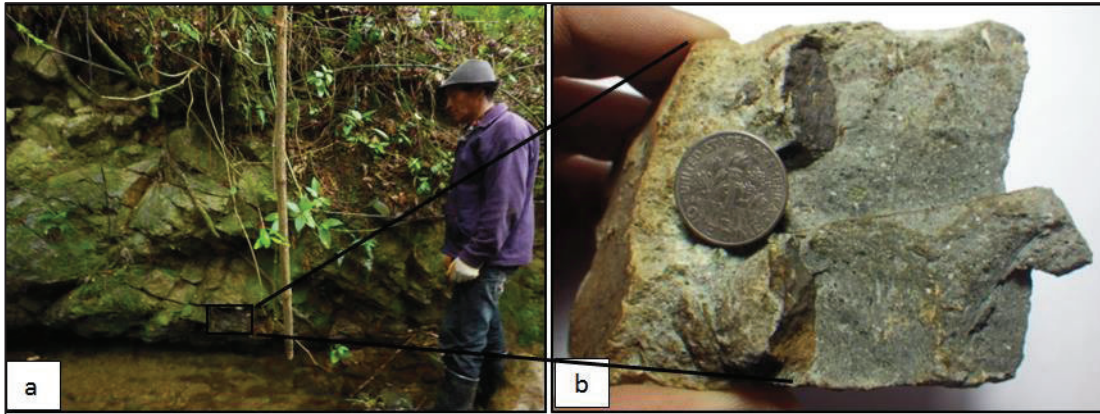
A continuación se describen los tipos de litologías presentes:

### **2.2.3.1 Unidad Volcanoclásticos Andesíticos (Tobas Líticas y Tobas Andesíticas)**

Gran parte de las rocas presentes corresponden a rocas volcanoclásticas de composición andesítica de color gris oscuro, con textura piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexistentes o comagmáticos en una matriz de cenizas). Hacia la base estos volcanoclásticos presentan un mayor componente lítico en su composición (tobas líticas), y hacia el tope de la secuencia va disminuyendo la cantidad de líticos y existe un dominio de tobas andesíticas. En el informe anual del proyecto Caña Brava, Poma (2015) clasifica a estos volcanoclásticos andesíticos en tobas líticas y tobas andesíticas, sin embargo para este estudio se ha considerado estas dos como Unidad Volcánicos Andesíticos, ya que por definición una toba lítica andesítica se caracteriza por tener mayor porcentaje de líticos volcánicos, pero sigue siendo una toba de composición andesítica.

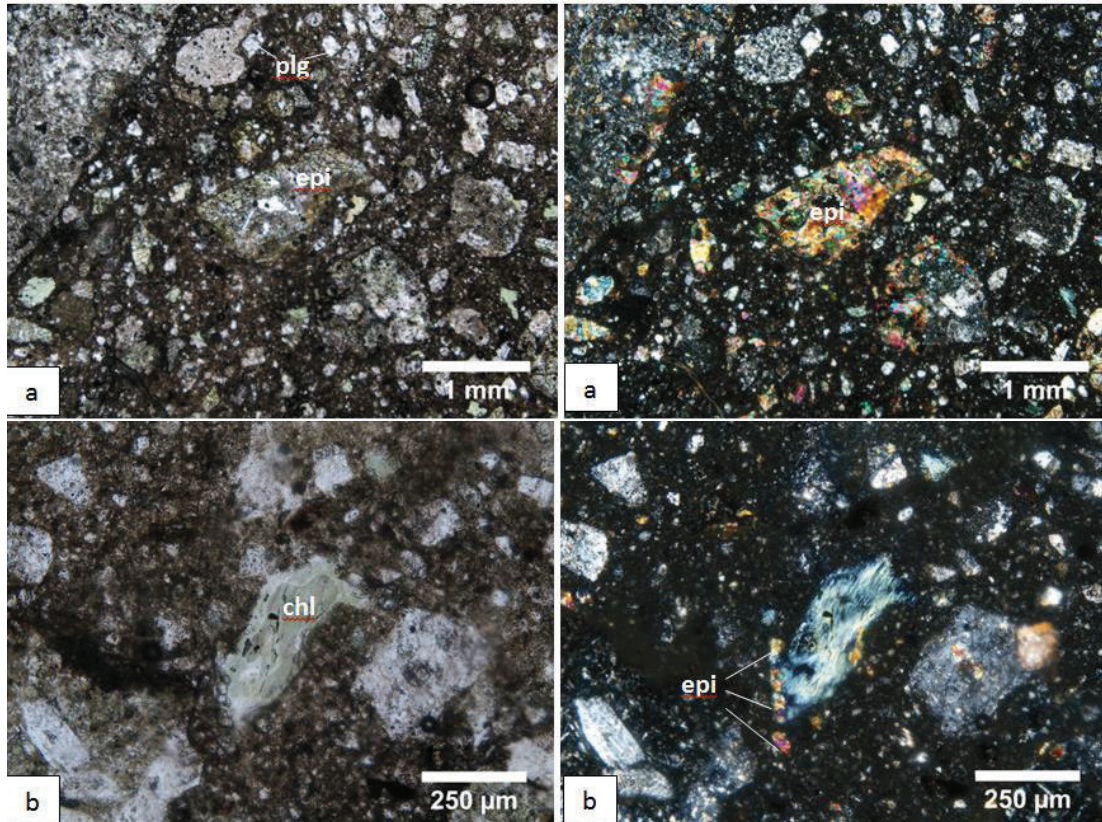
Se encuentran distribuidas en la mayor parte de la concesión, principalmente en la zona occidental, y en la parte baja de la zona oriental (Fig. 2.5), se ven afloramientos en la quebrada Caña Brava y en la quebrada Soroche, también se ha observado afloramientos en pequeñas quebradas al norte de la zona central (Foto 2.1). Estas tobas presentan compactación y algunas silicificación, entre sus componentes principales se pueden observar plagioclasas, líticos volcánicos, magnetita.





**Foto 2.1** a) Afloramiento de tobas andesíticas en la parte superior de la zona central de la concesión dentro de una pequeña quebrada (UTM: 680568E; 9589756N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Toba andesítica con alteración propilítica, muestra WM 110, con textura piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexites o comagmáticos en una matriz de cenizas), pequeños fragmentos líticos volcánicos y presencia de clorita.

En el estudio de lámina delgada de la muestra WM 110, se observa que la roca contiene plagioclasas y pocos anfíboles los cuales se encuentran alterados a clorita y epidota (Foto 2.2). Los líticos presentes en la muestra tienen composición andesítica con presencia de fenocristales de plagioclasa que están alterándose a arcillas. La matriz está conformada por arcillas y cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino, producto de silicificación. Existe además la presencia de magnetita en los clastos andesíticos.



**Foto 2.2** Lámina delgada de muestra WM 110, toba andesítica con alteración propilítica con textura piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexistentes o comagmáticos en una matriz de cenizas), a) Al centro de la foto se ve un relicto de un cristal de anfíbol, el cual se encuentra alterado a epidota (epi). Pequeños cristales alterados de plagioclasas (plg) en una matriz de cuarzo hidrotermal microcristalino y arcillas, aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) Cristal de clorita en el centro (chl), alrededor pequeños cristales de epidota (epi), dentro de una matriz de cuarzo hidrotermal microcristalino y arcillas, aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

### 2.2.3.2 Unidad Tobas Riolíticas

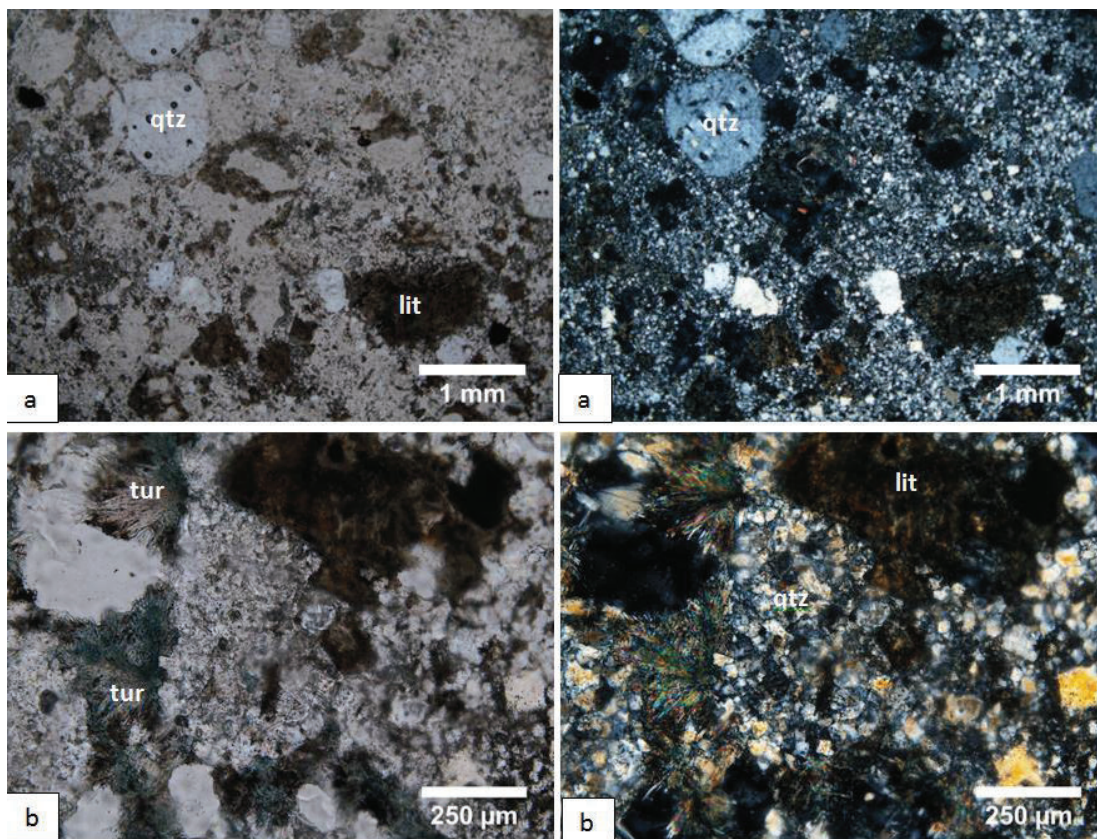
Están presentes en un área muy pequeña en la zona occidental (Fig. 2.5), estas tobas presentan una textura piroclástica y aparecen cubriendo los volcanoclastos andesíticos, tienen colores blanco, café oscuro, rosado y gris (Foto 2.3). El contenido de cristales es variable, siendo comunes cristales de cuarzo, clorita y fragmentos líticos, además de turmalina hidrotermal.





**Foto 2.3** Toba riolítica que presenta una sobreimpresión de la alteración argílica sobre filica, muestra WM 28, con textura piroclástica, la roca presenta arcillas, cuarzo, fragmentos líticos, además de turmalina de alteración hidrotermal y hematita.

De acuerdo al estudio de lámina delgada WM 28, que corresponde a una toba riolítica tomada del afloramiento principal, en la zona oeste de la concesión, se puede observar cristales de cuarzo primario (magmático), un poco de clorita y fragmentos líticos de tamaño de 0.5 mm (Foto 2.6) los cuales contienen minerales máficos alterados, también se ve turmalina como producto de alteración hidrotermal en la muestra. La matriz está conformada por cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino.

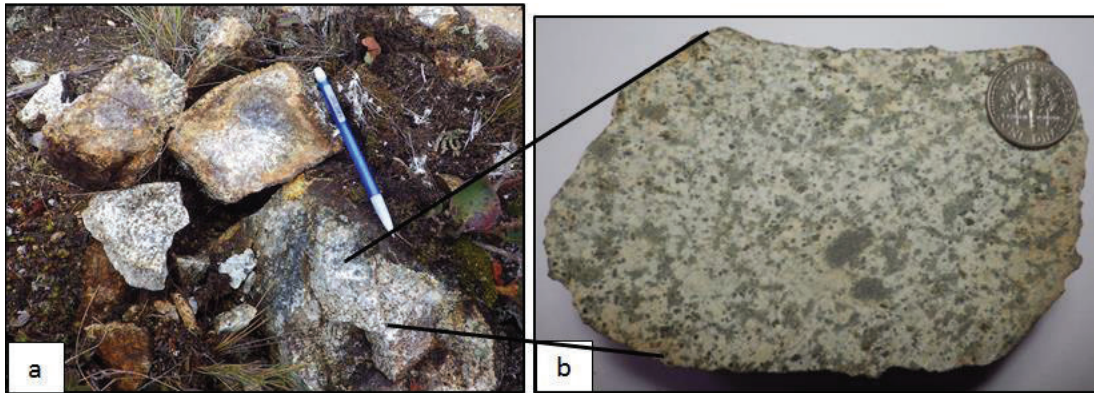


**Foto 2.4** Lámina delgada de muestra WM 28, toba riolítica que presenta una sobreimpresión de la alteración argílica sobre filica con textura piroclástica, a) cuarzo primario (qtz) junto a líticos (lit) en matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) turmalina de alteración (tur) junto a un lítico en la parte superior derecha, rodeados por matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

### 2.2.3.3 Unidad Tobas Dacíticas

Estas rocas están expuestas en la zona occidental, al noreste cerca de Fierro Urco y en la parte sur de la concesión (Fig. 2.5). Están dispuestas sobre los volcanoclásticos andesíticos y también sobre las tobas riolíticas en la zona occidental. Las rocas presentes en esta unidad tienen diferentes coloraciones: blanquecina, crema, gris clara. En la descripción petrográfica de muestras de mano se puede ver contenido de cuarzo, hornblenda, clorita, biotita y matriz color verde pálido, a café claro. Se observa también turmalina, lo cual indica alteración

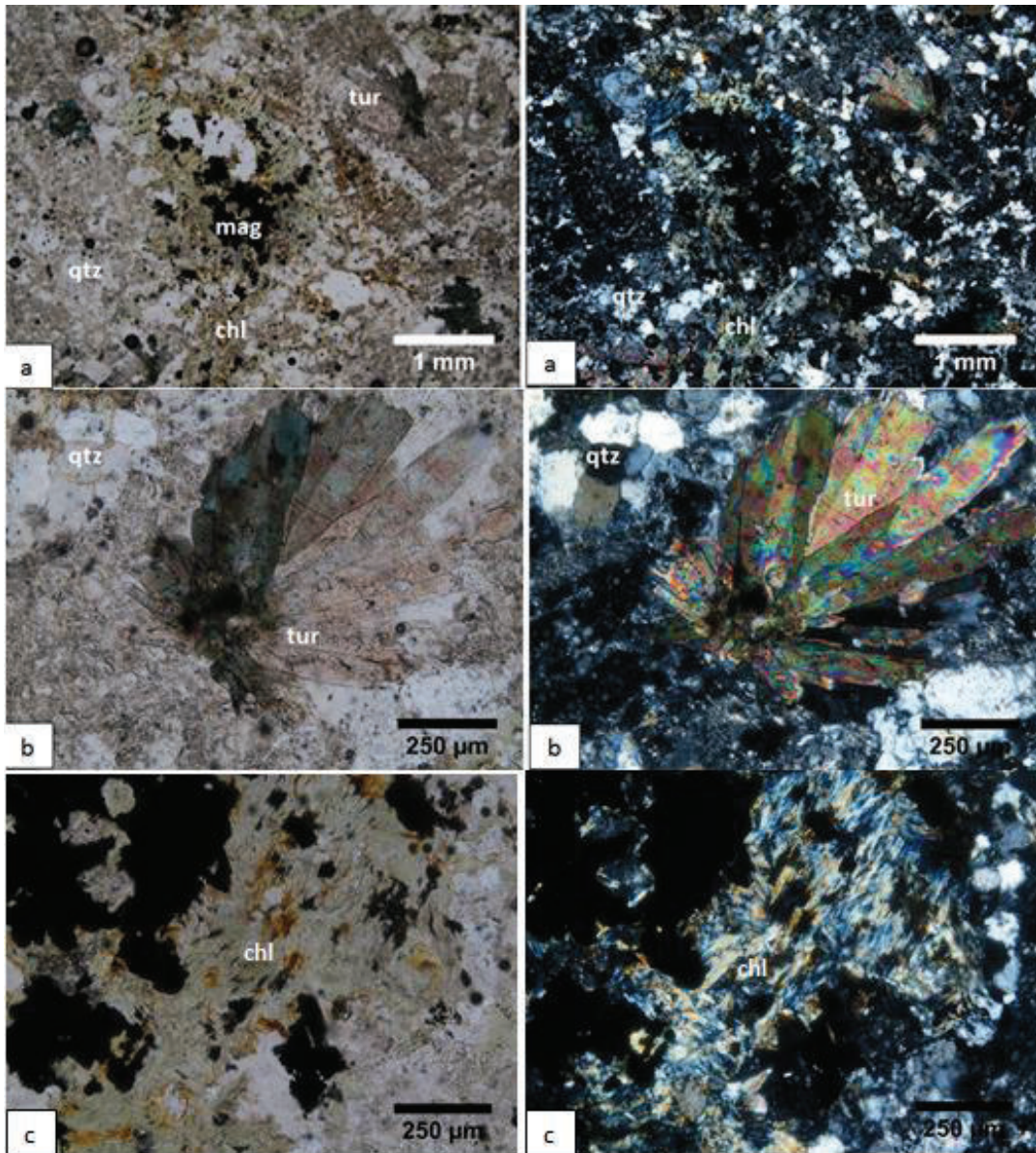
hidrotermal en estas tobas. Texturas piroclásticas son comúnmente observadas en este tipo de rocas (Foto 2.5).



**Foto 2.5** a) Recolección de muestra de mano de una toba dacítica en afloramiento de la zona central de la concesión (UTM: 679603E; 9589820N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Toba dacítica con alteración propilítica, correspondiente a la muestra WM 113 con textura piroclástica, presencia de cuarzo, hornblenda, magnetita, además de clorita y turmalina producto de alteración hidrotermal.

En el estudio de lámina delgada de la muestra WM 113 se reconoció la presencia de biotita, hornblenda, cuarzo y magnetita, además de turmalina, epidota y clorita que indican que la roca sufrió alteración hidrotermal. La matriz está formada por agregados de cuarzo secundario microcristalino y arcillas (Foto 2.6).

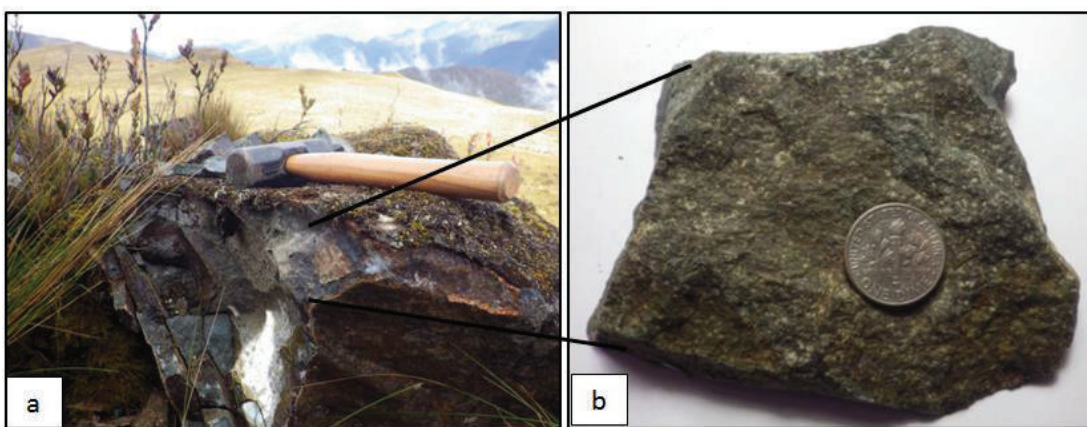




**Foto 2.6** Lámina delgada de muestra WM 113, toba dacítica con textura piroclástica, a) magnetita en el centro (mag), junto a cuarzo (qtz), turmalina en la parte superior derecha (tur) y clorita en la parte central inferior (chl) formados por alteración hidrotermal, dentro de una matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino, aumento de 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) cuarzo hidrotermal (qtz), junto a cristales tabulares de turmalina dispuestos en forma radial (tur), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) c) masa cristalina de clorita de alteración hidrotermal (chl), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

### 2.2.3.4 Unidad Lavas Andesíticas

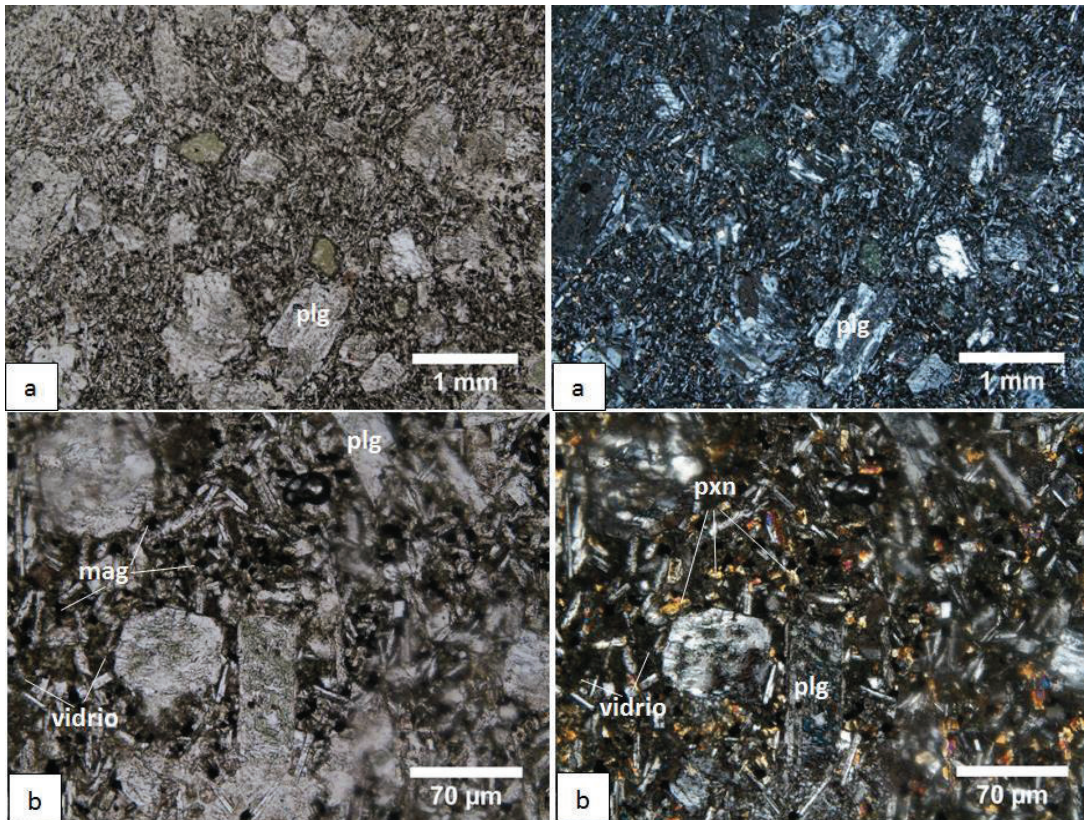
Un pequeño afloramiento de lavas que presentan una composición andesítica es expuesto hacia el norte de la zona oeste de la concesión, específicamente al norte de la quebrada Soroche (Fig. 2.5). Corresponde a lavas de composición intermedia, las cuales presentan una textura porfírica (cristales relativamente grandes denominados fenocristales en una matriz vítrea) con abundantes fenocristales de plagioclasa, clorita y magnetita en la matriz, tienen una coloración verdosa (Foto 2.7).



**Foto 2.7** a) Afloramiento de lavas andesíticas con textura porfírica (cristales relativamente grandes denominados fenocristales en una matriz vítrea), al norte de la quebrada Soroche (UTM: 678927E; 9590368N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) muestra de mano del afloramiento, andesita con alteración propilítica, código WM 111.

Mediante un análisis petrográfico de lámina delgada en la muestra WM 111 (Foto 2.8) se puede observar la presencia de plagioclasas, relictos de piroxenos y magnetita. Estas lavas presentan alteración propilítica, lo cual es evidenciado por la presencia de los piroxenos alterados a epidota. De acuerdo a la lámina delgada se ve que la matriz de la roca es una secuencia continua de cristales de tamaños desde la mesostasis (fracción cristalina o vítrea que representa el líquido residual de un magma y cristaliza en los intersticios entre cristales ya formados) hasta fenocristales de plagioclasas junto con minerales ferromagnesianos alterados.





**Foto 2.8** Lámina delgada de muestra WM 111, lava andesítica con alteración propilítica, con textura porfírica seriada (secuencia continua de tamaños de cristales desde la mesostasis hasta los fenocristales en una matriz vítrea), a) cristales de plagioclasa de diferentes tamaños (plg), dentro de la matriz, aumento de 2.5x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) plagioclasas pequeñas (plg) y cristales pequeños de minerales ferromagnesianos (piroxenos) (pxn) alterados a epidota, dispersos entre la matriz vítrea, también se distingue magnetita (mag), aumento de 40x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

### 2.2.3.5 Brechas Hidrotermales

Son rocas que presentan una textura brechosa (textura formada por grandes fragmentos de rocas volcánicas y fragmentos de las rocas encajantes, cementados por cenizas y lapillis) afectadas por fluidos hidrotermales; tienen una coloración gris a verdosa. Se encuentran compuestas por fragmentos líticos angulosos de rocas volcánicas de diferente composición (principalmente andesítica y dacítica).



Todas las secuencias volcánicas y volcanoclásticas están atravesadas por estos sistemas de brechas hidrotermales, las cuales afloran principalmente en la zona Oeste de la concesión, aunque también hay unos pequeños afloramientos en la zona Este y Central (Poma, 2015) (Fig. 2.5).

#### **2.2.3.6 Intrusivos**

Se presentan cuerpos magmáticos, intruyendo a rocas volcánicas y volcanoclásticas del Grupo Saraguro. La intrusión más grande corresponde a un cuerpo de granodiorita, se infiere que ocupa la mayor parte debajo de los volcánicos en el área de la concesión (Fig. 2.5; Fig. 2.6). Existen afloramientos de este intrusivo en el suroriente de la concesión y se lo puede ver en la quebrada Caña Brava (Foto 2.11), de acuerdo al mapa geológico de Cornerstone, también se puede observar estas rocas intrusivas hacia el noroeste de la concesión. En ambos casos estos afloramientos están fuera de los límites de la concesión Caña Brava.

Pequeños cuerpos intrusivos de diorita y cuarzodiorita reportados por Cornerstone (2015), afloran en restringidos afloramientos en la zona oeste, posiblemente producto de diferentes pulsos magmáticos que dieron lugar a éstas diferentes composiciones.

No existen dataciones para estos cuerpos intrusivos, sin embargo posiblemente corresponden al Mioceno Medio, esto se deduce ya que se encuentran en el “trend” (tendencia) estructural (cinturón Collay-Shincata) mencionado anteriormente y se podrían correlacionar con los diques que ocurren en el epitermal de alta sulfuración de El Mozo, los cuales han sido datados en  $16,04 \pm 0,04$  Ma (Schütte, 2010).

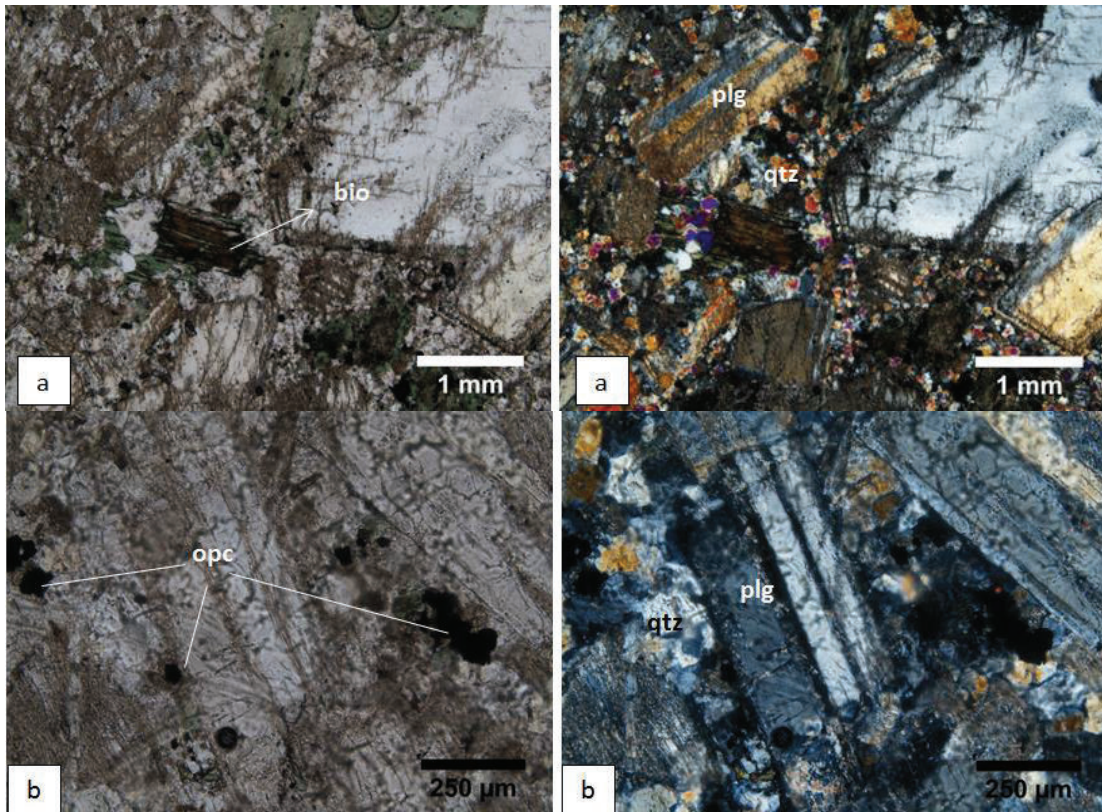
##### *2.2.3.6.1 Granodiorita*

En afloramientos en la quebrada Caña Brava (Fig. 2.5). La Granodiorita se presenta como con coloración gris-oscuro, con textura porfídica (tipo de textura porfírica empleada para pórfidos, donde los fenocristales están en una matriz microcristalina), donde se puede observar cristales de plagioclasas, hornblenda, cuarzo, y algunos minerales ferromagnesianos alterados a clorita (Foto 2.11).



**Foto 2.9** a) Afloramiento de granodiorita en la quebrada Caña Brava (UTM: 681237E; 9588566N, Datum PSAD 56, zona 17 S). b) Granodiorita con textura porfídica (tipo de textura porfirítica empleada para pórfidos, donde los fenocristales están en una matriz microcristalina), la cual presenta cristales de plagioclasa, hornblenda, biotita alterándose a clorita, y carbonato secundario.

En el análisis realizado en lámina delgada de la muestra WM 119 se observó abundantes cristales de plagioclasas (35%), cuarzo (20%), biotita (10%), hornblenda (2%), clorita y algunos minerales opacos, posiblemente sulfuros diseminados. Entre los espacios de cristales se puede observar cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino y carbonato secundario distribuidos en la matriz (Foto 2.12).

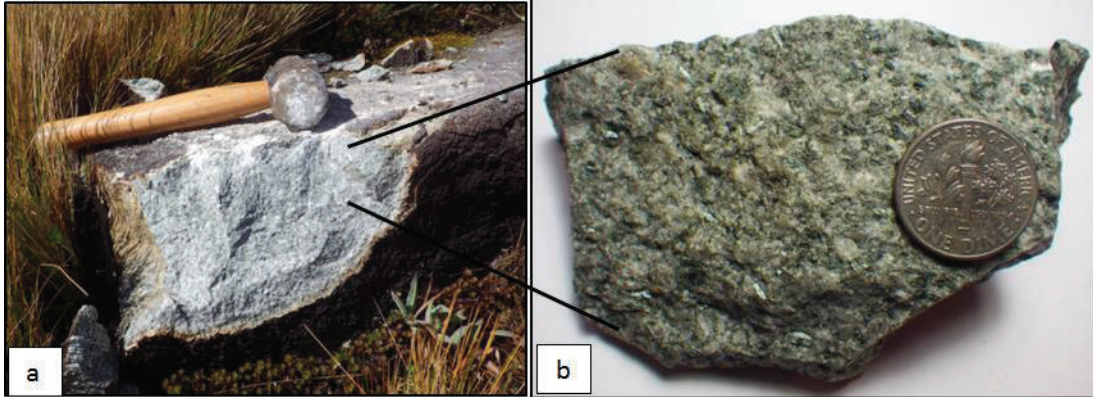


**Foto 2.10** Lámina delgada de la muestra WM119, granodiorita con alteración propilítica a) biotita (bio) con bordes alterándose a clorita, y cristales de plagioclasa (plg), entre matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz), aumento de 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados) b) plagioclasa (plg) con macla polisintética rodeada por matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz), y unos pocos minerales opacos (opc), aumento de 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

#### 2.2.3.6.2 Cuarzodiorita

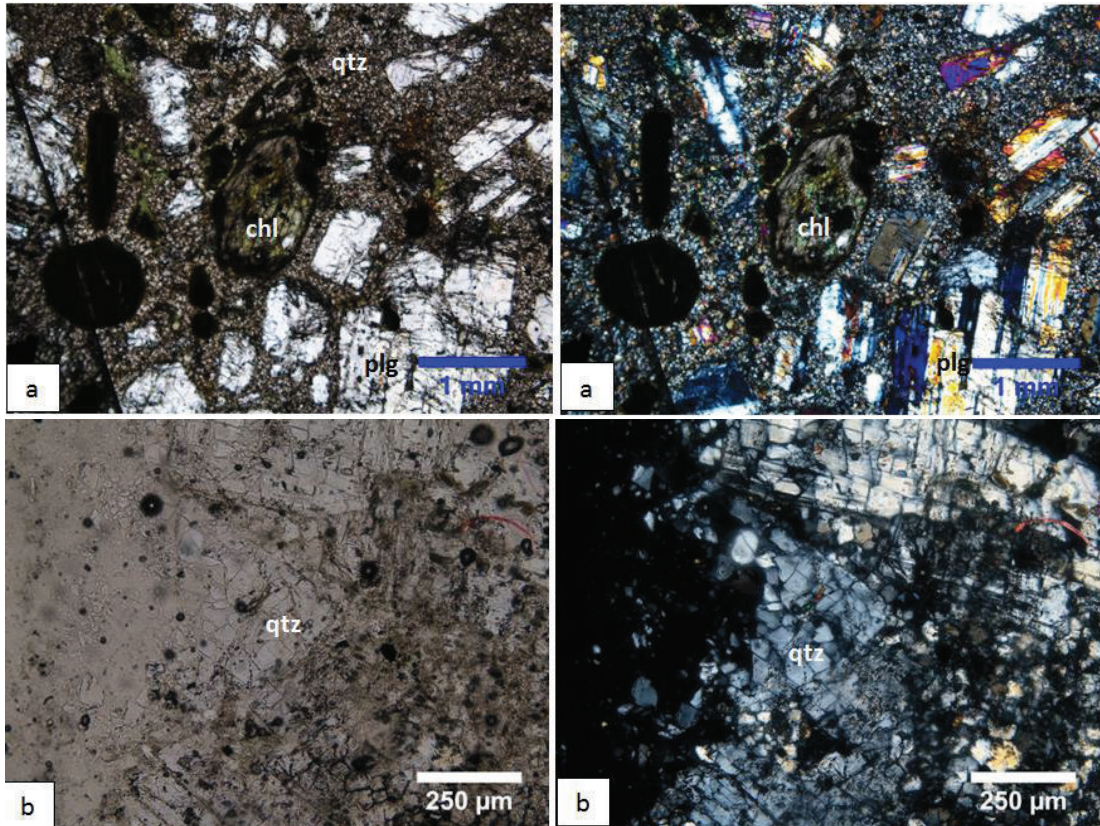
En la zona oeste de la concesión existe un pequeño afloramiento de cuarzodiorita (Fig. 2.5), esta se caracteriza por un color gris claro y una textura porfídica. Esta roca presenta abundante cuarzo, plagioclasa, hornblenda y biotita (Foto 2.13).





**Foto 2.11** a) Afloramiento de cuarzodiorita ubicado en la zona occidental de la concesión Caña Brava (UTM: 679326E; 9590403N, Datum PSAD 56, zona 17 S) b) Muestra WM 112, cuarzodiorita con textura porfídica, se pueden observar cristales de cuarzo, plagioclasas, anfíboles, biotita, clorita y presencia de carbonato secundario.

En el estudio de lámina delgada de la muestra WM 112 se puede apreciar la presencia de plagioclasas (25%), cuarzo (14%), hornblenda (15%), biotita (4%), clorita y una matriz conformada por cuarzo secundario microcristalino con una textura porfídica, que corresponde a una cuarzodiorita (Foto 2.14). Algunos de los cristales de cuarzo primario (magmático) se encuentran fragmentados.



**Foto 2.12** Lámina delgada de muestra WM 112, cuarzodiorita con alteración propilítica con textura porfídica, a) cristal de biotita alterada a clorita (chl), rodeada por cristales de plagioclasa (plg) en una matriz de cuarzo secundario microcristalino (qtz) 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados), b) cristal de cuarzo fragmentado 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

#### 2.2.3.6.3 Diorita

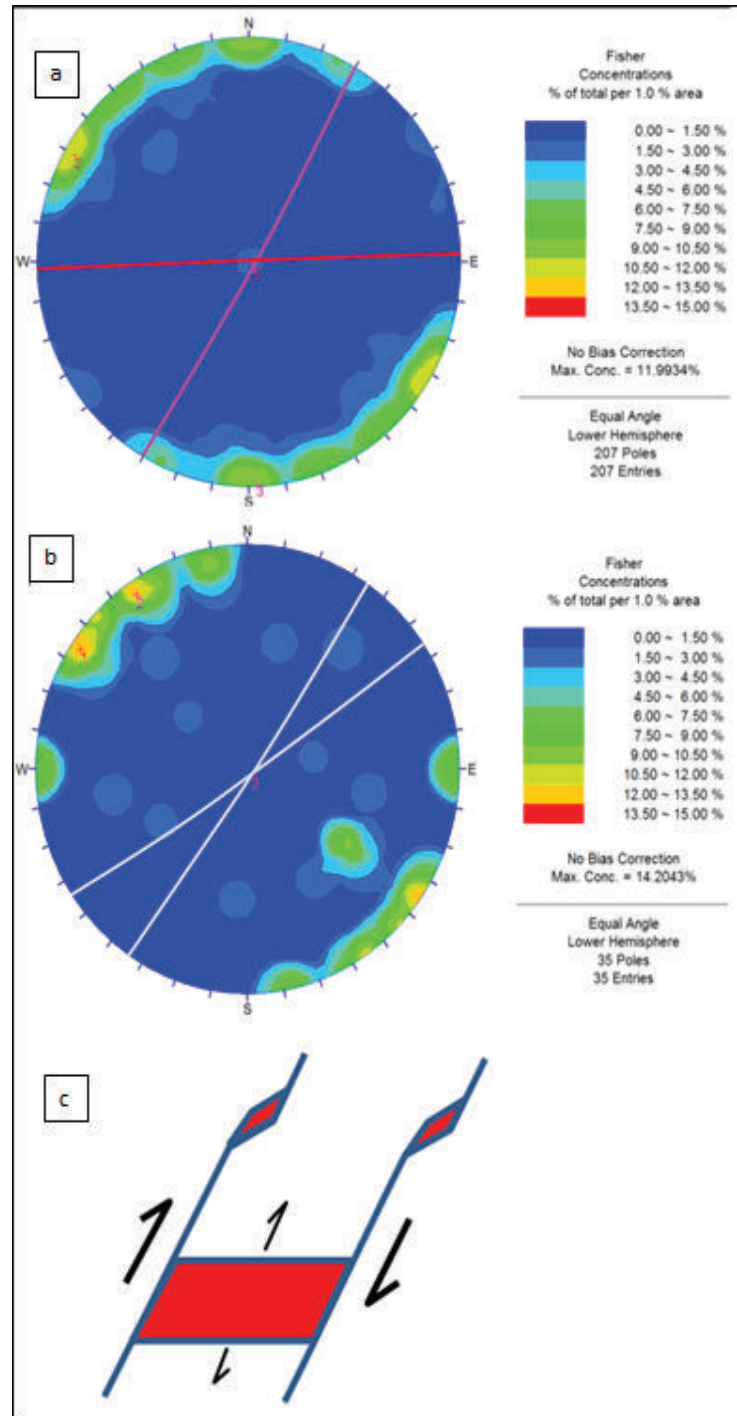
Un muy pequeño afloramiento de diorita de aproximadamente 6 metros de diámetro se encuentra dentro de la concesión. En el mapa geológico debido a la escala aparece como un punto en la parte alta de la quebrada Soroche hacia el oeste de la concesión. De acuerdo con Poma (2015) presenta abundante plagioclasa, y unos pocos minerales máficos.

#### **2.2.4 ESTRUCTURAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Distintos tipos de estructuras principales han sido observadas a lo largo de la concesión Caña Brava (Fig. 2.5), con dos direcciones preferenciales (Fig. 2.8). La primera corresponde al rumbo andino con direcciones de N30/87 a N57/86, a esta dirección están relacionados los principales sistemas de fallas y brechas mineralizadas de poca extensión a lo largo del rumbo. La segunda dirección preferencial N268/90, está asociada los principales cuerpos de brecha con mayor volumen y extensión, sobre todo en el sector quebrada Soroche (Poma, 2015).

La dirección principal NE posiblemente se relaciona con el sistema de fallas mayores que generó zonas en extensión en el sistema E-W, ocasionalmente las fallas mayores presentan zonas de brechas mineralizadas, posiblemente debido a flexuras en su rumbo (Fig. 2.8) (Poma, 2015).





**Fig. 2.8.** Estereogramas de las estructuras medidas en la concesión Caña Brava. a) Estructuras con alteración-mineralización asociada N30/87 y N268/90. b) Estructuras N34/87 y N57/86 que no presentan alteración-mineralización asociada. c) Diagrama mostrando las posibles relaciones de la tectónica y la mineralización. (Tomado de Poma, 2015).

### 2.2.5 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

La evolución del área de estudio está relacionada con eventos que ocurrieron a nivel regional los cuales influenciaron la distribución litológica de la zona, principalmente aquellos eventos relacionados con volcanismo de arco. El área de la concesión se presenta dentro de un marco geológico dominado estrictamente por rocas volcánicas y volcanoclásticas de arco continental correspondientes al Grupo Saraguro, a las cuales se les atribuye una edad Eoceno Tardío-Mioceno Temprano (Pratt et al., 1997).

La base de la secuencia está constituida por volcanoclásticos andesíticos, los cuales han sido determinados como tobas líticas y tobas andesíticas. Estas secuencias fueron depositadas en la zona como producto de un volcanismo de arco continental de composición intermedia, afectadas por tectonismo, lo cual se manifiesta en la orientación de las capas con un rumbo aproximado de N57/29 (Poma, 2015).

Posteriormente existió un cambio en la composición de este volcanismo, produciéndose emisión de material volcánico de composición más ácida. Producto de esto se formaron tobas riolíticas y tobas dacíticas, cubriendo a las secuencias de volcanoclásticos andesíticos.

En el tope de la secuencia se observan unas lavas andesíticas, las mismas que se presentan solo en la zona oeste de la concesión, en la parte alta. La aparición de lavas andesíticas nos sugiere un regreso del volcanismo ácido a intermedio.

Posteriormente se emplazaron cuerpos intrusivos, producto del magmatismo post-Saraguro ocurrido en el sur del Ecuador durante el Mioceno (PRODEMINCA, 2000). La entrada de intrusiones de granodioritas, cuarzodioritas y dioritas afectó a las secuencias volcánicas y volcanoclásticas previamente existentes.

Finalmente, a través de fracturas, se movilizaron fluidos hidrotermales que generaron brechas hidrotermales las cuales cortan todas las secuencias; éstas se ubican en pequeños afloramientos dentro de la concesión.

## **CAPÍTULO 3**

### **MAGNETOMETRÍA TERRESTRE**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La geofísica, como su nombre lo indica, es la ciencia que estudia la física de la Tierra. La aplicación de este nombre a una rama de la ciencia es relativamente reciente. La geofísica ha sido dividida en dos partes: geofísica pura y geofísica aplicada. La geofísica pura se ocupa del estudio de la gravedad, magnetismo, electricidad y sismología terrestres, pero también comprende otras ciencias relacionadas a la física de la Tierra. La geofísica aplicada es la ciencia que trata de la aplicación de la geofísica pura; muchos autores denominan a esta como prospección geofísica (Cantos, 1987).

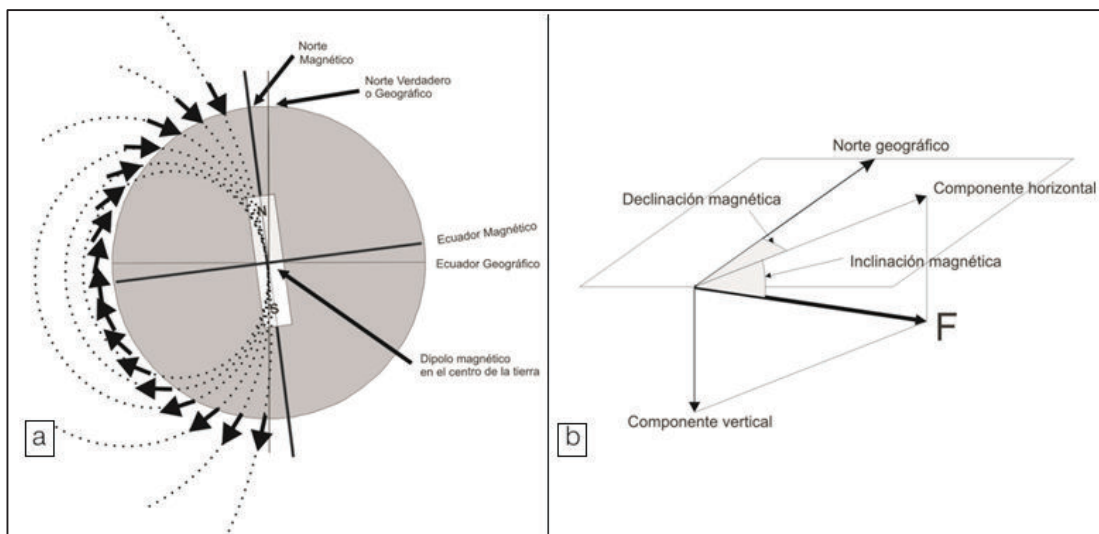
La prospección geofísica consiste en la aplicación de los métodos geofísicos de a en búsqueda de toda clase de recursos minerales útiles para el hombre. La aplicación de la geofísica a la prospección minera en general, es muy importante ya que su empleo ayuda a localizar depósitos minerales. Mediante este tipo de prospección es posible determinar variaciones en las propiedades físico-químicas de las capas del subsuelo. Las anomalías o divergencias del valor normal esperado en la zona investigada respecto del valor real encontrado, nos indicarán en general, la presencia en profundidad de estructuras o acumulaciones minerales que pueden ser de interés. Debido a que la mayoría de depósitos minerales están bajo la superficie terrestre, la detección de los mismos depende de las características que los diferencian de los cuerpos circundantes. La variación en la conductividad eléctrica y corrientes naturales, tasas de decaimiento de diferencia de potencial artificial introducidos en la Tierra, cambios locales en gravedad, magnetismo, radioactividad, todos estos proporcionan información sobre la naturaleza de las estructuras bajo la superficie, permitiendo de esta manera a los geofísicos determinar los lugares más favorables para la búsqueda de depósitos minerales. La selección de técnicas para localizar un mineral depende de la naturaleza del mismo y de las rocas circundantes (Telford et al., 1990).

Se puede aplicar diferentes métodos geofísicos, de acuerdo a las propiedades físicas que se requiera estudiar, uno de ellos es el método magnético. Para entender este método primero debemos considerar que la Tierra es un imán natural que da lugar al campo magnético terrestre. Las pequeñas variaciones de este campo, pueden indicar la presencia en profundidad de sustancias magnéticas, que en algunos casos pueden ser minerales de interés comercial como magnetita, pirrotina, ilmenita, etc. De igual manera existen minerales de interés como sulfuros de Cu, Pb y Zn, asociados a minerales magnéticos (Cantos, 1987).

### 3.1.1 CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

El campo magnético terrestre se describe como un dipolo magnético ubicado en el centro de la Tierra, cuyo eje está inclinado con respecto al eje de rotación de la Tierra (Fig. 3.1 a). El campo magnético terrestre es del orden de 30.000 nT (nanoTeslas) en las proximidades del ecuador y de 70.000 nT en las regiones polares. La intensidad del campo magnético para cualquier punto específico sobre la superficie de la Tierra es un vector ( $F$ ) el cual tiene una dirección paralela a las líneas de fuerza del campo magnético, el mismo que es el resultante de una componente vertical y una componente horizontal (Fig. 3.1b) (Medina, 2012).

La intensidad sobre el campo magnético de la Tierra es de carácter vectorial, por tanto se puede considerar el campo magnético terrestre como si fuese una esfera magnetizada según un eje inclinado respecto al eje de rotación unos  $11.5^\circ$ . La proyección de la intensidad del campo magnético sobre el plano horizontal se denomina componente horizontal. El ángulo que forman la componente horizontal con el norte geográfico se denomina declinación, siendo positiva hacia el este; el ángulo entre el plano horizontal y el vector ( $F$ ) que forma la intensidad del campo magnético se denomina como inclinación (Fig. 3.1 b). La magnetometría aplicada tiene como objetivo primario la identificación y descripción de cambios espaciales en el campo magnético de la Tierra (Ruiz, 2003).



**Fig. 3.1** a) Esquema del campo magnético terrestre, donde se ven las líneas de fuerza del campo magnético dipolar exterior a una esfera. La sección mostrada contiene los polos. b) Intensidad  $F$  del campo magnético en un punto de la superficie de la Tierra, el cual es resultante de una componente vertical y una componente horizontal. (Tomado de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar>, 2015).

### 3.1.2 GEOMAGNETISMO

El geomagnetismo se ocupa del estudio del campo magnético terrestre, tanto de su generación como de su variación espacial y temporal. El geomagnetismo es un tema complejo, ya que las tres componentes del campo magnético ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) no sólo varían en cada lugar sobre la Tierra sino también con el tiempo ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $t$ ). La variación local de un lugar a otro es debida, en gran parte, a la magnetización de las rocas próximas a la superficie de la Tierra. Si por ejemplo, una roca fundida se abre camino hasta la superficie y fluye como la lava de un volcán, se magnetizará al enfriarse con la dirección del campo geomagnético. Esta técnica puede usarse para determinar el magnetismo antiguo de una zona. Estas rocas magnetizadas producen una perturbación local en el campo magnético lo cual es importante en la interpretación de los estudios detallados del magnetismo terrestre. Las rocas magnetizadas interesan aquí solo porque ayudan a representar el registro de la historia del campo magnético de la Tierra a lo largo de las diferentes eras de la misma. A través de este procedimiento se ha comprobado que el campo magnético de la Tierra ha variado no solamente en los últimos 400 años, sino también se han detectado inversiones frecuentes a

intervalos de tiempo del orden de miles de años. De una manera aproximada el campo magnético fuera de la Tierra se asemeja al campo exterior de una esfera uniformemente magnetizada, o lo que es lo mismo, al campo interior de una esfera con un dipolo en su centro, a este tipo de campo se le llama campo dipolar y sus características fueron detalladas en la figura 3.1a (Medina, 2012).

### 3.1.3 UNIDADES USADAS EN MAGNETISMO

La unidad del campo magnético en el SI es el tesla (T), que se define como una inducción magnética uniforme que, repartida normalmente sobre una superficie de un metro cuadrado, produce a través de esta superficie un flujo magnético total de un weber. También se suele utilizar con cierta frecuencia el gauss (G) (Ruiz, 2003).

Equivalencias:

$$\text{weber/m}^2 = \text{tesla (T)}$$

$$1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$$

Como estas unidades son muy grandes, generalmente se trabaja con el submúltiplo del gauss: el gamma ( $\gamma$ )

$$\text{Equivalencias: } 1 \gamma = 10^{-5} \text{ G} = 10^{-9} \text{ T} = 1 \text{ nT (nanotesla)}$$

### 3.1.4 INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO

De la misma manera que ocurre en otros campos de fuerza, el campo magnético queda definido matemáticamente si se conoce el valor que toma en cada punto una magnitud vectorial, que recibe el nombre de intensidad de campo magnético. La intensidad del campo magnético, a veces denominada inducción magnética, es un vector tal que en cada punto coincide en dirección y sentido con los de la línea de fuerza magnética correspondiente (Ruiz, 2003).

### 3.1.5 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Es el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético. La susceptibilidad magnética de una sustancia o cuerpo en la Tierra es la medida en la que ésta puede ser magnetizada por inducción del campo geomagnético



terrestre. La susceptibilidad magnética representa una constante de proporcionalidad adimensional (Cantos, 1987).

### 3.1.6 PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

Es la capacidad que poseen los materiales para atraer y hacer pasar a través de sí, un campo magnético (Cantos, 1987).

### 3.1.7 COORDENADAS GEOMAGNÉTICAS

Debido a la inclinación del eje dipolar geomagnético con respecto al eje de rotación de la Tierra, el sistema de coordenadas geográficas no coincide con el sistema de coordenadas geomagnéticas. Para calcular las coordenadas geomagnéticas de un lugar en la superficie terrestre, se debe conocer las coordenadas geográficas y las intersecciones boreal o austral respectivamente (Fig. 3.2). El cálculo para obtener las coordenadas geomagnéticas se tomó de Ruiz (2003).

$$\text{sen } \phi^* = \text{sen } \phi_B \text{ sen } \phi + \text{cos } \phi_B \text{ cos } \phi \text{ cos } (\lambda - \lambda_B)$$

$$\text{sen } \lambda^* = [\text{cos } \phi \text{ sen } (\lambda - \lambda_B)] / \text{cos } \phi^*$$

$$\text{sen } D = - [\text{cos } \phi_B \text{ sen } (\lambda - \lambda_B)] / \text{cos } \phi^*$$

Dónde:

$\phi^*$  = latitud geomagnética, es positiva hacia el norte.

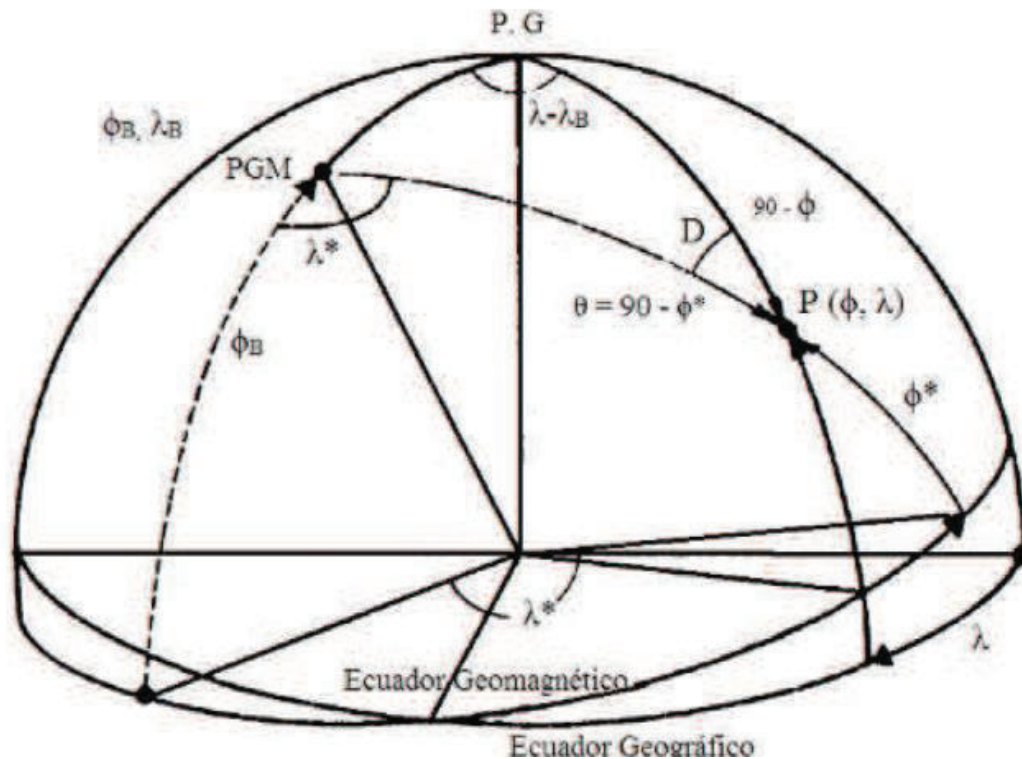
$\phi^* = 0^\circ$  designa el ecuador geomagnético.

$I = 0^\circ$  caracteriza el ecuador magnético.

$\lambda^*$  = longitud geomagnética, es positiva hacia el este partiendo de la intersección del meridiano geográfico, que pasa por la intersección boreal, con el ecuador geomagnético.

$D$  = ángulo entre los meridianos geográfico y geomagnético, es positivo hacia el este, varía de un lugar al otro.

Debido a la inclinación del eje dipolar con respecto al eje de rotación lugares de muy diferentes latitudes geográficas pueden ubicarse en la misma latitud geomagnética.



**Fig. 3.2** Sistema de coordenadas geográficas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) y geomagnéticas ( $\phi^*$ ,  $\lambda^*$ ). (Tomado de Ruiz, 2003).

### 3.1.8 VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Los estudios permanentes que se realizan sobre el campo magnético terrestre demuestran que este no es constante, sino que cambia continuamente. Se describen las variaciones temporales más importantes tomadas de Ruiz (2003), teniendo en cuenta que el campo magnético total cambia con el tiempo:

- Variación secular de los componentes: con un valor de algunas decenas de nT al año y que en algunos sitios alcanza hasta 150 nT/año y de hasta 10 minutos/año para la declinación e inclinación. Esta variación se origina por los cambios en el acoplamiento electromagnético de núcleo y manto terrestre.

- Variaciones periódicas: con períodos de 12 horas, 1 día, 27 días, 6 meses y 1 año, originadas por el campo externo, pueden llegar a tener valores de hasta 100 nT (variaciones solares diarias).
- Variaciones no periódicas: denominadas tormentas magnéticas, con intensidades de hasta 1500 nT.
- Pulsaciones magnéticas: conocidas como variaciones de período muy corto y pequeña amplitud (1 a 100 nT).

Las tres últimas son producidas por el campo magnético externo.

En la siguiente tabla 3.1 se presentan las características de las principales variaciones del campo magnético terrestre:

| <b>TIPO VARIACIÓN</b> | <b>ORIGEN</b>                   | <b>VARIACIÓN EN EL TIEMPO</b> | <b>FORMA ESPACIAL</b>      | <b>AMPLITUD TÍPICA</b> |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|
| Dipolar               | Interior Tierra                 | Desciende lentamente          | Aprox. dipolar             | 25.000 a 70.000 nT.    |
| Secular               | Núcleo Tierra                   | 1-100 años                    | Irregular migra hacia el W | +/- 10-100nT/a         |
| Diurna                | Relacionado con manchas solares | 24 hrs                        | Depende de manchas solares | 10-100 nT              |

**Tabla 3.1** Principales variaciones del campo magnético terrestre. (Tomado de Ruiz, 2003).

### 3.1.9 CAMPO GEOMAGNÉTICO INTERNACIONAL DE REFERENCIA

Este campo de referencia es una representación idealizada, la cual está despojada de las irregularidades espacio temporales. Los IGRF (“International Geophysical Reference Field”) están definidos por los coeficientes del desarrollo en armónicos esféricos hasta un cierto orden y sus derivadas con respecto del tiempo. De esta forma puede extrapolarse para otros años distintos de aquel para el que están

definidos, dentro de un cierto margen de validez. Los valores de IGRF son publicados por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) con validez de 5 años (Ruiz, 2003).

### **3.2 PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA**

La magnetometría es una técnica de exploración geofísica que consiste en medir las variaciones del campo magnético terrestre y en base a ellas, inferir la geología del subsuelo. El método consiste en realizar mediciones del campo magnético sobre la superficie terrestre, con instrumentos denominados magnetómetros a lo largo de una línea denominada perfil. Es necesario que las mediciones sean lejos de fuentes que puedan generar un campo magnético de gran magnitud.

El principio operacional de este método se basa en que la Tierra genera un campo magnético propio, que puede ser comparado con el campo correspondiente a un dipolo, como un imán de barra, situado en el centro del planeta, cuyo eje está inclinado con respecto al eje de rotación. El dipolo está dirigido hacia el sur, de tal modo que en el hemisferio norte cerca del polo norte geográfico se ubica un polo sur magnético y en el hemisferio sur cerca del polo sur geográfico se ubica un polo norte magnético (Álvarez, 2012).

Mediante este método se detecta anomalías con respecto al valor normal del campo magnético de la tierra (CMT). Gran parte de las rocas contienen pequeñas cantidades de óxido de hierro, cuando estas rocas u otros materiales ferrosos se colocan dentro del CMT, se desarrolla un campo magnético inducido. Éste se superpone al campo magnético terrestre y se genera una anomalía magnética local cuya detección dependerá de la cantidad de material magnético presente y su distancia al magnetómetro. La detección mediante métodos magnetométricos de un cuerpo dado, alojado en el interior de otro, será más probable cuando el contraste de susceptibilidades entre estos sea mayor (Rivas, 2009).

#### **3.2.1 ANOMALÍAS MAGNÉTICAS**

Se denomina anomalía magnética a la desviación de la intensidad del campo magnético medido, respecto de un valor normal. Son causadas por las variaciones de composición mineral de las rocas de la corteza terrestre que se

encuentran cercanas a la superficie. El origen de éstas no debe encontrarse a una profundidad muy grande ya que aproximadamente a unos 40km de profundidad la temperatura está sobre el punto de Curie y los materiales perderían sus propiedades magnéticas (López y Zura, 2013).

### **3.2.2 COMPORTAMIENTO MAGNÉTICO DE MATERIALES ANTE UN CAMPO EXTERNO**

Todos los materiales pueden ser clasificados en tres principales grupos de acuerdo a su comportamiento magnético: diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos, aunque ésta última categoría incluye otras subdivisiones (Telford et al. 1990).

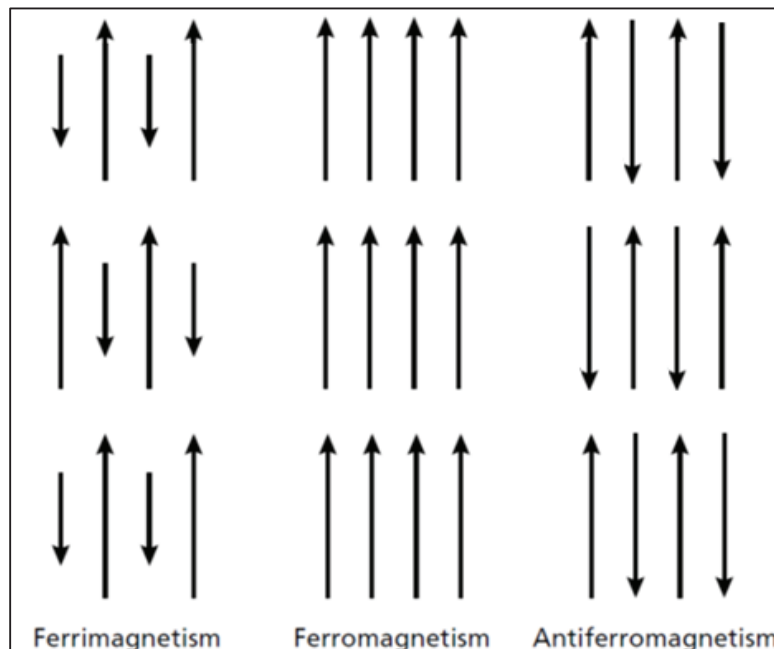
- a) Diamagnetismo: en materiales diamagnéticos los átomos tienen sus capas llenas de electrones y están apareados. Al someter los materiales a un campo magnético exterior, los electrones se orientan en dirección opuesta al campo magnético aplicado. Dando lugar a una susceptibilidad débil de poca intensidad y negativa. Los materiales diamagnéticos más comunes son el grafito, mármol, cuarzo y sal.
- b) Paramagnetismo: en materiales paramagnéticos los electrones en sus órbitas están incompletos, produciendo un campo magnético resultado del giro de los electrones no apareados. Entonces cuando un campo externo es aplicado, los electrones no apareados rotan para producir un campo en el mismo sentido del campo magnético aplicado. Los materiales paramagnéticos son ligeramente magnéticos, caracterizados por susceptibilidades magnéticas pequeñas positivas. Algunos elementos y minerales paramagnéticos son aluminio, platino, sulfato de hierro, anfíboles, piroxenos, granates, biotitas.
- c) Ferromagnetismo: los materiales ferromagnéticos tienen susceptibilidades positivas, la interacción de los momentos magnéticos de sus átomos resulta en un comportamiento colectivo de grupos de átomos llamados dominios, que en estos materiales son paralelos, dando lugar a una muy fuerte magnetización espontánea. Los materiales ferromagnéticos tienen susceptibilidades positivas y altas. Los efectos son como los del



paramagnetismo y diamagnetismo elevados a la sexta potencia ( $10^6$ ). Elementos ferromagnéticos son el hierro, cobalto y níquel.

- d) Antiferromagnetismo: los dominios magnéticos se dividen en subdominios los cuales están alineados en dirección opuesta, existen igual cantidad de momentos en los dos, las subredes ordenadas en sentido opuesto se anulan mutuamente resultando en un momento magnético total igual a cero. El ejemplo típico es la hematita.
- e) Ferrimagnetismo: Los subdominios magnéticos están alineados en dirección opuesta pero no presentan un momento magnético cero, debido a que unos subdominios pueden tener un mayor componente magnético que otros o porque hay más subdominios de un tipo que de otro; por lo que, en el ferrimagnetismo puede existir un alta susceptibilidad y una magnetización espontánea. Como minerales que presentan estas características se tiene, la magnetita y titanomagnetita, se recalca que la magnetita es la principal fuente de magnetismo en las rocas de la corteza terrestre.

La figura 3.3 muestra un esquema de las direcciones de los subdominios para los materiales ferromagnéticos, ferrimagnéticos y antiferromagnéticos.



**Fig. 3.3** Esquema de los momentos magnéticos. (Tomado de López y Zura, 2013).

### 3.2.3 MAGNETIZACIÓN DE ROCAS

El marco teórico sobre la magnetización de rocas se tomó de Ruiz (2003), a continuación se resume:

Los minerales individuales de las rocas son afectados con la aplicación del campo magnético de la Tierra. Las rocas adquieren una magnetización, llamada Magnetización Inducida (MI). La magnetización inducida es cero cuando este campo magnético terrestre desaparece. No obstante, los materiales ferromagnéticos tienen la habilidad de retener parte de la magnetización aún en ausencia de campos magnéticos externos. Esta magnetización permanente se llama Magnetización Remanente (MR). En estudios geofísicos se acostumbra considerar la magnetización total como la suma vectorial de la magnetización inducida y remanente.

Cuando se tiene una temperatura mayor que  $580^{\circ}\text{C}$  (temperatura del punto de Curie de la magnetita) la mayor parte de las rocas de la corteza terrestre pierden totalmente la magnetización. Esta temperatura es alcanzada entre 10 y 30 km de profundidad en la corteza terrestre.

Rocas máficas son mucho más magnéticas que las rocas félsicas (basaltos son mucho más magnéticos que las riolitas y los gabros más que los granitos). Las rocas sedimentarias en general tienen valores muy bajos de magnetización.

Como el campo geomagnético varía con el tiempo, entonces la magnitud y la dirección del campo geomagnético de un lugar también varían. Las rocas pueden conservar una imantación remanente relacionada con el campo geomagnético existente cuando estas rocas se formaron. En el caso de las rocas magmáticas la dirección de la imantación coincide con la dirección del campo geomagnético existente en el intervalo de tiempo en que las rocas empezaron a solidificarse y que se extiende hasta el momento en que las rocas se enfriaron debajo de la temperatura de Curie. A este tipo de imantación remanente se llama imantación termoremanente. En el caso de rocas fundidas que se enfriaron rápidamente, como las corrientes de lava por ejemplo, sus minerales magnéticos se alinean paralelamente a la dirección del campo geomagnético existente en el tiempo de la solidificación y del enfriamiento de las rocas. En el caso de las rocas

sedimentarias clásticas los minerales magnéticos se alinean durante la deposición en agua quieta según la dirección del campo geomagnético existente, este tipo de imantación se denomina imantación remanente de deposición.

El estudio de la historia del campo geomagnético, denominado paleomagnetismo se basa en la imantación remanente. Además el estudio de la imantación remanente contribuye a la geología histórica y fue una evidencia más para la tectónica de placas.

### **3.2.4 EFECTO MAGNÉTICO TOTAL SOBRE CUERPOS MAGNÉTICOS ENTERRADOS EN EL SUBSUELO**

Hoy día en la prospección magnética comúnmente se mide la componente total del campo magnético. En el caso de un cuerpo magnético enterrado en el subsuelo, la componente total del campo magnético se compone de las magnitudes correspondientes al campo geomagnético y al campo magnético anómalo generado por el cuerpo magnético enterrado. El efecto magnético total ejercido por este cuerpo enterrado en el subsuelo y mensurable en la superficie, depende de la dirección del campo geomagnético en el lugar de observación y de la imantación inducida en este cuerpo paralela al campo geomagnético (Ruiz, 2003).

### **3.2.5 MAGNETÓMETRO**

Un magnetómetro es un dispositivo que sirve para cuantificar la fuerza y la dirección del campo magnético de una muestra. Hasta los años cuarenta los magnetómetros eran instrumentos mecánicos, en la actualidad se han sustituido por instrumentos electrónicos mucho más sensibles. En otras palabras, el magnetómetro es un instrumento que permite medir la intensidad del campo magnético terrestre y detectar las variaciones provocadas por la presencia de materiales ferromagnéticos localizados bajo la superficie de la Tierra (Díaz, 2012).

#### **3.2.5.1 Tipos de Magnetómetros**

Entre los más importantes tipos de magnetómetros se encuentran: el magnetómetro de saturación (Flux-gate magnetometer), el magnetómetro de precesión protónica (Proton Precession magnetometer) y el magnetómetro de

bombeo óptico (Optically Pumped magnetometer). A continuación se realiza una explicación de los magnetómetros más usados en la actualidad en base a las descripciones de Telford et al. (1990) y Ruiz (2003).

- a) Magnetómetro de saturación: consiste en dos solenoides idénticos y paralelos, pero arrollados en sentido contrario alrededor de dos núcleos de un material de alta permeabilidad magnética. Los núcleos están conectados en serie a una corriente alterna de alta frecuencia que los satura. La presencia de un campo magnético externo produce un desfase en las señales de ambos, desfase detectada por un arrollamiento secundario que rodea a los núcleos. Algunos magnetómetros del tipo 'flux-gate' alcanzan una precisión entre 0,5 a 1,0 gamma. El 'fluxgate magnetometer' fue el primer magnetómetro utilizado para mediciones magnéticas desde el aire (fixed wing aircraft), en la guerra, en particular para hallar submarinos. Hoy día se los emplean para las mediciones magnéticas en pozos/sondeos.
- b) Magnetómetro de bombeo óptico: se basa en el uso de metales alcalinos como el cesio y el potasio. Registra la energía emitida por una sustancia, al excitarse debida al campo magnético. Mide el campo total y las variaciones a lo largo de la dirección el campo total, opera muy bien en campos magnéticos débiles. Consta de un emisor de fotones que contiene un emisor de luz de cesio, una cámara de absorción que contiene vapor de cesio, un "gas tampón" a través del cual pasan los fotones, dispuestos en ese orden. Se utiliza cuando se necesita un magnetómetro de rendimiento más alto que un magnetómetro de protones.
- c) Magnetómetro de precesión de protones: apoyado en la capacidad de los protones de realizar un movimiento de precesión alrededor del campo geomagnético a una frecuencia que depende de la intensidad de dicho campo. Se basa en la medida del momento magnético del protón de un átomo de hidrógeno. Consta de un recipiente lleno de fluido rico en átomos de hidrógeno tales como el queroseno o agua, rodeado por una bobina. Los protones se orientan al aplicarles un campo magnético fuerte, realizando el movimiento de precesión alrededor del campo ambiente al ser eliminado el aplicado. El instrumento tiene una sensibilidad del orden de 1

nT y es capaz de repetir la medición muy rápidamente, produciendo un registro casi continuo.

- d) Magnetómetro protónico tipo Overhauser: usa el mismo efecto fundamental que el magnetómetro de precesión estándar, el cual utiliza un fluido rico en protones; el magnetómetro con efecto Overhauser tiene añadido radicales libres al fluido de medición. Estos radicales libres garantizan la presencia de electrones libres no unidos que se acoplan con protones, produciendo un sistema de doble espín. Un campo magnético de radiofrecuencia fuerte es usado para perturbar el acoplamiento del electrón-protón. Al saturar líneas de resonancia de electrones libres, la polarización de protones en el líquido del sensor es mucho mayor. El efecto Overhauser ofrece un método más poderoso de polarización de protones que una polarización estándar (es decir señales más fuertes son conseguidas con pequeños sensores, y con menos energía). Un magnetómetro Overhauser produce medidas con una desviación estándar de 0,01 nT a 0,02 nT. (GEM Systems, 2014).

### **3.3 METODOLOGÍA DE LA PROSPECCIÓN MAGNETOMÉTRICA**

El levantamiento de los datos geofísicos para el desarrollo de este trabajo fue realizado en dos jornadas de salida al campo. El levantamiento magnetométrico se realizó bajo la supervisión del Ingeniero Osman Poma, Geólogo Senior de la Empresa Cornerstone Ecuador S.A.

#### **3.3.1 INSTRUMENTACIÓN**

Para el levantamiento magnetométrico se utilizaron dos magnetómetros protónicos GSM-19 y GSM-19W (Overhauser) de alta sensibilidad, uno de los equipos lleva instalado una unidad GPS (equipo móvil) mientras el otro no posee esta unidad GPS (estación base).

Los equipos de magnetometría terrestre modelo GSM-19, son fabricados por la compañía canadiense GEM Systems. Son magnetómetros que presentan el efecto Overhauser, y están diseñados para ser usados tanto como estación base como equipo móvil. Sus aplicaciones incluyen exploraciones geofísicas, geotécnicas y arqueológicas (GEM Systems, 2014).



- 1) Equipo móvil: Magnetómetro Protónico GSM-19W (GPS) Overhauser. Es el equipo que se traslada a lo largo del levantamiento siguiendo líneas paralelas con un determinado espacio, está compuesto por una consola que registra los datos y su respectiva bobina receptora que mide el campo magnético en el terreno, además de una antena GPS. Gracias a su unidad GPS podemos sincronizar el tiempo interno con el UTC (Universal Time Coordinate), de esta manera y una vez realizadas las configuraciones deseadas para el levantamiento, se puede iniciar la toma de medidas.
- 2) Estación base: Magnetómetro Protónico GSM-19 Overhauser. Es el equipo que permanece estacionario, está compuesto por una consola que registra los datos y su bobina receptora que mide el campo magnético en el terreno. Esta estación se debe ubicar en un lugar cercano al área de estudio o dentro de la misma, pero lejos de fuentes que puedan generar errores en la medición. El equipo estacionario, una vez sincronizado con el móvil, será programado para adquirir datos. Este equipo es utilizado para realizar la corrección diurna.

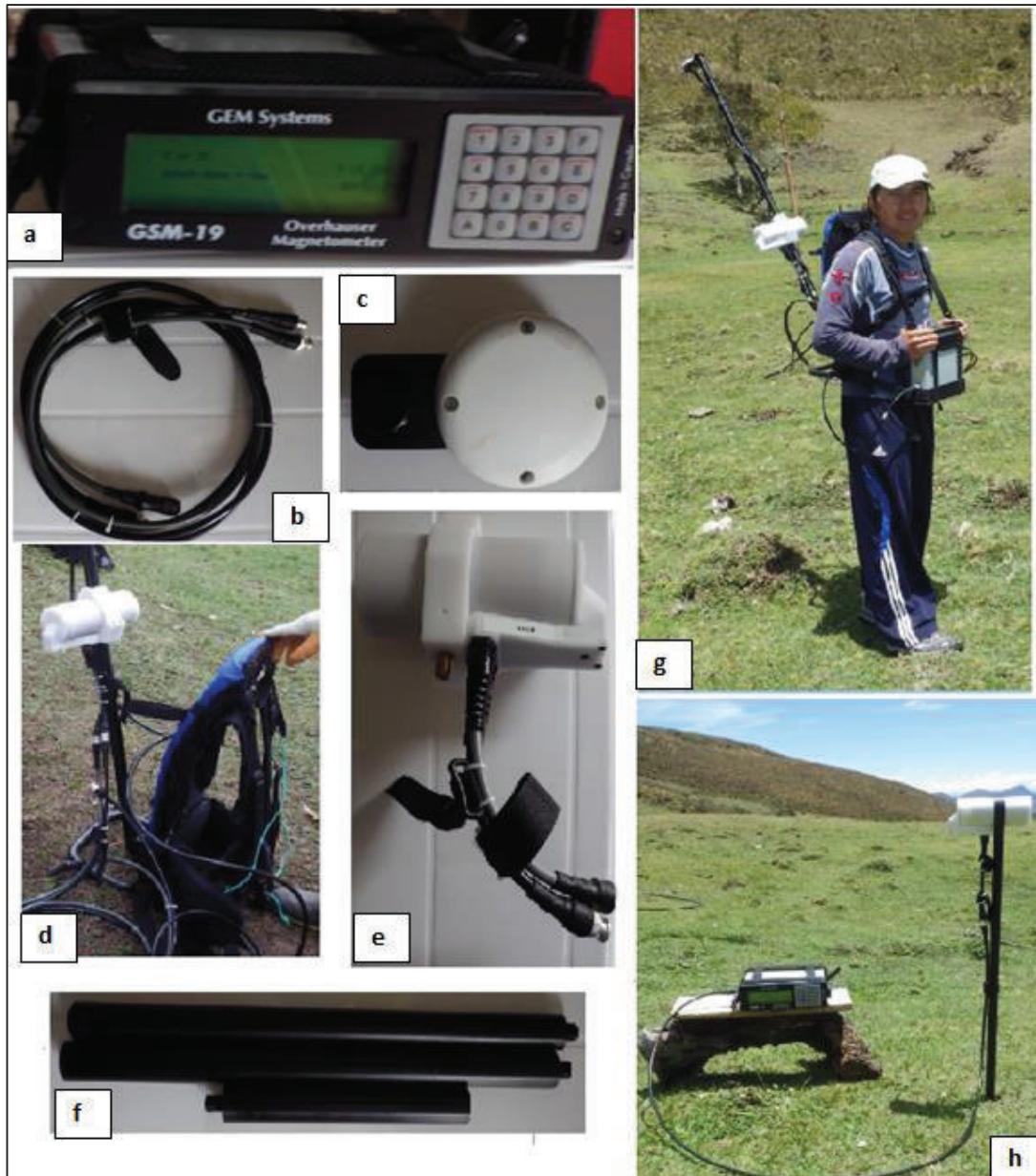
La siguiente lista resume las partes principales del equipo de levantamiento magnetométrico GSM-19 Overhauser (GEM Systems, 2014) (Foto 3.1).

- Consola con medidas de 223 x 69 x 240 mm, peso de 2.1 kg, presenta una pantalla gráfica (64x24 pixeles, o 8x30 caracteres), tiene 16 botones, conectores para fuente de poder, entrada y salida de datos.
- Sensor para magnetometría: Medidas de 175 x 75mm, correspondiente al diámetro del cilindro, peso de 1 kg, es una bobina-dual diseñada para reducir el ruido y mejorar la tolerancia de gradiente. Está electrostáticamente blindada y contienen un líquido especial rico en protones en un resonador sellado "Pyrex bottle" Radio Frecuencia (RF).
- Secciones de tubo de aluminio diseñados para permitir la elevación del sensor.
- Diversos cables que conectan los componentes del equipo de magnetometría entre ellos.
- Antena GPS, la cual está incorporada en el magnetómetro móvil GSM-19W, ofrece muchas ventajas, ya que minimiza el peso de componentes

voluminosos que pueden ser dañados durante el levantamiento de datos (presente solo en equipo móvil).

- Mochila personal de aluminio (presente solo en equipo móvil).

De manera general el eje del sensor debe estar aproximadamente en ángulos rectos al campo magnético para obtener una mejor señal. Por esta razón, el sensor debe estar orientado en una dirección magnética este-oeste en regiones ecuatoriales (GEM Systems, 2014). Objetos ferromagnéticos locales como tornillos, navajas, relojes de pulseras, etc. pueden perjudicar la calidad de las medidas. Para la ejecución de la prospección geofísica, es necesario el uso de 2 magnetómetros, uno para la medición en el campo y otro en la estación base.



**Foto 3.1** Componentes del magnetómetro GSM-19. a) consola b) cables de conexión c) antena GPS d) mochila e) sensor para magnetometría f) tubos de aluminio g) equipo móvil conectado h) estación base conectada.

### 3.3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SOBRE EL MAGNETÓMETRO GSM-19 OVERHAUSER

- Sensibilidad:  $0.022 \text{ nT} / \sqrt{\text{Hz}}$
- Resolución:  $0.01 \text{ nT}$
- Precisión absoluta:  $\pm 0.1 \text{ nT}$

- Rango: 20,000 a 120,000 nT.
- Tiempo de ciclo: Realiza hasta 5 mediciones por segundo.
- Temperatura de operación: Es un instrumento fuerte, capaz de resistir temperaturas extremas y humedad. Opera satisfactoriamente con temperaturas entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Tolerancia gradiente: Tiene la capacidad de realizar mediciones confiables en presencia de variaciones extremas del campo. Overhauser produce grandes amplitudes y señales de larga duración que facilita la realización de mediciones en presencia de altos gradientes. Tolera gradientes menores a 10.000 nT/m.
- Fuente de poder: Posee 2 niveles de carga, se cambia mediante un switch de un nivel a otro. La entrada es normalmente 110 V; opcional 110V/220 V, 50/60 Hz.
- Memoria: para equipo móvil hasta 1,465,623 medidas; y para equipo base hasta 5,373,951 medidas
- Configuraciones de trabajo: Puede trabajar como estación base, como un equipo remoto con toma de datos con GPS, o como un equipo remoto con toma de datos manual.

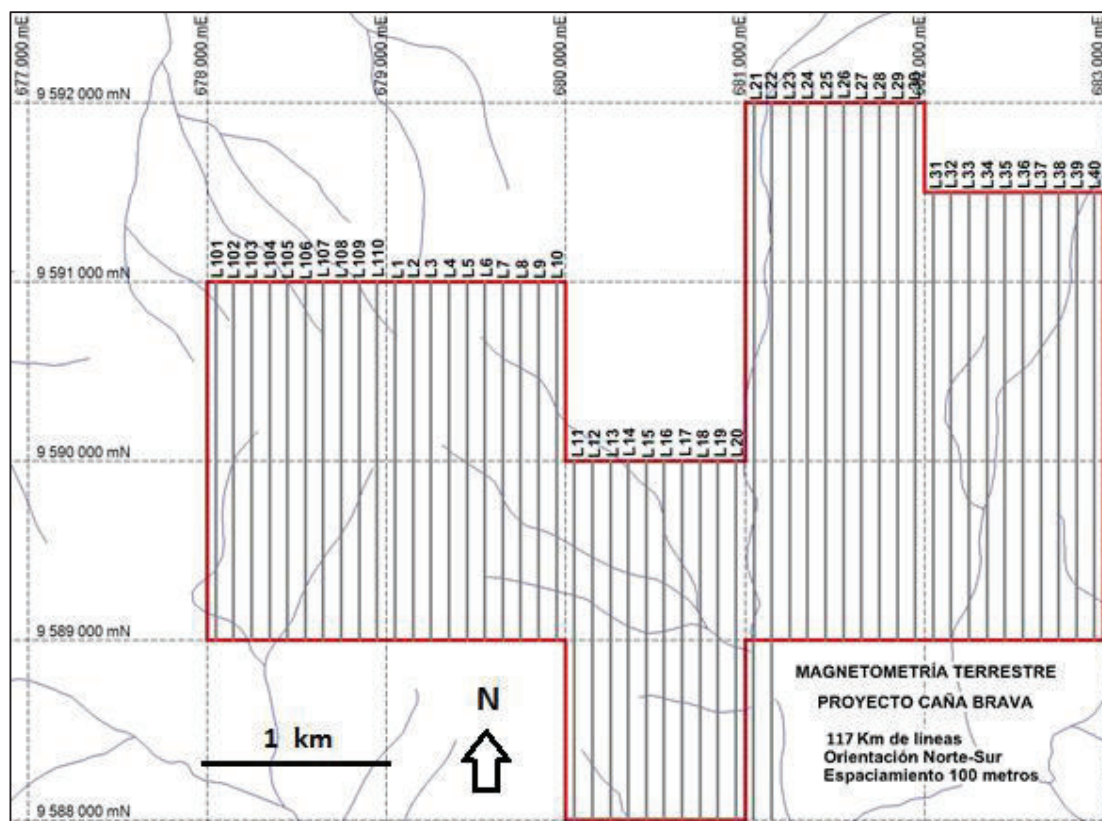
### 3.3.3 DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para proceder con el uso de los magnetómetros primero se debe activar el GPS en el equipo móvil, esto permitirá sincronizar el tiempo interno en el equipo al UTC. Después, se selecciona el datum (por defecto viene establecido el datum WGS 84). Posteriormente se debe sincronizar la fecha y el tiempo entre el equipo móvil y la estación base. Finalmente en ambos equipos se configurarán los diferentes parámetros de medición según nuestras necesidades.

Antes de proceder a realizar el levantamiento se debe tener en cuenta que hay que mantener una distancia prudencial de cualquier estructura que pueda generar errores en las medidas tales como cercas, alambradas, cableado eléctrico, entre otros.

### 3.3.4 UBICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

El estudio magnetométrico se desarrolló en un área de 1.150 hectáreas (11.5 km<sup>2</sup>) cubriendo toda la concesión minera “Caña Brava”. Se hicieron medidas continuas a lo largo de 50 líneas de dirección Norte-Sur, con espaciamiento cada 100 metros (Fig. 3.4).



**Fig. 3.4** Mapa de las líneas trazadas para cubrir el levantamiento magnetométrico en la concesión Caña Brava.

## 3.4 OPERACIONES DE CAMPO

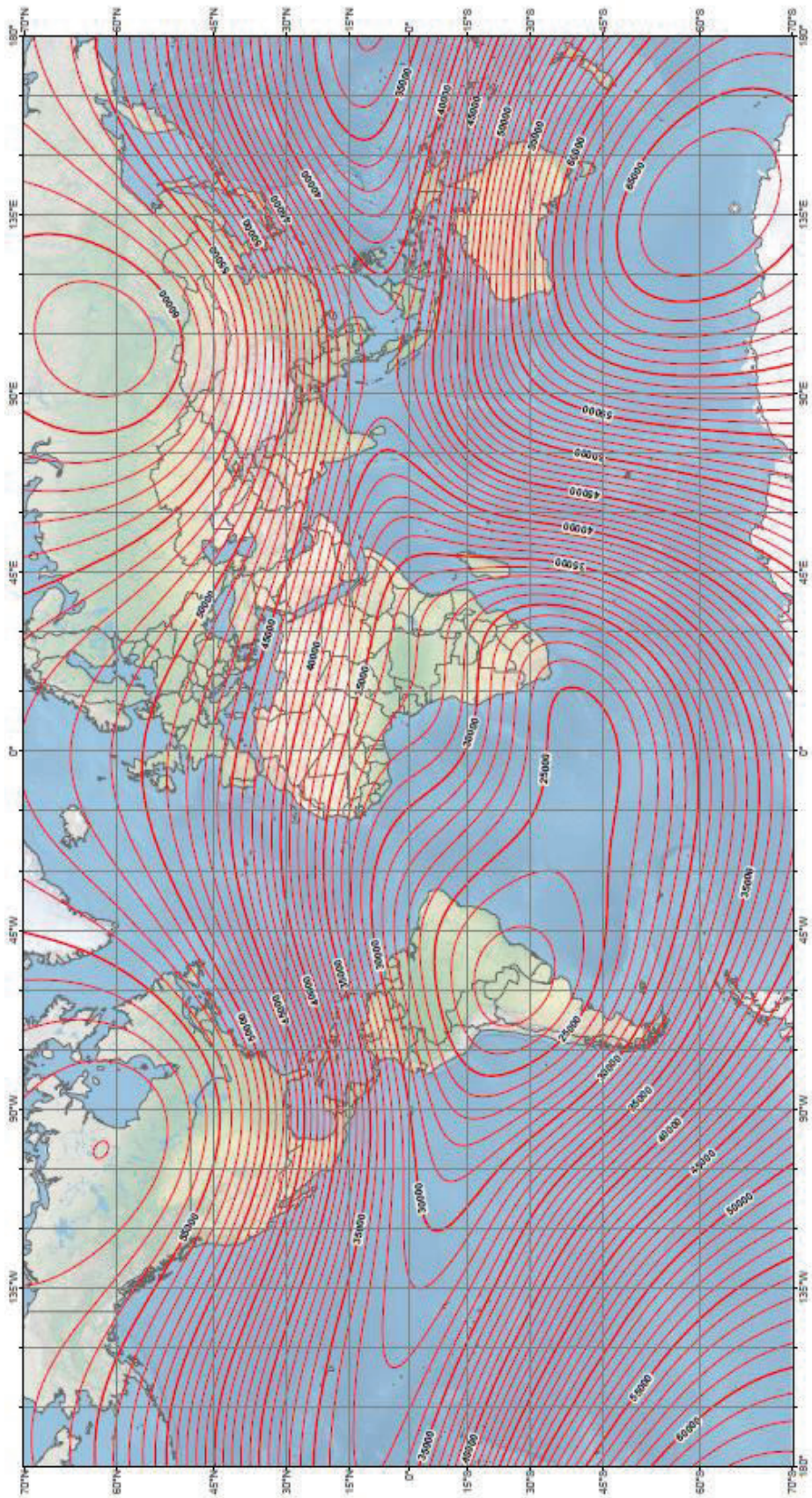
### 3.4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA TOMA DE DATOS

Antes de realizar las medidas se deben efectuar ajustes en los magnetómetros:

- Seleccionamos un valor de referencia del campo magnético, para en caso del Ecuador el valor está entre 27000nT y 30000 nT. Este valor se puede obtener del Modelo Magnético Mundial (Fig. 3.5).



- Debemos ir asignando un nombre a cada una de las líneas en el magnetómetro móvil a medida que realizamos el levantamiento, para un mejor manejo y procesamiento de la información posteriormente.
- El eje del sensor debe estar aproximadamente en ángulo recto con el campo magnético para obtener la mejor señal. Para este propósito, el sensor debe mantenerse orientado en una dirección magnética este-oeste (en regiones ecuatoriales).
- Es recomendable no utilizar objetos metálicos como relojes, anillos, celulares y llaves cerca al magnetómetro en el momento de la lectura. Además si existen edificios, cableado eléctrico y automóviles en las cercanías, esto podría causar errores en las lecturas.



**Fig. 3.5** Mapa del Modelo Magnético Mundial actualizado al 2015. Las isolíneas representan la Intensidad total de campo magnético. (Tomado de <http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>, 2015).

### **3.4.2 DETALLES ADQUICISIÓN DE DATOS**

- Sistema de Coordenadas: mapas locales referenciados con el datum UTM en la proyección PSAD 1956.
- Sistema de medidas: métrico (Sistema Internacional).
- Dirección de las líneas de investigación: 50 líneas norte-sur
- Separación entre líneas de investigación: 100 metros.
- Intervalo entre toma de datos: 1 medida por segundo.

### **3.4.3 PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

- Método de estudio: Prospección geofísica – magnetometría terrestre
- Técnica de muestreo: determinación del campo magnético de la zona de estudio, utilizando un equipo móvil y una estación base.
- Configuración del equipo: magnetómetro GSM-19W (GPS) como equipo móvil y magnetómetro GSM-19 como estación base.
- Nombre de las líneas de investigación: ver Anexo 3.1
- Longitud de las líneas de investigación: ver Anexo 3.1

### **3.4.4 ADQUISICIÓN DE DATOS EN CAMPO**

El trabajo de adquisición de los datos se realizó en dos jornadas de campo de 22 días cada una, durante los meses de octubre y noviembre del año 2014. Realizando un total de 117 Km a lo largo de 50 líneas en sentido norte-sur.

Para la toma de datos se usó una estación base ubicada aproximadamente a unos 20 metros del campamento en las coordenadas 06794577 E; 9588964 N, datum PSAD 56, zona 17 S, aquí se colocó el magnetómetro GSM-19 que corresponde al equipo base, este fue programado para que adquiriera datos a razón de una medida cada 3 segundos. Los datos obtenidos con la estación base permitirán posteriormente realizar la corrección diurna a las medidas de magnetometría, mismas que serán obtenidas con el equipo móvil.

Para el levantamiento de datos a lo largo de las 50 líneas de estudio se utilizó el magnetómetro GSM-19 W, el cual tiene incorporado un dispositivo GPS, lo que permite asignar una coordenada UTM a cada una de las medidas adquiridas con

este equipo, el intervalo utilizado para realizar las medidas corresponde a 1 medida por cada segundo.

Gracias a su memoria interna ambos equipos almacenan automáticamente los datos adquiridos durante el transcurso del trabajo, los cuales son transferidos posteriormente a una computadora para realizar el procesamiento.

### **3.5 TRABAJO DE GABINETE**

#### **3.5.1 SOFTWARE UTILIZADO**

- GEMlink 5.3: es una aplicación basada en Windows que se utiliza para todos los magnetómetros de GEM Systems (GSM-19). El programa GEMlink se comunica de una manera bidireccional con los magnetómetros a través de un puerto serial a una velocidad de transmisión seleccionada. Los datos se pueden visualizar en tiempo real en la pantalla de la computadora.
- MapInfo Professional 10.5: es un software GIS estándar para mapeo que permite a los usuarios visualizar, analizar, editar, interpretar, comprender, datos geográficos para mostrar relaciones, patrones y tendencias. Mediante el uso de MapInfo podemos explorar datos espaciales dentro de un conjunto de datos y crear mapas.
- Oasis Montaj 6.4.2: es un software de geofísica creado por Geosoft. Es una plataforma espacial de procesamiento de la información y la cartografía de datos geofísicos y modelización geológica.
- Microsoft Excel: este programa es desarrollado y distribuido por Microsoft, es utilizado generalmente en tareas que involucran cálculos con gran cantidad de valores de diferentes tipos.

#### **3.5.2 TRANSFERENCIA DE DATOS CRUDOS (SIN PROCESAR)**

Cuando el levantamiento magnetométrico está finalizado, los datos quedarán almacenados en la memoria del equipo de magnetometría y es necesario extraerlos a una computadora para poder procesarlos.



Una vez transferidos los datos, tanto del equipo móvil como de la estación base mediante el uso del software GEMlink 5.3, estos son visualizados en este mismo programa, y se guardan como archivos de texto con extensión “.txt”, el software organiza la información en forma de columnas como se ve en la Figura 3.6. A continuación se detalla las columnas de datos que aparecen:

- Columna 1: X (coordenada UTM, Este)
- Columna 2: Y (coordenada UTM, Norte)
- Columna 3: Elevación (metros)
- Columna 4: Medidas obtenidas de campo magnético en nanoTeslas (nT)
- Columna 5: Calidad de Señal (sq) (es un número presentado en forma xy, donde “x” e “y” están entre 0 y 9; “x” está asociado con el tiempo de medición y un tipo de indicador de gradiente, “y” representa el área debajo de la señal de amplitud que coincide con el tiempo de medida).
- Columna 6: Medidas de magnetometría en nanoTeslas aplicada corrección diurna (cor-nT), (en este caso son cero porque aún no están corregidas, se deben procesar con las medidas magnetométricas del equipo base para obtenerlas)
- Columna 7: número de satélites con los que se tomaron la coordenadas geográficas (S)
- Columna 8: Tiempo UTC en el que se tomaron las medidas

```

/Gem systems GSM-19w 4026422 v7.0 3 IV 2014 M ew3fl.v7o
/ID 0 file 12cb .wm 11 X 2014
/UTC-05 17M
/X Y elevation nT sq cor-nT sat time picket-x picket-y
line 000001
0679050.61 9589004.64 003291 27908.01 99 000000.00 11 s 094059.0
0679050.60 9589004.67 003291 27907.87 99 000000.00 11 s 094100.0
0679050.58 9589004.67 003291 27907.72 99 000000.00 11 s 094101.0
0679050.58 9589004.67 003291 27907.77 99 000000.00 11 s 094102.0
0679050.58 9589004.67 003291 27907.69 99 000000.00 12 s 094103.0
0679050.56 9589004.67 003291 27907.59 99 000000.00 12 s 094104.0
0679050.54 9589004.65 003291 27907.55 99 000000.00 12 s 094105.0

```

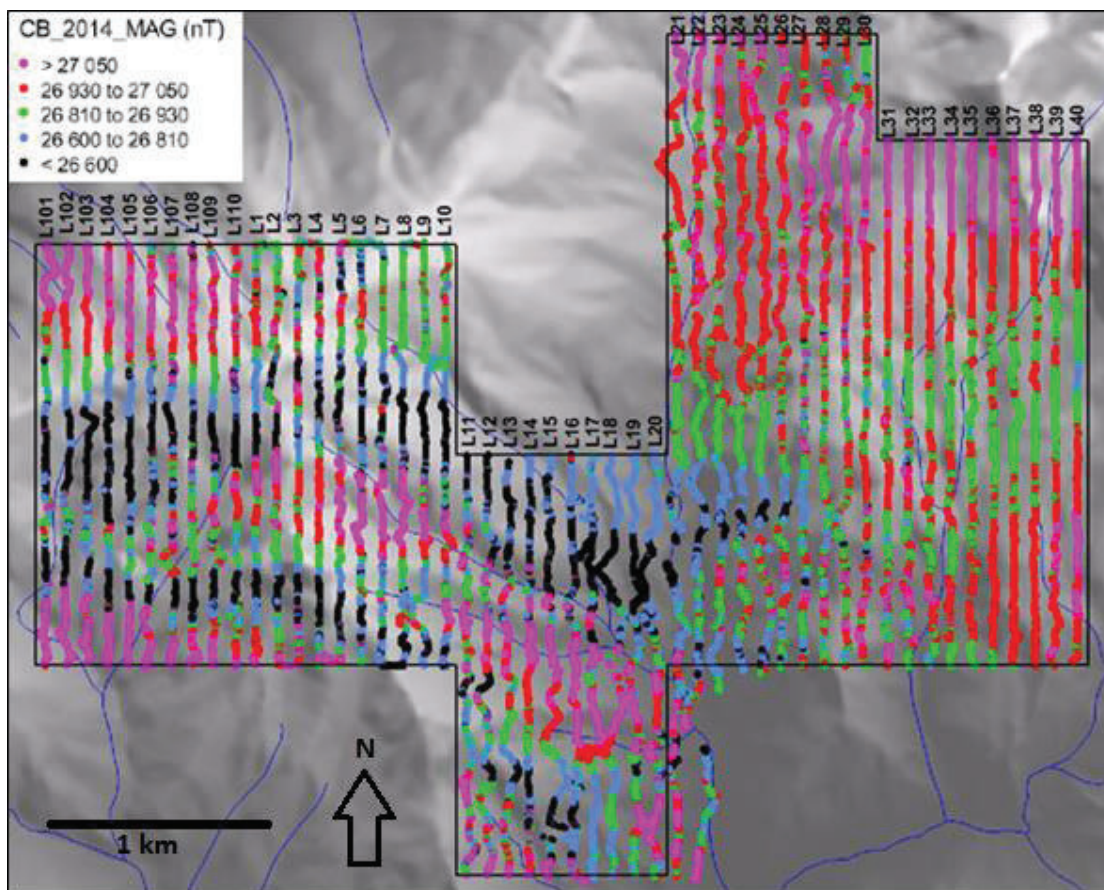
**Fig. 3.6** Archivo “.txt” donde se visualiza parte de los datos obtenidos en una línea de levantamiento magnetométrico.



### 3.5.3 MAPA DE LÍNEAS DE MUESTREO CON DATOS CRUDOS (SIN PROCESAR)

Una vez ingresados los datos a la computadora se puede realizar un mapa preliminar en donde se presenten las líneas de muestreo geofísico realizadas (Fig. 3.7). Este mapa es elaborado con los datos crudos obtenidos en el levantamiento magnetométrico y para esto se utilizó el software MapInfo Professional.

Este mapa se elaboró para tener una idea de cómo están distribuidos los datos magnetométricos levantados en el área de estudio, se pueden ver las 50 líneas de muestreo geofísico realizadas, donde se aprecia que no son líneas rectas exactas, esto debido a que muchas veces se debe bordear diferentes cambios en la topografía a lo largo de las líneas como quebradas, ríos, etc.



**Fig. 3.7** Campo magnético total elaborado con datos crudos del levantamiento magnetométrico.

### 3.5.4 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Con los datos crudos (sin procesar) de todas las líneas obtenidas en el levantamiento magnetométrico, se realizan procesos de corrección diurna y filtrado para eliminar datos erróneos, y de esta manera elaborar mapas magnéticos para su interpretación.

#### 3.5.4.1 Corrección Diurna

La intensa actividad solar y la presencia de tormentas solares, son perturbaciones transitorias con amplitudes superiores a las 1000nT, estos sucesos ocurren en muchas latitudes siendo mayor en la región polar donde está asociada con la aurora boreal. Estas tormentas pueden interferir seriamente en los estudios magnéticos (López y Zura, 2013). Las variaciones diarias son corregidas con el uso de un magnetómetro fijo. Se corrige registrando el campo magnético a intervalos regulares en la estación base. El valor de esta corrección es muy pequeño, solo cuando hay presencia de tormentas magnéticas, ésta adquiere valores grandes, pero en dichas condiciones es preferible suspender la toma de datos (Ruíz, 2003; Álvarez, 2012).

Para realizar la corrección diurna se utiliza el programa GEMlink 5.3, el cual tiene un herramienta llamada “diurnal correction” en donde se introducen los archivos “.txt” obtenidos de la estación base y del equipo móvil. Una vez realizado el proceso el programa genera un nuevo archivo “.txt” en el cual ya está aplicada la corrección diurna. Como se puede ver en la figura 3.8, dos nuevas columnas de datos son integradas; a diferencia del archivo de datos crudos mostrados en la anterior figura 3.6

- Columna 1: X (coordenada UTM, Este)
- Columna 2: Y (coordenada UTM, Norte)
- Columna 3: Elevación (metros)
- Columna 4: Medidas obtenidas de campo magnético en nanoTeslas (nT)
- Columna 5: Calidad de Señal (sq) (es un número presentado en forma xy, donde “x” e “y” están entre 0 y 9; “x” está asociado con el tiempo de medición y un tipo de indicador de gradiente, “y” representa el área debajo de la señal de amplitud que coincide con el tiempo de medida).

- Columna 6: Medidas de magnetometría aplicada la corrección diurna (cor-nT), (en este caso son cero debido a que han sido colocadas al final en la columna 9)
- Columna 7: número de satélites con los que se tomaron la coordenadas geográficas (S)
- Columna 8: Tiempo UTC en el que se tomaron las medidas
- Columna 9: Medidas de magnetometría corregidas en nanoTeslas (cor-nT), aplicadas la corrección diurna.
- Columna 10: intervalo de tiempo en el que se realizó de corrección diurna, en este caso cada 3 segundos.

```

/Gem Systems GSM-19w 4026422 v7.0 3 IV 2014 M ew3f1.v7o
/ID 0 file 12cb .wm 11 x 2014
/UTC-05 17M
/X Y elevation nT sq cor-nT sat time picket-x picket-y
line 000001
0679050.61 9589004.64 003291 27908.01 99 000000.00 11 s 094059.0 27075.62 i---
0679050.60 9589004.67 003291 27907.87 99 000000.00 11 s 094100.0 27075.47 i003
0679050.58 9589004.67 003291 27907.72 99 000000.00 11 s 094101.0 27075.30 i003
0679050.58 9589004.67 003291 27907.77 99 000000.00 11 s 094102.0 27075.34 i---
0679050.58 9589004.67 003291 27907.69 99 000000.00 12 s 094103.0 27075.28 i003
0679050.56 9589004.67 003291 27907.59 99 000000.00 12 s 094104.0 27075.19 i003
0679050.54 9589004.65 003291 27907.55 99 000000.00 12 s 094105.0 27075.17 i---

```

**Fig. 3.8** Archivo “.txt” donde se visualiza parte de los datos aplicados la corrección diurna en una línea de levantamiento magnetométrico.

#### 3.5.4.2 Filtrado de Datos Erróneos

Mientras se adquieren los datos en el campo, el equipo puede momentáneamente perder señal, sea ésta del magnetómetro o de la unidad GPS y no registrar correctamente datos por unos segundos o inclusive minutos, provocando la existencia de valores erróneos, por lo tanto se debe eliminar estos valores. El proceso para la eliminación de los datos erróneos requiere un análisis línea por línea hasta completar todo el levantamiento. Este trabajo de análisis en la base de datos de la magnetometría se realizó en hojas de cálculo de Microsoft Excel (Fig. 3.9).

La filtración de los datos es un proceso que se realiza con el fin de eliminar datos erróneos que puedan causar equivocaciones en el momento de la elaboración de mapas magnéticos, así como en las interpretaciones de los mismos. Estos valores

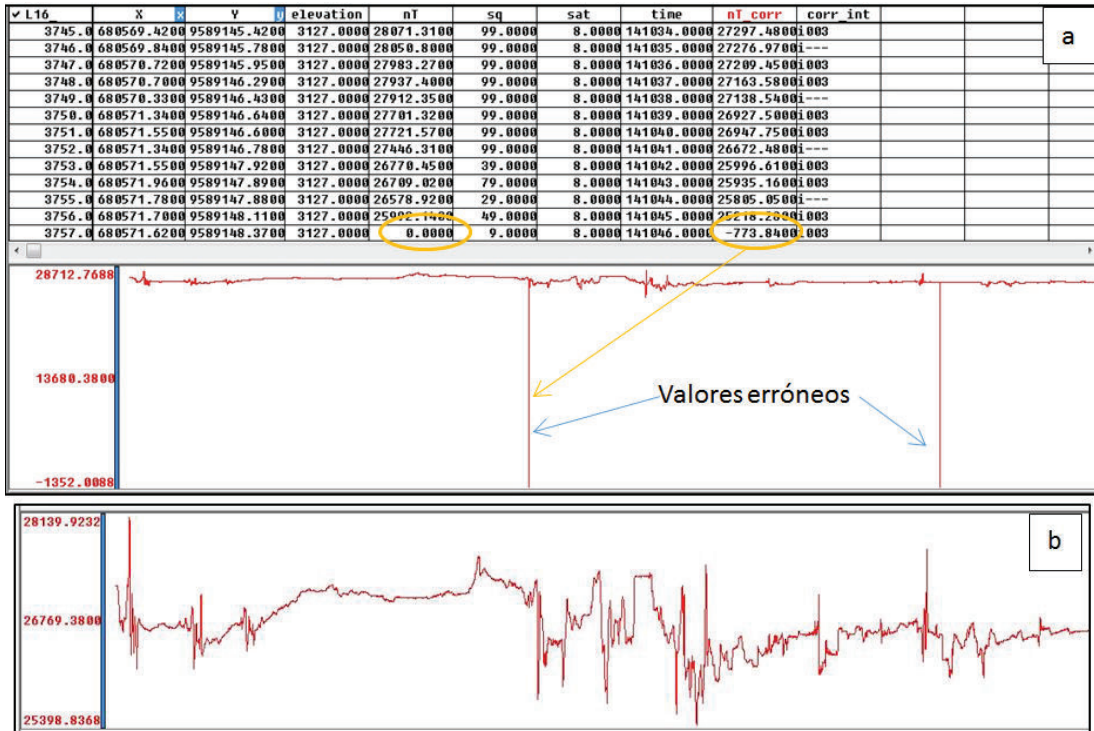
pueden ser atribuidos a errores instrumentales (unidad GPS, magnetómetro) y a la topografía de la zona.

|   | A         | B          | C         | D        | E  | F   | G     | H        | I        |
|---|-----------|------------|-----------|----------|----|-----|-------|----------|----------|
| 1 | X         | Y          | elevation | nT       | sq | sat | time  | nT corr  | corr int |
| 2 | 679050.61 | 9589004.64 | 3291      | 27908.01 | 99 | 11  | 94059 | 27075.62 | i---     |
| 3 | 679050.6  | 9589004.67 | 3291      | 27907.87 | 99 | 11  | 94100 | 27075.47 | i003     |
| 4 | 679050.58 | 9589004.67 | 3291      | 27907.72 | 99 | 11  | 94101 | 27075.3  | i003     |
| 5 | 679050.58 | 9589004.67 | 3291      | 27907.77 | 99 | 11  | 94102 | 27075.34 | i---     |
| 6 | 679050.58 | 9589004.67 | 3291      | 27907.69 | 99 | 12  | 94103 | 27075.28 | i003     |
| 7 | 679050.56 | 9589004.67 | 3291      | 27907.59 | 99 | 12  | 94104 | 27075.19 | i003     |
| 8 | 679050.54 | 9589004.65 | 3291      | 27907.55 | 99 | 12  | 94105 | 27075.17 | i---     |

**Fig. 3.9** Hoja de cálculo de Excel, se observan parte de los datos de la línea 1, obtenidos durante el levantamiento magnetométrico. Cada uno dato está dispuesto en una celda lo que facilita el manejo de los mismos al momento de eliminar datos erróneos.

#### 3.5.4.2.1 Filtros relacionados al equipo de magnetometría terrestre

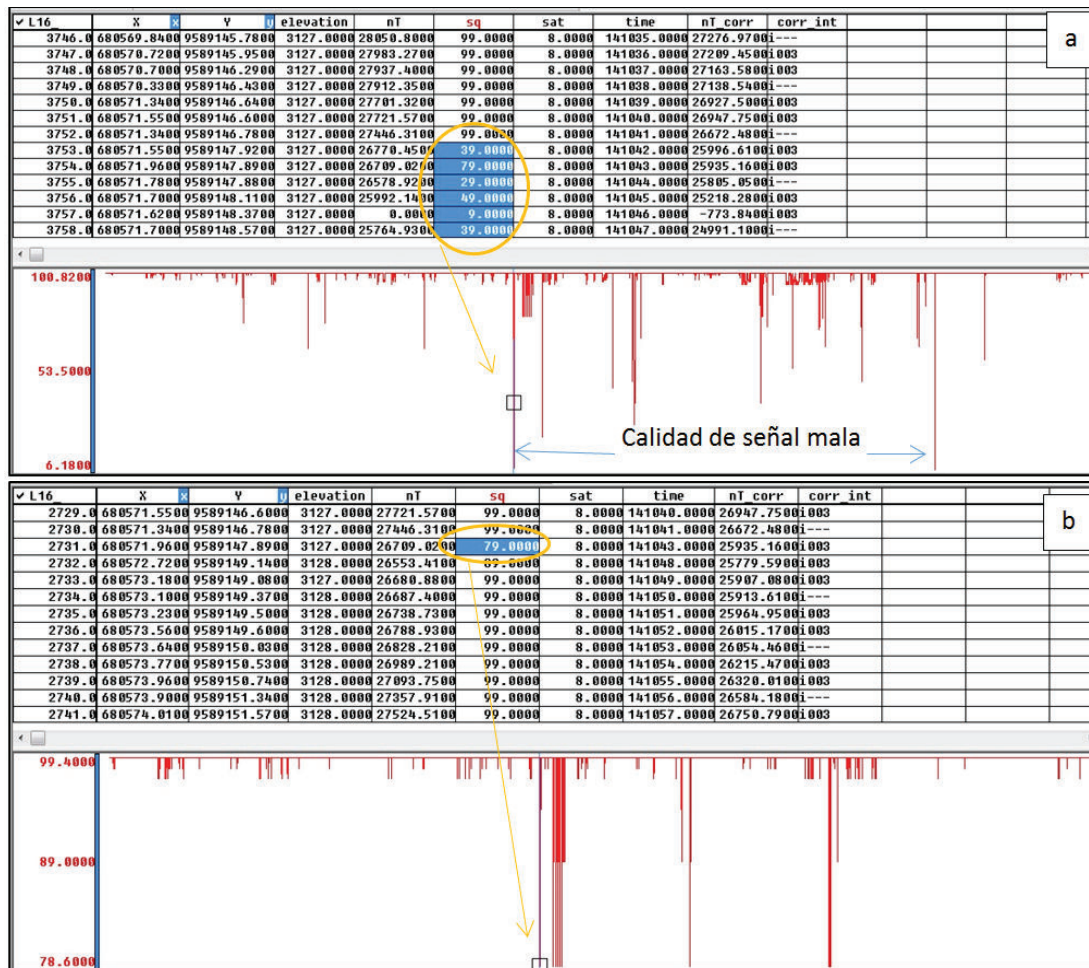
Primer filtro: se eliminaron los datos de medidas de campo magnético (nT) que tenían un valor de cero, los cuales claramente son erróneos ya que en ningún lugar de la Tierra el campo magnético es cero, estos valores son producidos cuando momentáneamente el equipo de magnetometría pierde la calidad de señal. En la figura 3.10 se ve el perfil de una línea que presenta dos valores erróneos en el registro del campo magnético total.



**Fig. 3.10** Perfil creado en Oasis Montaj con las medidas de campo magnético total (nT) para la línea 16. a) El perfil presenta dos valores anómalos, uno de ellos -773.8400 que resulta al aplicar la corrección diurna a un valor de cero nanoTeslas, obtenida con el magnetómetro móvil. Esto hace que el perfil tenga una caída repentina. b) vemos el mismo perfil pero en este ya están eliminados los datos anómalos, de esta manera el perfil no muestra caídas abruptas.

Segundo y Tercer filtro: estos filtros están asociados a la calidad de señal del magnetómetro (sq), el cual está representado por dos números de la forma “xy”, donde “x” y “y” tienen valores entre 0 y 9. En caso de una señal óptima los valores son 9 para “x” y 9 para “y”. El valor de “x” está asociado con el tiempo de toma de medidas, mientras que “y” representa el área debajo de la señal de amplitud que coincide con el tiempo de medición (GEM Systems, 2014). Se consideró como buena calidad de señal los valores mayores o iguales a 7, eliminando los datos por debajo de este valor. En la figura 3.11 se observa un perfil donde se ve la calidad de señal en una de las líneas del levantamiento.





**Fig. 3.11** Perfil que indica la calidad de señal de la línea 16 del levantamiento magnetométrico. a) se observa un conjunto de datos obtenidos con una mala calidad de señal del magnetómetro con excepción de un valor de 79 considerado como aceptable. b) se ven los datos de la misma línea, pero aquí ya se han eliminado los datos obtenidos con mala calidad de señal del magnetómetro, quedando únicamente el valor de 79 del conjunto anterior.

A continuación se presenta la tabla 3.2 donde se resumen los diferentes filtros relacionados al equipo de magnetetría, junto con una estadística de la cantidad de datos que se han ido perdiendo a medida que se aplicó dichos filtros.

| <b>FILTRO RELACIONADO AL EQUIPO DE MAGNETOMETRÍA</b> | <b>Filtros</b>  | <b>Número de datos restantes (válidos) del total de datos adquiridos sin procesar</b> | <b>Porcentaje de datos restantes (válidos) del total de datos adquiridos sin procesar</b> |
|--|---|---|---|
| DATOS EN BRUTO<br>(sin procesar)                     | Sin ningún filtro   | <b>321409</b>   | 100%  |
| PRIMER FILTRO  | Medidas de magnetometría que dan cero u otro valor erróneo (nT=0) | <b>321165</b>   | 99.92408427 %   |
| SEGUNDO FILTRO                                       | Calidad de señal del magnetómetro menor a 7 en "X"                | <b>320162</b>   | 99.61202082 %   |
| TERCER FILTRO  | Calidad de señal del magnetómetro menor a 7 en "Y"                | <b>311758</b>   | 96.99728383 %   |

**Tabla 3.2** Filtros relacionados al equipo de magnetometría. Se muestra el número y porcentaje de datos restantes (válidos) a medida que los filtros fueron aplicados.

#### 3.5.4.2.2 Filtro relacionado con la localización

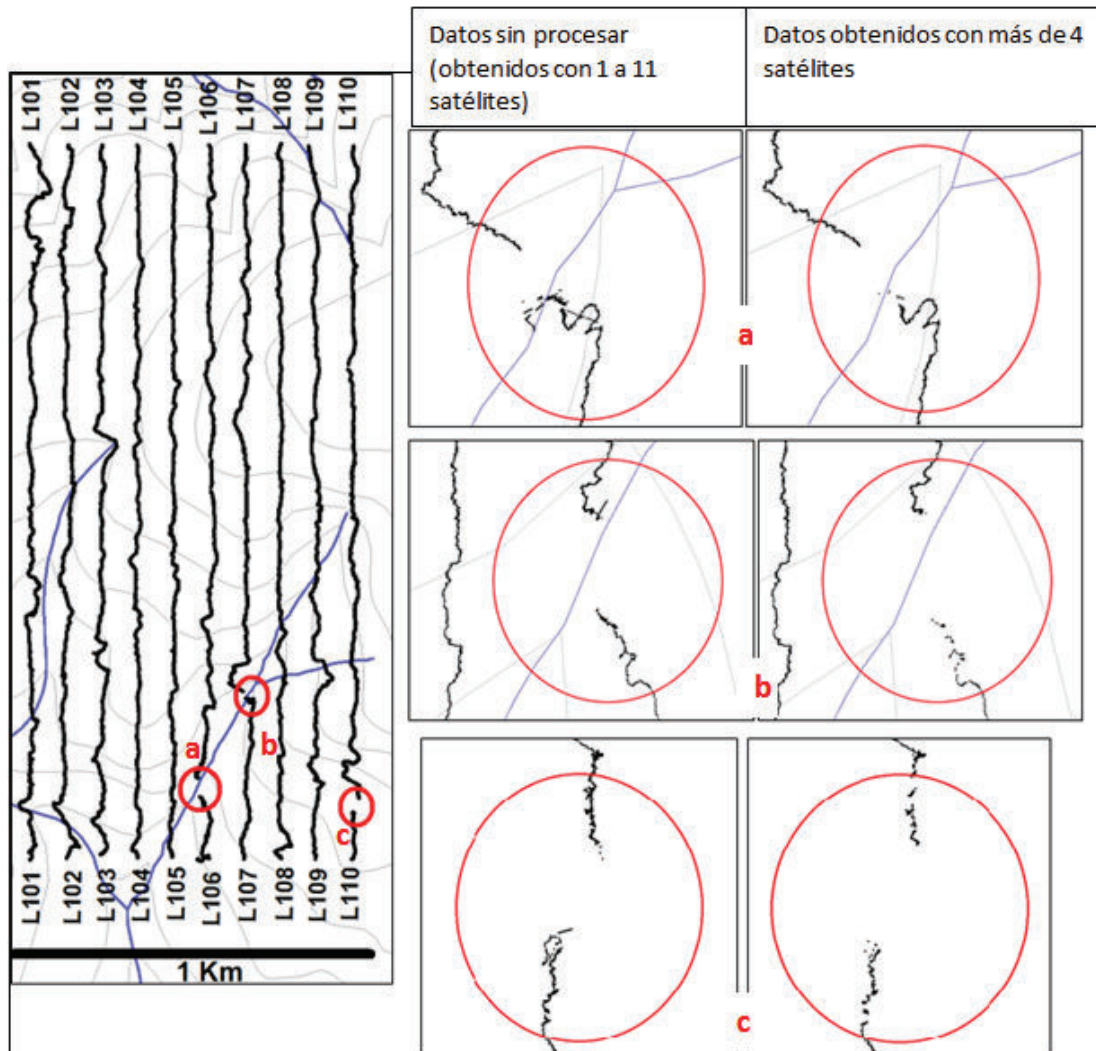
Mediante este filtro se eliminan los datos erróneos asociados a la adquisición de coordenadas con la unidad de GPS. Se descartan las coordenadas UTM cuyos valores fueron adquiridos con cuatro o menos satélites. Esta consideración fue determinada ya que al dibujar las coordenadas en el mapa se observó que aquellos datos adquiridos con una cantidad de 4 satélites o menos, generalmente se salen de las líneas del levantamiento magnetométrico. La mayor parte de estas medidas erróneas ocurrieron dentro de quebradas, en donde probablemente la profundidad de la quebrada y la cantidad de vegetación interrumpieron parte de la señal de los satélites.

Se debe aclarar que estos datos no ocupan un porcentaje significativo de la cobertura superficial de las líneas. Para explicar esto se toma como ejemplo la línea 106 (L106) del levantamiento magnetométrico (Fig. 3.12). Esta línea tiene un longitud de 2 Km y se han registrado 5230 medidas; luego de aplicar el filtro

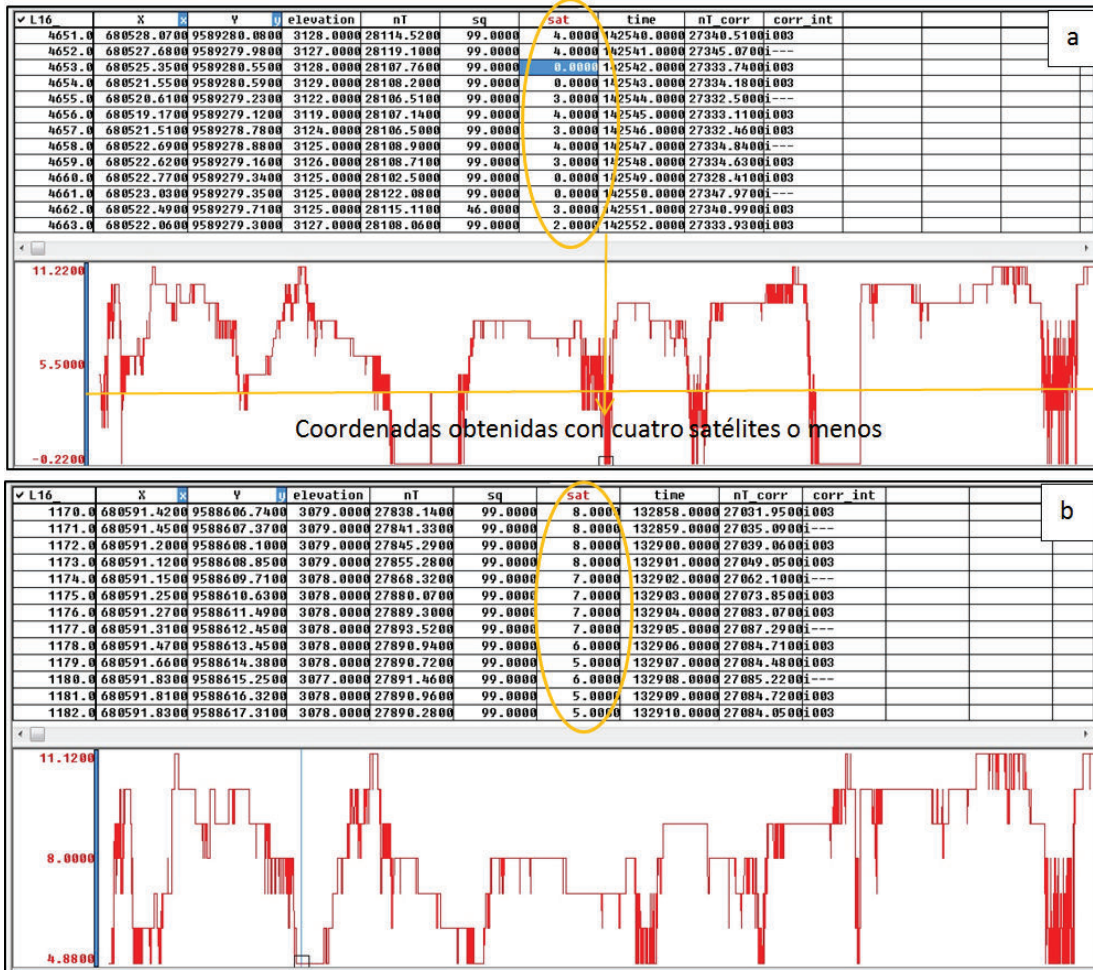
relacionado con la localización, quedan 4520 medidas correspondientes al 86,4% del total, es decir se han eliminado 710 (13.6%), las cuales fueron tomadas mientras se cruzaba una quebrada, donde se perdió la señal de algunos satélites y por tanto las coordenadas no son confiables. Ahora hay que recordar que el equipo toma medidas a razón de 1 cada segundo, tomando en cuenta esto, se concluye que el paso por la quebrada duró aproximadamente 11 minutos, de ahí que la cantidad de datos eliminados es de 710.

Si se hace un análisis de la cobertura superficial a lo largo de la línea, se ve que la longitud de cobertura donde se eliminaron las medidas es de 50 metros, en comparación con los 2000 metros que tiene toda la línea, representa una pérdida de datos del 2%, un porcentaje poco significativo respecto al total de la línea.

En la figura 3.13, se puede ver un perfil creado a partir de la cantidad de satélites con los que fueron adquiridos los datos.



**Fig. 3.12** A la izquierda se indican los espacios producidos por la pérdida de satélites en las líneas 106,107 y 110 del levantamiento magnetométrico terrestre en la zona oeste. En la parte derecha se presenta una ampliación de los espacios señalados y se comparan los datos en bruto (obtenidos con 1 a 11 satélites) y los datos obtenidos con más de 4 satélites. En la línea 106 y 107 estos datos corresponden al paso por quebradas y en la línea 110 corresponde a una zona frondosa con gran cantidad de árboles que bloquearon la señal de los satélites.



**Fig. 3.13** Perfil trazado con el número de satélites con los que se tomaron las coordenadas UTM en la línea 16 del levantamiento magnetométrico. a) se presenta el perfil en donde se muestran los datos obtenidos con menos de cuatro satélites (debajo de la línea naranja). b) se observa el perfil una vez que se ha eliminado los datos obtenidos con menos de cuatro satélites.

La tabla 3.3 muestra el porcentaje de datos válidos una vez que se aplicó el filtro relacionado con la localización.



| <b>FILTRO RELACIONADO CON LA LOCALIZACIÓN</b><br>Eliminando las medidas de coordenadas UTM que fueron adquiridas con 4 satélites o menos. | <b>Número de datos restantes (válidos) antes del filtro de localización</b> | <b>Número de datos restantes (válidos) después del filtro de localización</b> | <b>Porcentaje de datos restantes (válidos) del total de datos adquiridos sin procesar</b> |
|---|---|---|---|
|   | <b>311758</b>   | <b>282150</b>   | 87.78534515 %   |

**Tabla 3.3** Filtro donde se indica el número de datos restantes (válidos) y su correspondiente porcentaje al aplicar el filtro relacionado con la localización.

#### **3.5.4.3 Optimización de los datos de Campo Magnético Total**

Para aplicar la optimización se debe tener en cuenta que las medidas tomadas en el levantamiento magnetométrico son continuas (una medida cada segundo) y que es posible que durante el recorrido de las líneas se interrumpa el avance, ya sea por inconvenientes topográficos o densidad de la vegetación. Debido a esto se presentarán varias medidas magnetométricas para un mismo punto UTM, aunque estas medidas serán de similar valor.

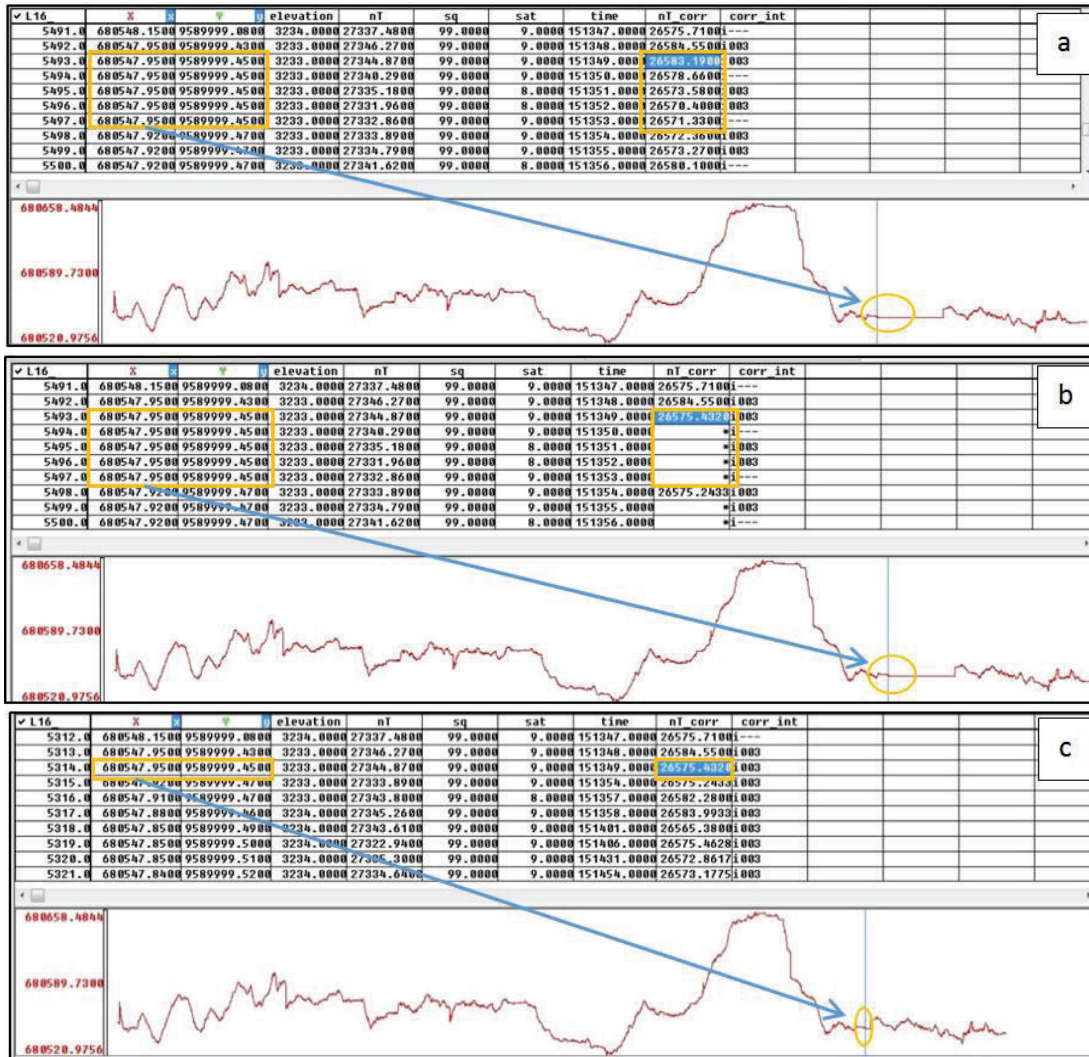
La optimización consiste en realizar un promedio de los valores magnéticos obtenidos en una misma coordenada UTM con el fin de disminuir el volumen de datos. Este proceso se lo realiza mediante el uso del software Oasis Montaj. Para entender esto de una mejor manera se detalla a continuación un breve ejemplo:

Se tiene una línea de 20 metros en la cual se va a realizar levantamiento magnetométrico, tomando una medida por segundo. Mientras se realiza la toma de medidas a través de la línea se presenta un obstáculo (maleza, quebrada, riachuelo) y se interrumpe el avance por un instante. Al estar detenido, el equipo seguirá tomando medidas, es decir existirán varias medidas magnéticas en la misma coordenada geográfica, una vez que se retoma el levantamiento se continuarán realizando medidas hasta finalizar la línea.

Una vez realizado el proceso de filtrado y corrección de datos, quedan 50 medidas. Al dibujar estas medidas en un mapa se observa que 20 de las 50 medidas ocupan la misma coordenada geográfica. Se realiza la optimización de datos y de esta manera los datos se reducen a 31, pero esto no significa que se ha eliminado los otros 19, sino que las medidas están promediadas en una sola coordenada geográfica.

A continuación se indica la optimización para el caso de 5 medidas de la línea 16:

En el primer gráfico (Fig. 3.14a) se observan 5 medidas de campo magnético total (nT corr) que tienen las mismas coordenadas UTM, graficadas en un perfil correspondientes al tramo indicado. La figura 3.14b muestra el proceso de optimización en Oasis Montaj, donde se ha promediado los valores de campo magnético en uno solo y los demás valores han sido reemplazados por asteriscos (recuadro amarillo). En la figura 3.14c se han eliminado las filas de datos correspondientes a las celdas con asteriscos (celdas sin datos), debido a que los valores ya han sido optimizados, además en el perfil se aprecia que el tramo recto marcado en los otros perfiles se reduce.



**Fig. 3.14** Perfiles correspondientes a las coordenadas UTM Este de la línea 16. a) se indican los datos de campo magnético total que tienen las mismas coordenadas y cómo forman un pequeño tramo recto en el perfil. b) promedio de los valores de campo magnético total que están en las mismas coordenadas. c) el promedio de los valores de campo magnético total ha sido asignado a una sola coordenada UTM. En el perfil se reduce la línea recta por el proceso de optimización.

Una vez realizada esta optimización de datos se tiene una menor cantidad de los mismos, en la tabla 3.4 se presenta la cantidad de datos válidos luego de aplicar todos los filtros y la optimización:

| <p style="text-align: center;"><b>OPTIMIZACION DE DATOS</b></p> <p>Debido a que algunas coordenadas se repiten, se realiza un promedio en los puntos repetidos.</p> | <p style="text-align: center;"><b>Número de datos restantes (válidos) antes de optimización</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Número de datos restantes (válidos) luego de optimización</b></p> | <p style="text-align: center;"><b>Porcentaje de datos restantes (válidos) del total de datos adquiridos sin procesar</b></p> |
|---|---|---|--|
|   | <b>2821150</b>  | <b>267905</b>   | 83.35329751 %  |

**Tabla 3.4** Número de datos válidos luego de la optimización y su porcentaje con respecto al total de datos sin procesar (una vez aplicado todos los filtros anteriormente tratados para eliminar valores erróneos).

### 3.6 ESTUDIO MAGNÉTICO

La descripción del estudio magnético se realizó en base a los valores obtenidos en el levantamiento magnetométrico terrestre. Estos datos han sido analizados con el objetivo de generar mapas que muestren algún tipo de anomalía y su posterior interpretación. Como parte del análisis de los datos obtenidos durante el levantamiento, diversos tipos de procesamientos y filtros han sido aplicados a los datos crudos (sin procesar).

Se han elaborado tres mapas para la interpretación de las anomalías magnéticas de la zona de estudio, siendo el más importante y de mayor utilidad el de reducción al polo. Estos mapas fueron creados con el software de geofísica Oasis Montaj y se presentan a una escala 1:25000. A continuación se hace una breve explicación del concepto de cada mapa.

#### 3.6.1 MAPA DE CAMPO MAGNÉTICO TOTAL

En este mapa se muestra la intensidad del campo magnético total, corregida por variaciones diurnas. Es un mapa donde se puede ver la distribución de la intensidad magnética en toda la zona de estudio. El mapa 3.1 indica el campo magnético total obtenido en la concesión minera Caña Brava.

### **3.6.2 MAPA DE REDUCCIÓN A POLO**

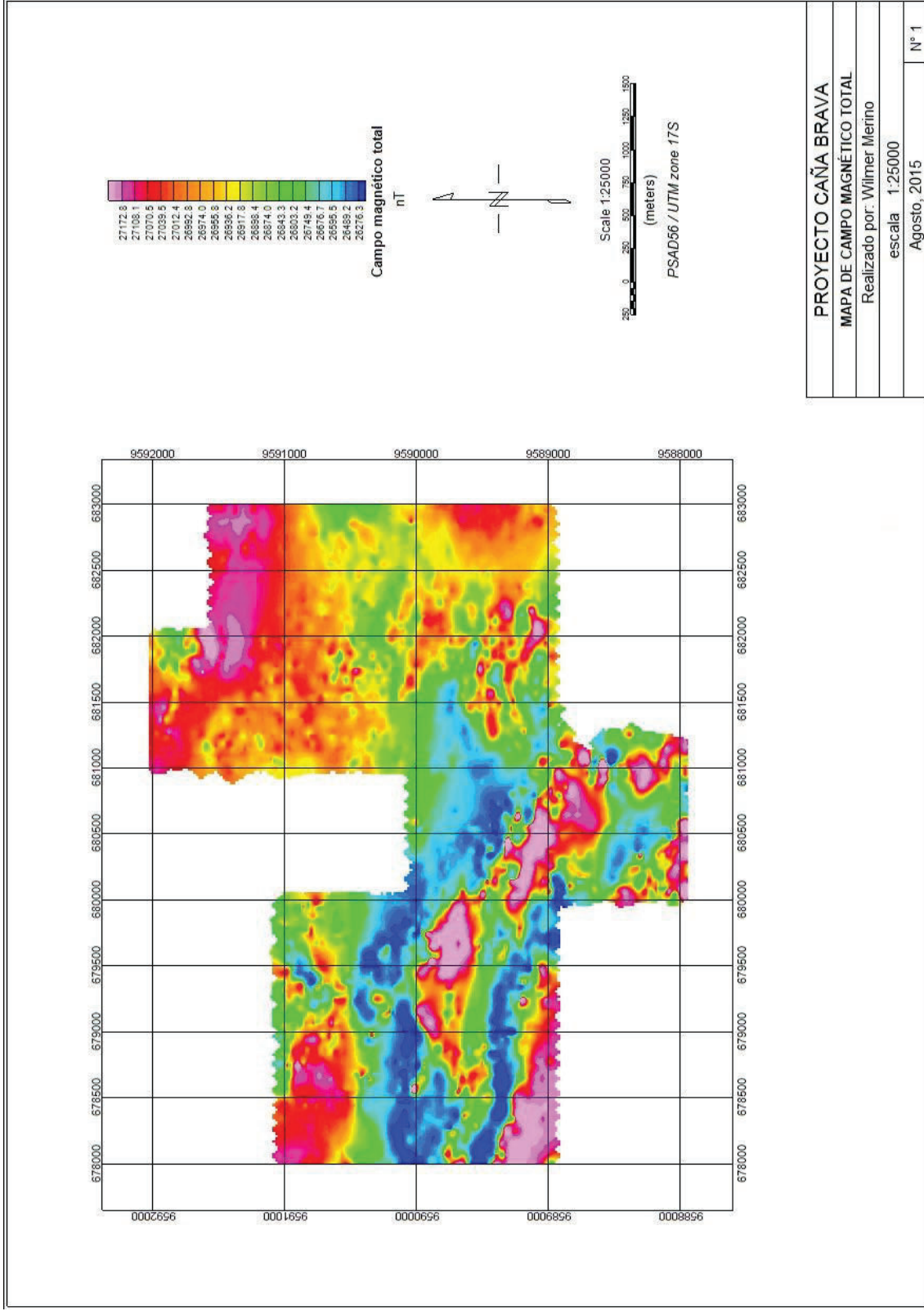
Las anomalías gravimétricas suelen situarse justo encima del cuerpo causante, pero en magnetometría no sucede lo mismo. Una distribución uniforme de material magnético producirá una anomalía sesgada si el campo magnético inductor no es vertical (Blakely, 1996).

La reducción al polo es un procedimiento matemático que transforma una anomalía medida bajo cualquier dirección de campo magnético, en aquella que sería medida bajo un campo vertical. El campo reducido a polo corresponde a la intensidad del campo magnético reducido para simular lecturas en un ambiente de campo magnético vertical. El mapa de reducción a polo se llama así, porque simula el traslado de la zona de estudio al polo magnético. Esto se hace debido a que en el polo magnético la inclinación del campo magnético es de 90 grados, es decir que incide a la Tierra en dirección vertical, lo cual hace que se facilite la interpretación del mapa, porque lo que se veía antes como un dipolo en un mapa de campo magnético total debido a la inclinación magnética, ahora aparece como un monopolio. El mapa 3.2 nos muestra la reducción a polo de la concesión Caña Brava.

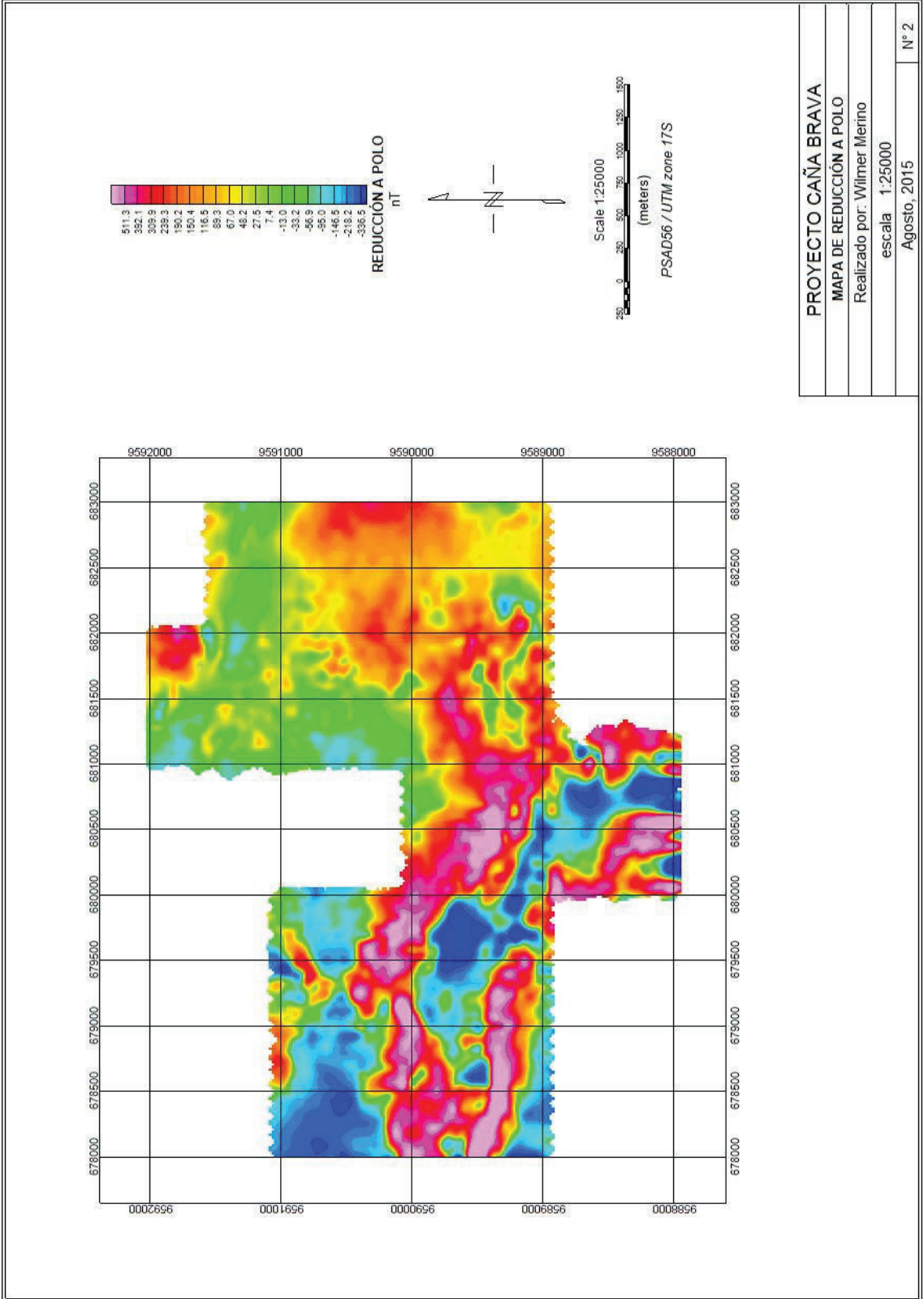
### **3.6.3 MAPA DE PRIMERA DERIVADA VERTICAL**

Para observar anomalías superficiales se debe generar el mapa de primera derivada vertical, el cual representa cuerpos magnéticos someros y lineamientos. La primera derivada vertical ( $dz$ ) se aplica para resaltar las anomalías de corta longitud de onda que quedan enmascaradas por las anomalías regionales de mayor longitud de onda. Las características que resultan pronunciadas por este procedimiento están relacionadas a fuentes más superficiales. El mapa 3.3 corresponde al mapa de primera derivada elaborado para la concesión Caña Brava.

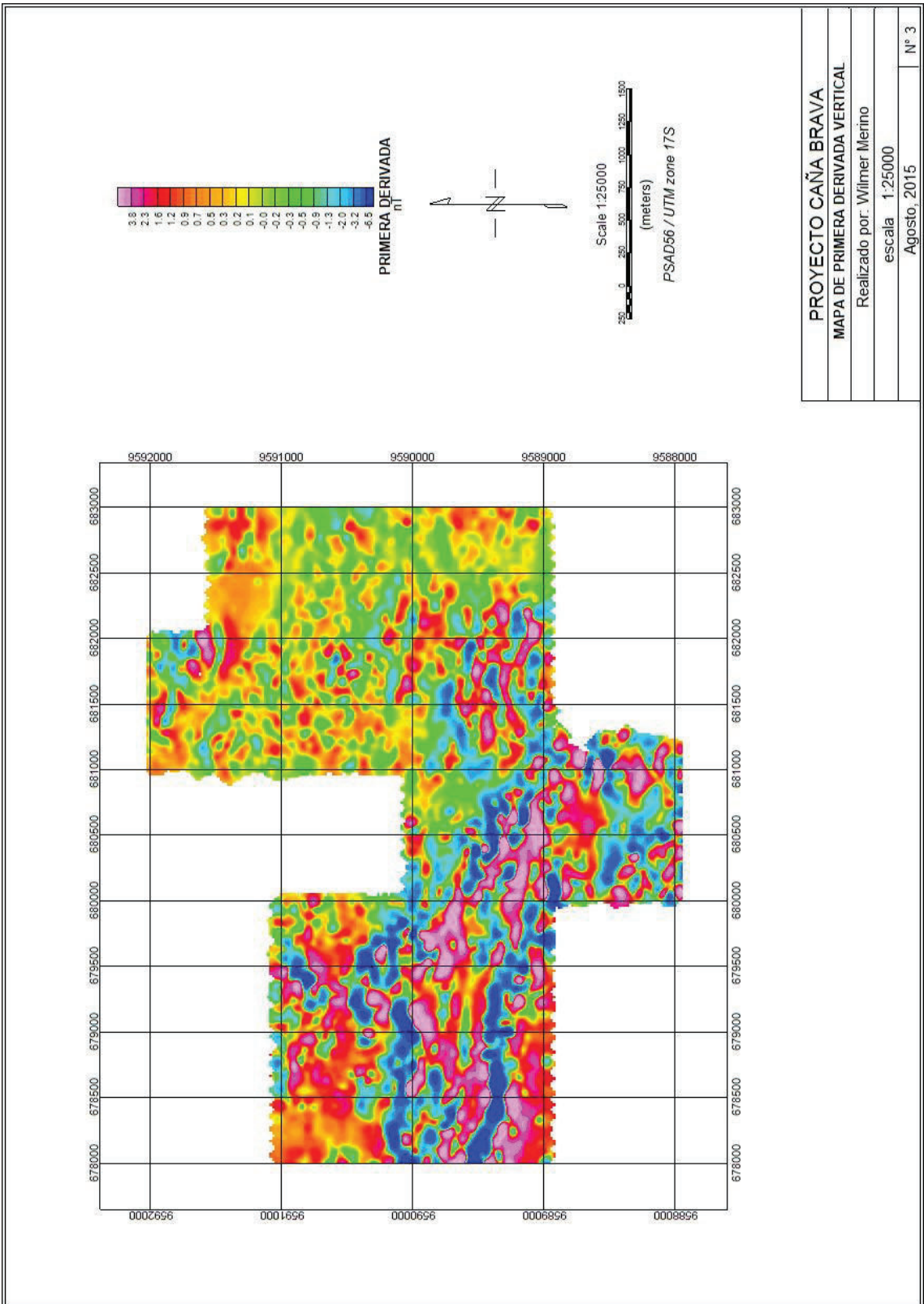




**Mapa 3.1** correspondiente al campo magnético total del área de la concesión minera Caña Brava



**Mapa 3.2** correspondiente al campo magnético total reducido a polo del área de la concesión minera Caña Brava



**Mapa 3.3** correspondiente a la primera derivada vertical del área de la concesión minera Caña Brava.

### 3.6.4 ANÁLISIS DE MAPAS MAGNÉTICOS

En base a los diferentes tipos de mapas magnéticos obtenidos, especialmente en el correspondiente a la reducción a polo, se evidenció la presencia de tres dominios magnéticos, los mismos que están caracterizados por zonas que presentan altos y bajos magnéticos significativos (Fig. 3.15). Cada uno de estos dominios se caracteriza por una señal magnética similar dada por la intensidad del campo. Pueden coincidir o no con las unidades litológicas, el cambio en la firma magnética podría estar relacionado a lineamientos magnéticos.

**Dominio 1:** Zonas de altos magnéticos.

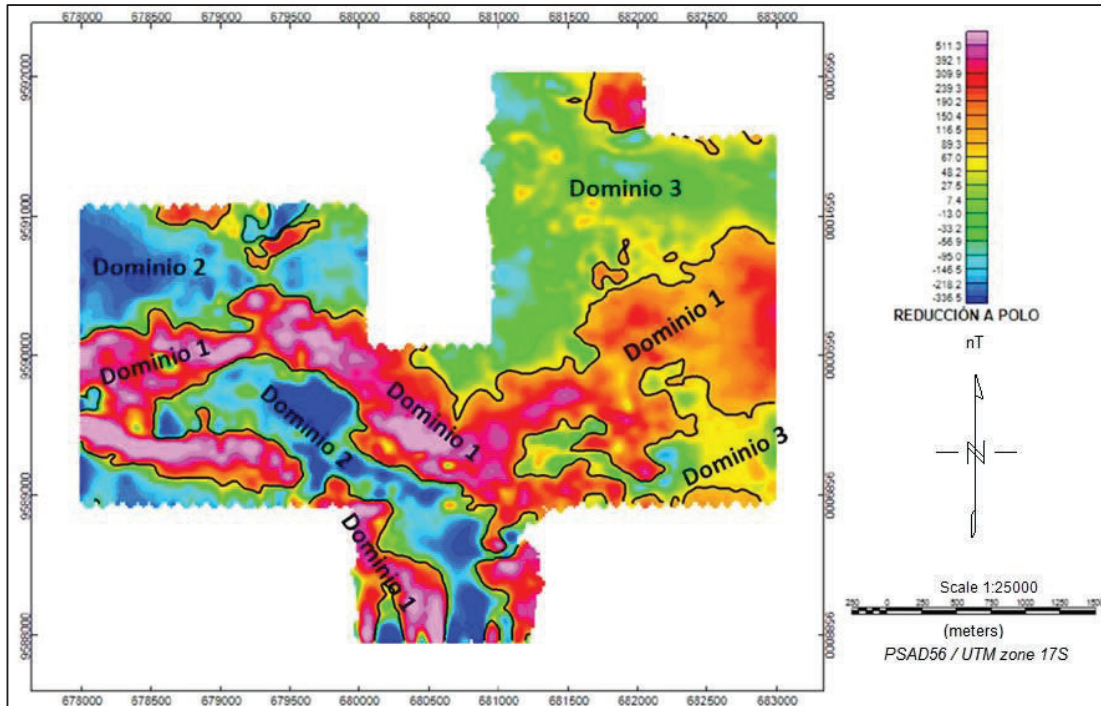
Se caracteriza por una intensidad alta del campo. Se ubican en gran parte del área de la concesión, presentando valores más altos al oeste y centro, también se extiende hacia el este disminuyendo su intensidad, además hay la presencia de un pequeño segmento en la parte noreste. Este dominio puede estar relacionado con cuerpos intrusivos frescos o poco alterados.

**Dominio 2:** Zonas de bajos magnéticos.

Se caracteriza por una intensidad baja del campo. Está presente en la zona oeste y central del área de la concesión. Este dominio puede estar asociado a zonas de alteración hidrotermal profunda, donde minerales magnéticos han sido destruidos.

**Dominio 3:** Zonas de valores magnéticos moderados.

Es considerado un dominio con valores intermedios entre los dominios 1 y 2, en algunas partes está cortado por altos y bajos magnéticos, mientras que en otras corresponde a un paso gradual. Este dominio está mayormente distribuido en la zona este. También aparece de manera restringida en la zona oeste. Podría corresponder a rocas con presencia de poca magnetita, o cuerpos intrusivos profundos que presentan un fuerte magnetismo.



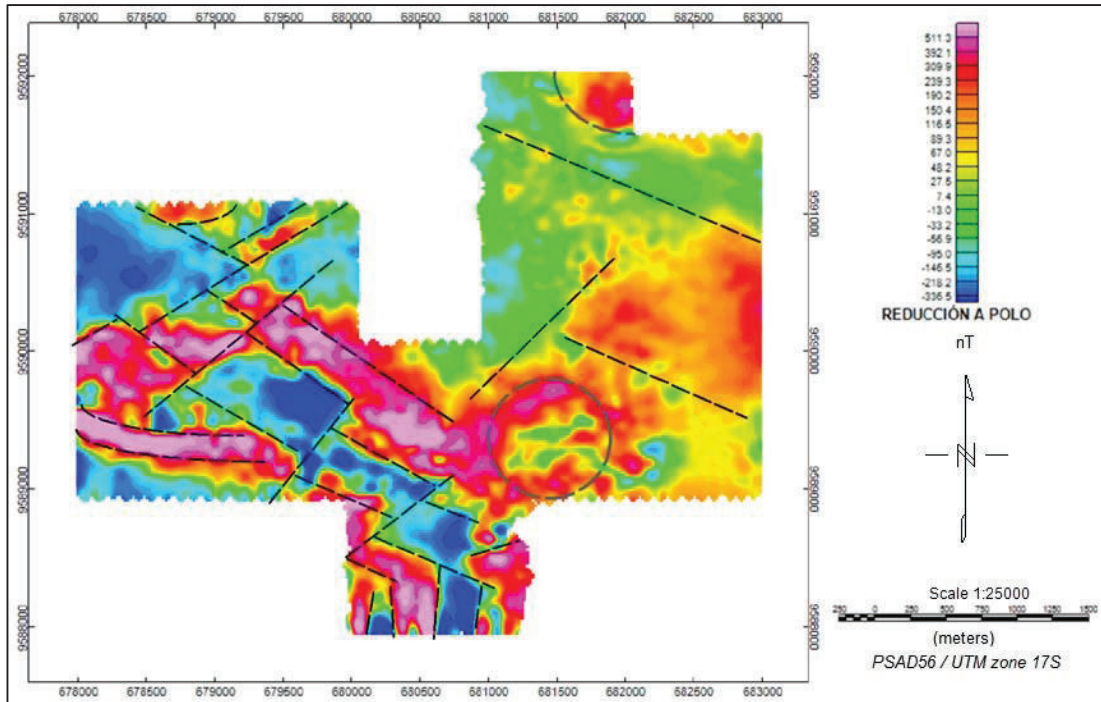
**Fig. 3.15** Mapa de campo magnético reducido al polo con identificación de dominios magnéticos. Dominio 1: Zonas de alto magnetismo. Dominio 2: Zonas de bajo magnetismo. Dominio 3: Zonas de magnetismo moderado.

Sobre los mapas de reducción a polo y primera derivada vertical se identificaron diferentes lineamientos magnéticos, donde se ven cambios abruptos entre altos y bajos magnéticos que pueden haber sido originados por fracturas y/o fallas (Fig. 3.16 y Fig. 3.17). En general, hay una tendencia en la orientación de los lineamientos NWW-SEE en los rasgos magnéticos, con posibles fallas NE.

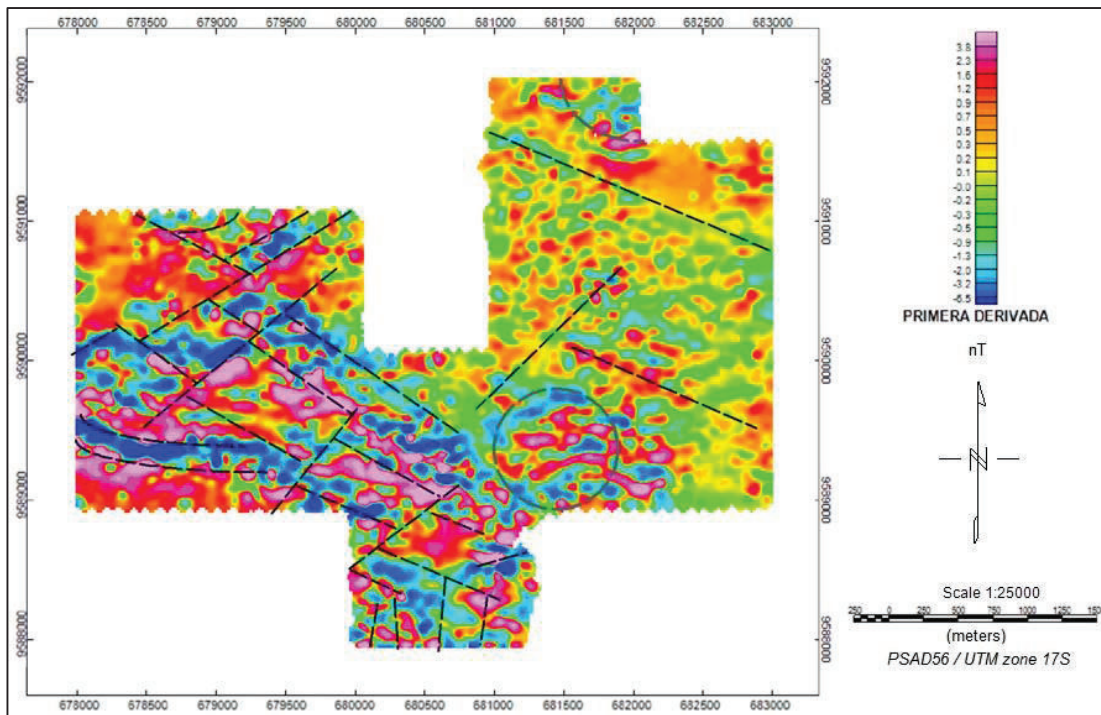
Los bajos magnéticos podrían abarcar zonas de alteraciones hidrotermales. Las zonas subredondeadas con bajos magnéticos pueden interpretarse como mayor alteración, probablemente brechas hidrotermales. Estos bajos posiblemente corresponden a zonas de destrucción de magnetita. Sin embargo se debe recalcar que las variaciones magnéticas no necesariamente reflejan la zonación hidrotermal.

Las zonas con altos magnéticos podrían ser cuerpos intrusivos, que pueden o no aflorar en la superficie. En la parte baja de la zona este se observa un rasgo circular, con un alto magnético que rodea a una zona de magnetismo moderado indicando una zona de interés (Fig. 3.16).





**Fig. 3.16** Mapa de campo magnético reducido al polo con identificación de grandes lineamientos sobre el área de la concesión minera Caña Brava.



**Fig. 3.17** Mapa de la primera derivada vertical con identificación de grandes lineamientos sobre el área de la concesión minera Caña Brava.

## **CAPÍTULO 4**

### **ALTERACIÓN HIDROTHERMAL**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se exponen los principales conceptos relacionados a la alteración hidrotermal, los diferentes minerales y tipos de alteración hidrotermal presentes en el área de estudio. Para esto se ha tomado como base el mapa de alteraciones elaborado por Cornerstone a partir de muestras de campo.

Con el fin de realizar una mejor caracterización de las alteraciones hidrotermales dentro del área de la concesión, se tomaron 143 muestras para análisis con TerraSpec, y de estas se escogieron 35 para elaboración y estudio en lámina delgada.

#### **4.2 MARCO TEÓRICO**

##### **4.2.1 ALTERACIONES HIDROTHERMALES**

Se entiende como proceso de alteración hidrotermal al intercambio químico ocurrido durante una interacción fluido hidrotermal - roca. Esta interacción es producto de desequilibrio termodinámico entre ambas fases y conlleva a cambios químicos y mineralógicos en la roca afectada. En estricto rigor, una alteración hidrotermal puede ser considerada como un proceso de metasomatismo, dándose transformación química y mineralógica de la roca original en un sistema termodinámico abierto (Townley, 2006).

En la naturaleza se reconocen varios tipos de alteración hidrotermal, caracterizados por asociaciones de minerales específicos. Los distintos tipos de alteración e intensidad son dependientes de factores tales como composición del fluido hidrotermal, composición de la roca huésped, temperatura, pH, Eh, razón agua/roca y tiempo de interacción, entre otros (Townley, 2006).

A continuación se muestran los principales factores que controlan a la alteración hidrotermal de las rocas:

- **Temperatura:** mientras más caliente el fluido mayor será el efecto sobre la mineralogía original.
- **Composición del fluido:** mientras más bajo el pH (fluido más ácido) mayor será el efecto sobre los minerales originales.
- **Permeabilidad de la roca:** Una roca compacta e impermeable no podrá ser invadida fácilmente por fluidos hidrotermales para causar efectos de alteración. Sin embargo, los fluidos pueden producir disolución de minerales generando permeabilidad secundaria en ellas.
- **Tiempo y razón fluido/roca:** mientras mayor volumen de aguas calientes circulen por las rocas y por mayor tiempo, las modificaciones mineralógicas serán más completas.
- **Composición de la roca:** diferentes minerales tienen distinta susceptibilidad a ser alterados, sin embargo en alteraciones muy intensas la mineralogía resultante es esencialmente independiente del tipo de roca original.
- **Presión:** este es un efecto indirecto, pero controla procesos secundarios como la profundidad de ebullición de fluidos, fracturamiento hidráulico (generación de brechas hidrotermales) y explosiones hidrotermales.

La temperatura y composición del fluido hidrotermal son los más importantes factores para la mineralogía hidrotermal resultante en un proceso de alteración. Esto es relevante, porque las asociaciones de minerales hidrotermales nos dan indicios de las condiciones en que se formaron depósitos minerales de origen hidrotermal.

En base a estudios y diversos reconocimientos petrográficos y geoquímicos, esencialmente con aportes de Meyer y Hemley (1967), Rose y Burt (1979) se clasificó la alteración hidrotermal en diferentes tipos. A continuación se describen los principales:

- **Alteración Propilítica:** caracterizada principalmente por la asociación clorita-epidota, a veces puede tener también albita, calcita, pirita, con minerales accesorios como cuarzo-magnetita-illita. La alteración propilítica ocurre por lo general como halo gradado y distal de una alteración potásica, gradando desde actinolita-biotita en el contacto de la zona

potásica a actinolita-epidota en la zona propilítica. En zonas más distales se observan asociaciones de epidota-clorita-albita-carbonatos gradando a zonas progresivamente más ricas en clorita y zeolitas hidratadas formadas a bajas condiciones de temperatura. Esta alteración se forma a condiciones de pH neutro a alcalino con rangos de temperatura bajo (200°-250°C).

- **Alteración Filica (Cuarzo-Sericita):** caracterizada principalmente por un contenido significativo de cuarzo y sericita con minerales accesorios como clorita, illita y pirita. La alteración cuarzo-sericita ocurre en un rango de pH 5 a 6 con temperaturas sobre los 250°C. A temperaturas más bajas se produce illita (200°-250°C) o illita-esmectita (100°-200°C). A temperaturas sobre los 450°C, corindón aparece en asociación con sericita y andalusita.
- **Alteración Argílica:** caracterizada principalmente por arcillas kaolinita, illita y mayor o menor cuarzo. La alteración argílica a veces llamada argílica moderada o intermedia, ocurre en rangos de pH entre 4 y 5 y puede co-existir con la alunita en un rango transicional de pH entre 3 y 4. La kaolinita se forma a temperaturas bajo 300°C, típicamente en el rango <150°-200°C. Sobre los 300°C la fase estable es pirofilita. Los minerales que definen la alteración argílica son: arcillas del grupo del kaolín (kaolinita, dickita), illita, clorita, y poca sericita.
- **Alteración Argílica Avanzada:** existe una fuerte hidrólisis que da lugar a la formación de kaolinita, dickita, pirofilita, alunita, diásporo y cuarzo, en algunos casos existe abundante cuarzo residual (cuarzo oqueroso o “vuggy sílica”). La alteración argílica avanzada ocurre dentro de un amplio rango de temperatura pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5. A alta temperatura (sobre 350°C) puede ocurrir con andalucita además de cuarzo. Bajo pH 2 domina el cuarzo, mientras que alunita ocurre a pH sobre 2. La alunita puede originarse en variados tipos de ambientes, como producto de alteración por condensación de gases ricos en H<sub>2</sub>S, como producto de alteración supérgena, como producto de cristalización magmática/hidrotermal, o a lo largo de vetas y brechas hidrotermales de origen magmático. Los minerales del grupo del sílice (sílice opalina, cristobalita y tridimita) son los únicos minerales estables en fluidos de pH bajo (<pH 2) y ocurren en el ambiente superficial de un sistema

hidrotermal, típicamente a  $<100^{\circ}\text{C}$ . A pH más altos se forma sílice amorfo (Corbett y Leach, 1998).

- **Alteración Potásica:** alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico con la adición de potasio a las rocas. A diferencia de otros tipos de alteraciones esta no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango  $350^{\circ}$ - $550^{\circ}\text{C}$ , por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardimagmática. Se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de pórfidos.
- **Alteración Sódico-Cálcica:** Se caracteriza por una asociación de actinolita, albita, oligoclasa-andesina, epidota, magnetita, clorita, cuarzo, escapolita. Esta alteración fue identificada en las zonas de raíz del pórfido cuprífero de Yerrington (Nevada, USA), por Carten (1986). La alteración sódico-cálcica ocurre en la porción profunda de pórfidos cupríferos y se desarrolla en forma simultánea con la alteración potásica a niveles más altos. En muchos estudios los minerales que caracterizan la alteración sódico-cálcica se atribuían indistintamente a una alteración propilítica “de alta temperatura” y/o a alteración potásica.
- **Alteración Tipo Skarn:** corresponde a la transformación de rocas carbonatadas (calizas, dolomitas) a minerales calcosilicatados en zonas adyacentes a intrusivos. Se caracteriza por la presencia de granates (andradita y grosularita), wollastonita, epidota, diópsido, idocrasa, clorita, actinolita. Skarn es un término usado para designar rocas calcáreas metamorfizadas, pero su uso se ha generalizado para depósitos minerales relacionados a fenómenos de metamorfismo de contacto y metasomatismo ligados a intrusiones que cortan secuencias de rocas carbonatadas.
- **Alteración Tipo Greissen:** caracterizado por muscovita de grano grueso, feldespato y cuarzo, con o sin topacio y/o turmalina. Esta alteración esta principalmente asociado a fases pneumatolíticas en rocas graníticas, ocurre a temperaturas mayores de  $250^{\circ}\text{C}$ . Generalmente se presenta en las porciones apicales o cúpulas de batolitos graníticos, donde se atribuye a la acumulación de volátiles provenientes del magma.



Sillitoe (2010) menciona a la **alteración sericite-clay-chlorite** (sericita-arcillas-clorita) para designar a un tipo de alteración que se encuentra en la transición entre la alteración filica y propilítica, formando halos alrededor de la primera. Esta aparece en las partes superiores de las zonas centrales del pórfido cuprífero (es común sobre todo en depósitos ricos en Au). Los minerales que definen esta alteración son: clorita, sericita/illita, hematita, con presencia de minerales secundarios como carbonatos, epidota y esmectita.

Existen otras formas de clasificar las alteraciones hidrotermales, ya sea por mineral de alteración principal (ej.: sericitización, epidotización) o por metasomatismo principal (ej. cálcico-férrico, aluminio-potásico), pero estas son de poco uso.

Corbett y Leach (1998) presentan un diagrama de las asociaciones mineralógicas de alteración en sistemas hidrotermales en función de temperatura y pH (Fig. 4.1). Este diagrama fue utilizado como una guía para definir las zonas de alteración en base a los minerales de alteración encontrados en la concesión Caña Brava. Hay que destacar que aunque esta tabla fue desarrollada en 1998 aún tiene vigencia y ayuda a la identificación de las zonas de alteración hidrotermal de una manera práctica.



espectrómetro, una sonda con luz integrada, un cable de datos, un cable de fibra óptica, un cable de red y una computadora portátil exclusiva para el equipo (Foto 4.1).

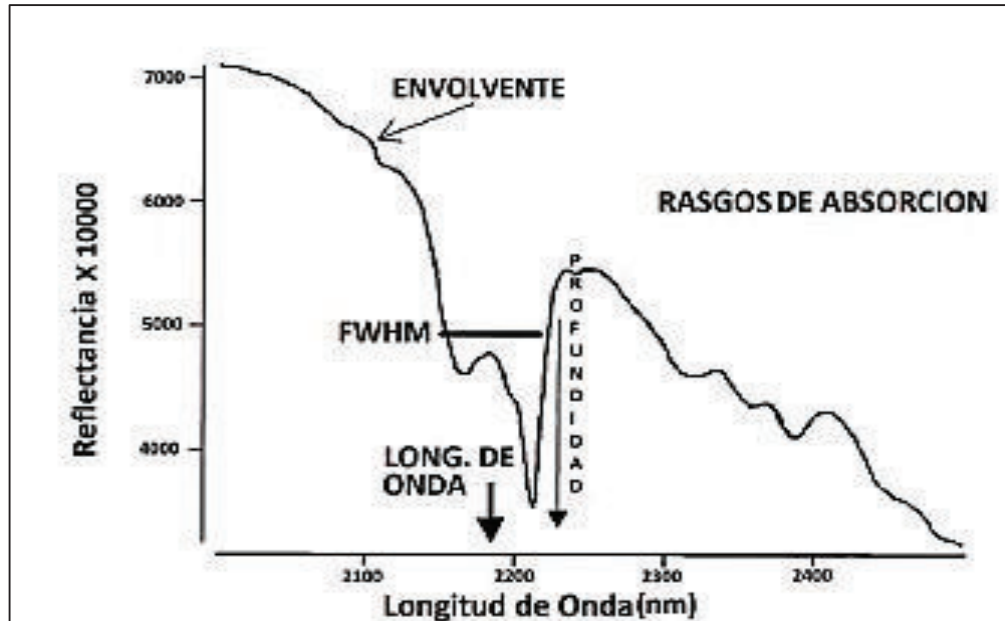
La espectroscopia de reflectancia es una técnica basada en la interacción entre la absorción y la reflexión de la energía, principalmente en las zonas del espectro electromagnético de la luz visible, la cercana a la infrarroja y la infrarroja de onda corta para analizar los materiales (ASD Inc, 2008).

El TerraSpec se utiliza para la determinación de los minerales de alteración hidrotermal (arcillas, cloritas, alunita, etc.) Éstos absorben energía debido a su estructura atómica, obteniéndose como resultado un espectro de reflectancia con rasgos distintivos de absorción para cada longitud de onda y para cada mineral o compuesto analizado (ASD Inc, 2008).



**Foto 4.1** Equipo TerraSpec con todos sus elementos: a) computadora incluida con el equipo b) espectrómetro c) sonda d) cables de datos, fibra óptica y red.

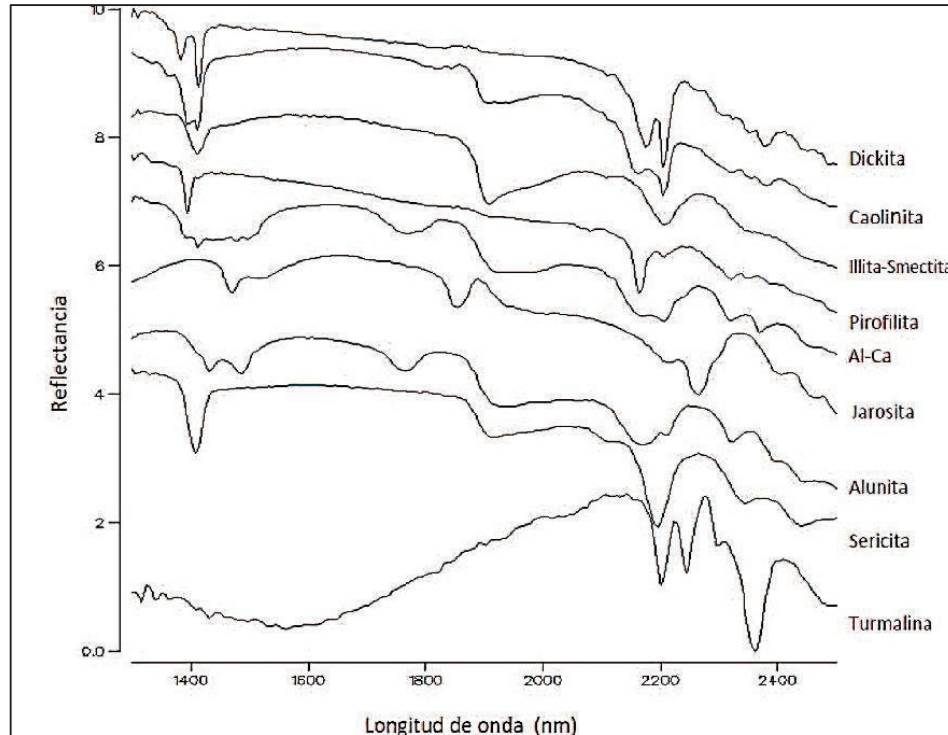
La espectrometría de reflectancia sirve como una herramienta para determinar los minerales de alteración en muestras individuales, sin embargo el criterio geológico para su correcta identificación es muy importante. A la forma general del espectro obtenido se le conoce como: perímetro exterior, envolvente, continuum o Hull (Fig. 4.2); es importante porque ayuda a identificar variaciones químicas de un mismo compuesto, entre otras características (Spectral International Inc, 2005).



**Fig. 4.2** Componentes de un espectro de reflectancia mostrando la envolvente, los medios máximos de la anchura completa (FWHM) de los rasgos de absorción y las profundidades de dichos rasgos. (Tomado de Spectral International Inc, 2005).

Una vez que se han obtenido los espectros de reflectancia de las muestras, se analizan los rasgos espectrales mediante el uso del software Specmin, de esta manera se determinan los minerales de alteración mediante la comparación con los espectros estándar para cada mineral (Fig.4.3).

Debido a que las diferentes zonas de alteración en un yacimiento mineral están definidas por asociaciones mineralógicas, es posible encontrar en un mismo espectro la combinación de los rasgos de absorción de dos o más minerales.



**Fig. 4.3** Espectros estándar de diferentes minerales de alteración. Se observa las diversas formas de los rasgos de absorción y su posición respecto al eje X (Longitud de onda nm), también se ve la forma general que presenta la envolvente (Ejemplos tomados Spectral International Inc, 2005).

### 4.3 TIPOS DE ALTERACIONES HIDROTERMALES PROPUESTAS EN EL MAPA DE CORNERSTONE

En base a estudio de campo e interpretaciones, la empresa Cornerstone determinó las siguientes alteraciones en la concesión: Potásica (POT), Fílica (PHY), Sericita-Clay-Clorita (SCC), Sílice-Argílica (SIL-ARG), Argílica (ARG), Argílica Avanzada (AA), Silicificación (SIL) y Propilítica (PRO) (Fig. 4.4 y Fig. 4.5).

**Alteración Potásica (POT):** se puede ver en unas pequeñas ventanas hacia el este del sector de la quebrada Caña Brava, donde esta alteración se encuentra afectando al intrusivo granodiorítico. Se ha evidenciado la presencia de biotita fina de coloración parda y magnetita parcialmente remplazadas por clorita restringido a zonas de estructuras y sin mineralización (Poma, 2015).



**Alteración Fílica (PHY):** presenta mayor distribución que la potásica y se relaciona principalmente a estructuras NNE-SSW. La mayor zona con este tipo de alteración se observa en la quebrada Caña Brava, junto al contacto de los volcanoclásticos con el intrusivo granodiorítico. En esta zona se ha observado localmente un stockwork de vetillas tipo D, aunque los resultados geoquímicos no muestran valores anómalos de mineralización. También se observó este tipo de alteración en la zona oeste, en la cual existen valores débilmente anómalos de Au-Cu-Mo (Poma, 2015). La alteración fílica tiene una estrecha relación con la presencia de turmalina.

**Alteración Sericita-Clay-Clorita (SCC):** se encuentra en la transición entre la alteración fílica y propilítica, formando halos alrededor de la primera. De acuerdo con Poma (2015) esta alteración fue identificada en sector de la quebrada Soroche y sector quebrada Caña Brava.

**Alteración Argílica Avanzada (AAR):** se presenta en tres sectores: quebrada Soroche, quebrada Caña Brava y sector Noreste. En los dos primeros sectores se caracteriza por silicificación moderada, presencia de dumortierita, pirofilita, alunita y kaolinita; mientras que en el sector Noreste existe mayor presencia de alunita. Es importante notar que en algunos sectores, la dumortierita ocurre como halos alrededor de la turmalina, lo cual indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración fílica (Poma, 2015).

**Alteración Sílice-Argílica (SIL-ARG):** es una denominación local planteada para las zonas donde la identificación de alunita y/o pirofilita puede ser difícil, y no existe la presencia de dumortierita (Poma, 2015). Esta alteración se presenta en la zona de la quebrada Caña Brava y en la zona Noreste.

**Alteración Argílica (ARG):** se caracteriza principalmente por la presencia de arcillas (illita) y silicificación débil, generalmente como halo de la alteración argílica avanzada o en las extensiones a lo largo del rumbo de otras alteraciones (Poma, 2015).

La alteración denominada **Silicificación Intensa (SIL)**, está caracterizada esencialmente por la presencia de abundante sílice en las rocas a las que afecta (todos los componentes de la roca han sido reemplazados totalmente por sílice),

aunque este tipo de alteración comúnmente se incluye dentro de la alteración argílica avanzada, Poma (2015) la considera en el mapa de Cornerstone de manera separada. Esta alteración se relaciona con brechas hidrotermales.

**Alteración Propilítica (PRO):** es la más amplia en la concesión, se caracteriza por la abundancia de clorita, con epidota y carbonato. Se observa la presencia de magnetita en rocas afectadas por esta alteración, sin embargo, esta corresponde a magnetita primaria de los volcanoclásticos, la cual ha sido preservada en este tipo de alteración y no se relaciona con la magnetita de tipo hidrotermal comúnmente asociada a la alteración potásica (Poma, 2015).

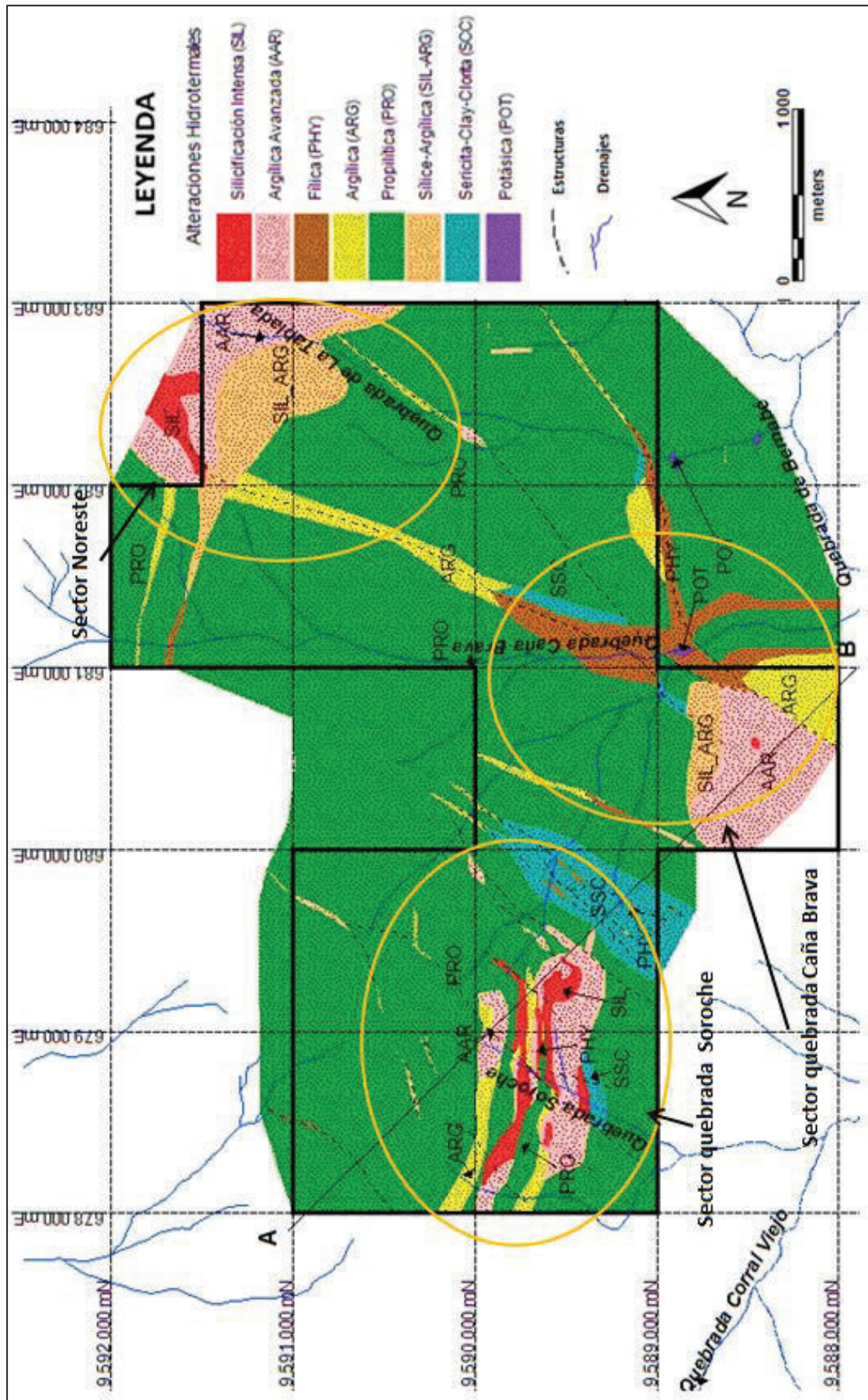
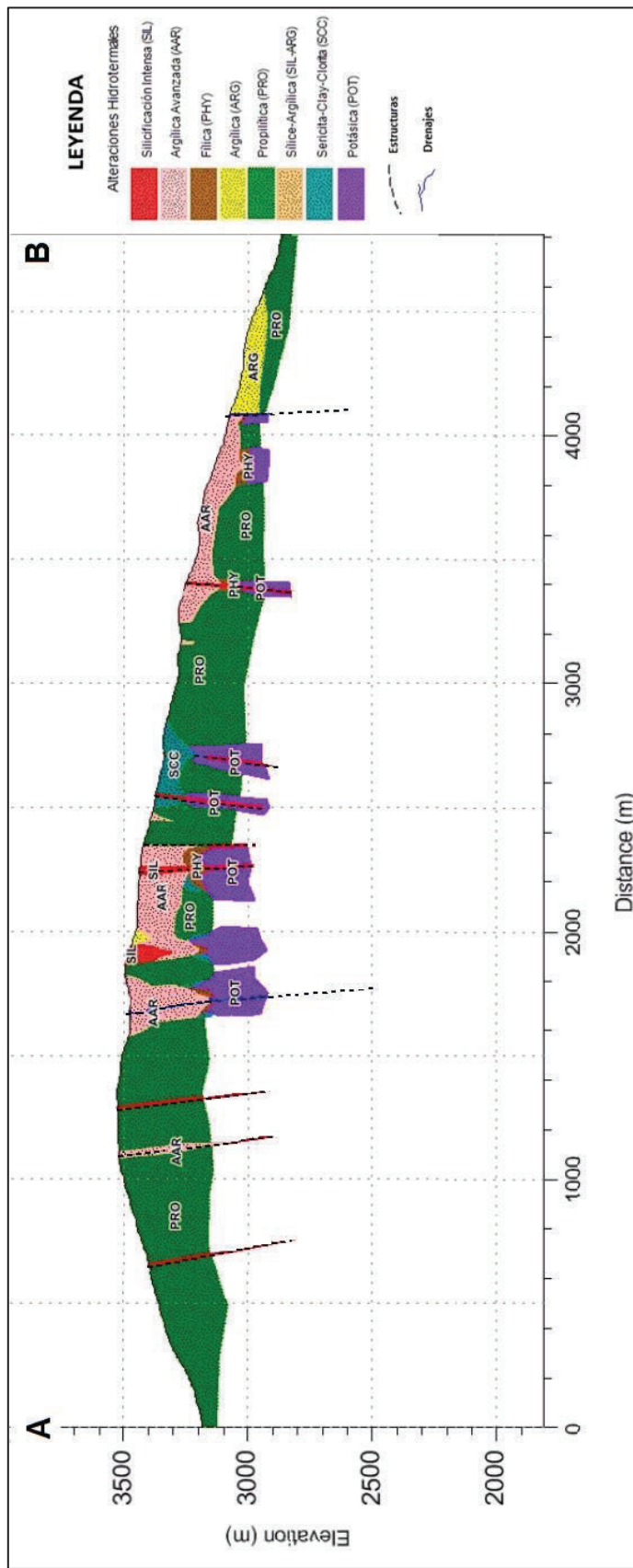


Fig. 4.4 Mapa de alteraciones de la concesión Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).



**Fig. 4.5** Sección NW-SE (A – B) mostrando la alteración de los sectores quebrada Soroché y quebrada Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).

## 4.4 ESTUDIO DE MUESTRAS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

### 4.3.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS CON TERRASPEC

Para el estudio con TerraSpec se recolectaron 143 muestras de rocas en las tres zonas donde se presentan las alteraciones hidrotermales de acuerdo con el mapa de Cornerstone (Sector Quebrada Soroche, Sector Quebrada Caña Brava y Sector Noreste). A través del análisis de espectroscopía con el equipo TerraSpec en las muestras recolectadas, se obtuvieron las curvas de los espectros de los minerales de alteración de 131 muestras, ya que 12 muestras no proporcionaron un espectro identificable.

Mediante el uso del programa Specmin se interpretó cada uno de los espectros obtenidos con el equipo TerraSpec determinando así los diferentes minerales de alteración presentes en la concesión minera Caña Brava (Anexo 4.1).

A continuación se detallan los minerales obtenidos y su ubicación dentro de la zona de estudio (Fig. 4.6):

- El mineral más abundante en todas las interpretaciones de los espectros corresponde a la illita, la cual se presenta en los sectores de la quebrada Soroche, quebrada Caña Brava y en la zona Noreste (Fig. 4.7 a).
- La turmalina es identificada como el segundo mineral más abundante y está en la zona de la quebrada Soroche y hacia el occidente en el sector de la quebrada Caña Brava. (Fig. 4.7 d).
- La kaolinita, pirofilita y alunita presentan una abundancia similar, y a excepción de la pirofilita que no se presenta en la zona de la quebrada Caña Brava, estos minerales aparecen en las tres zonas muestreadas: quebrada Soroche, Caña Brava y sector Noreste. (Fig. 4.7 b; Fig. 4.8 d; Fig. 4.7 c)
- En menor proporción en comparación con los anteriores, la presencia de dickita, sericita y clorita es muy escasa en el área de la concesión. (Fig. 4.8 c; Fig. 4.8 b; Fig. 4.8 a)



Esta interpretación y localización de minerales es realizada solo con el equipo TerraSpec, aquí no se ha tomado en cuenta asociaciones minerales y el estudio en láminas delgadas.

La presencia de minerales del grupo de las arcillas indica no solo fases hidrotermales, sino también meteorización de diversos minerales, así por ejemplo la illita secundaria se puede presentar como resultado de meteorización de rocas que contienen sericita (Ordóñez, 2013).

Los resultados de TerraSpec presentan una amplia distribución de minerales de alteración característicos de alteraciones argílica avanzada, argílica y filica en toda el área de la concesión. El predominio de illita y pirofilita en el sector de la quebrada Soroche y quebrada Caña Brava, podría sugerir un nivel profundo de erosión de la alteración argílica avanzada cerca al sistema pórfido, siendo la illita interpretada como un relicto de la alteración argílica. Mientras que en el sector Noreste predomina la presencia de Alunita, indicando un ambiente de alta sulfuración. (Poma, 2015).

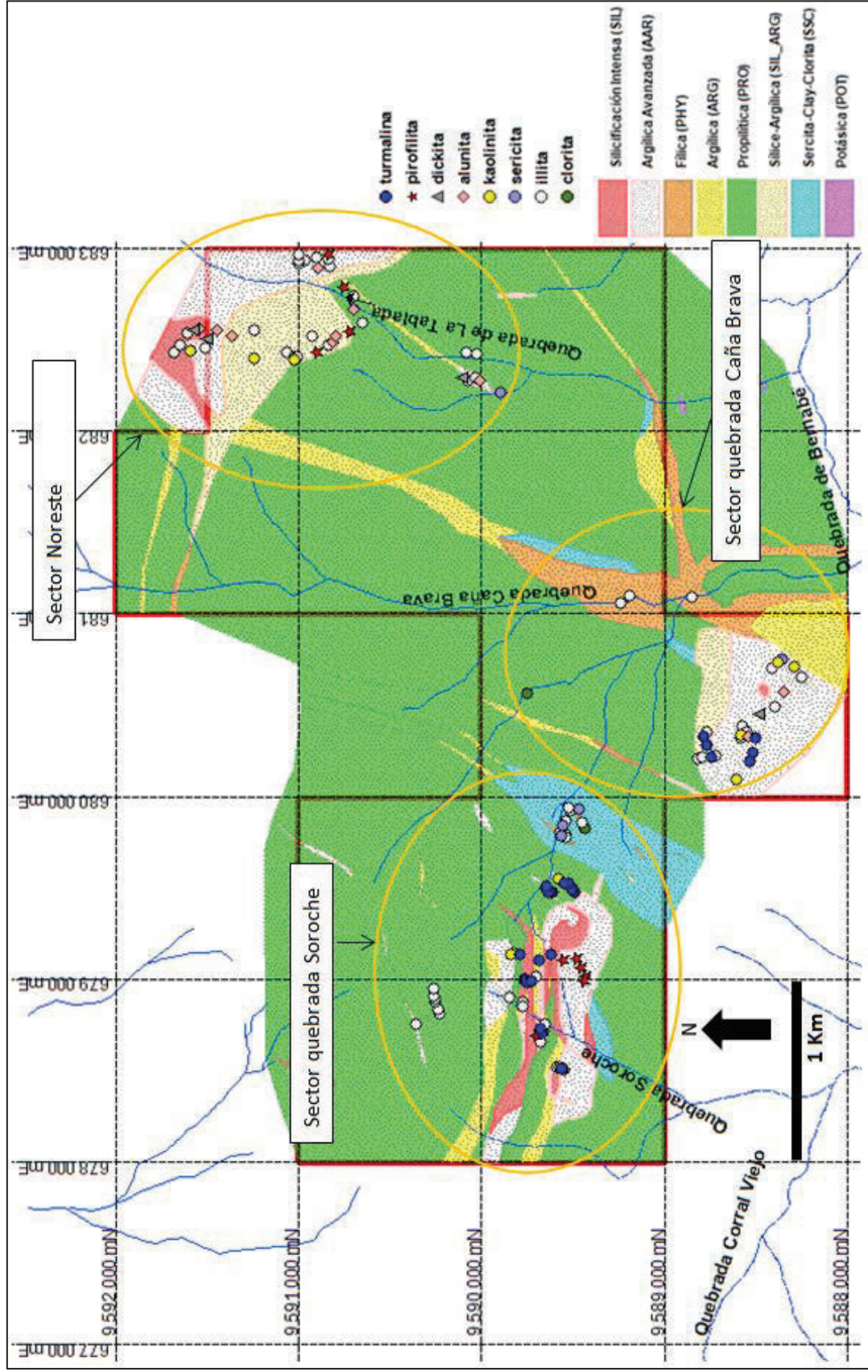
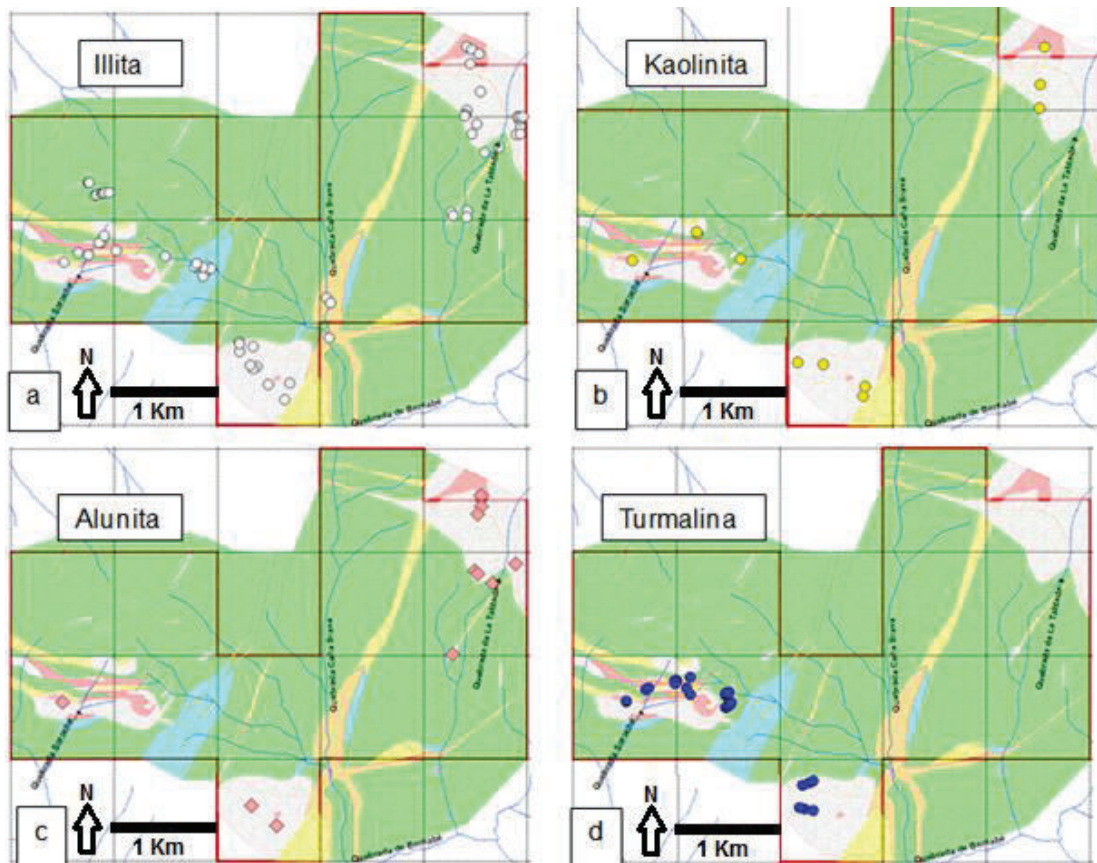
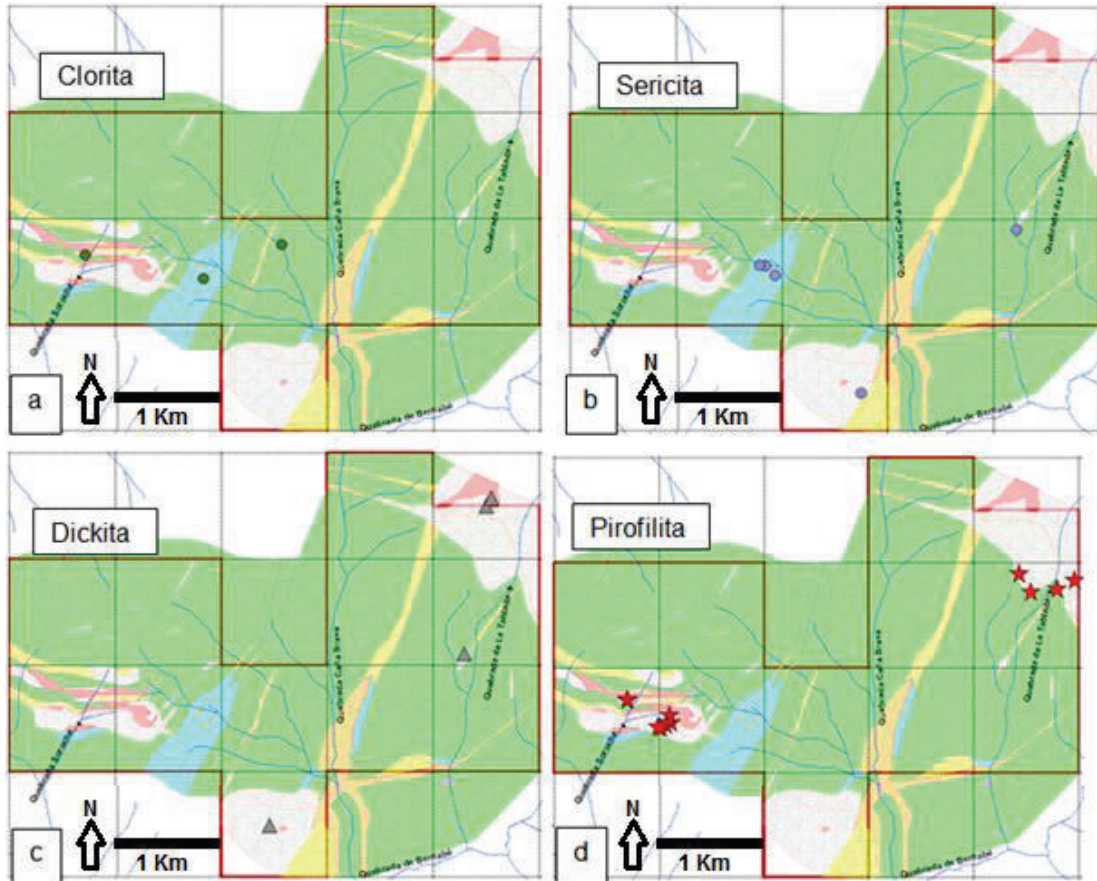


Fig. 4.6 Minerales de alteración determinados mediante la interpretación de espectros obtenidos con el equipo TerraSpec en muestras de la concesión Caña Brava.



**Fig. 4.7** Minerales de alteración determinados con el estudio de espectros obtenidos con TerraSpec en la concesión Caña Brava. a) distribución illita b) distribución kaolinita c) distribución alunita d) distribución turmalina. (Ver leyenda en Fig. 4.6).



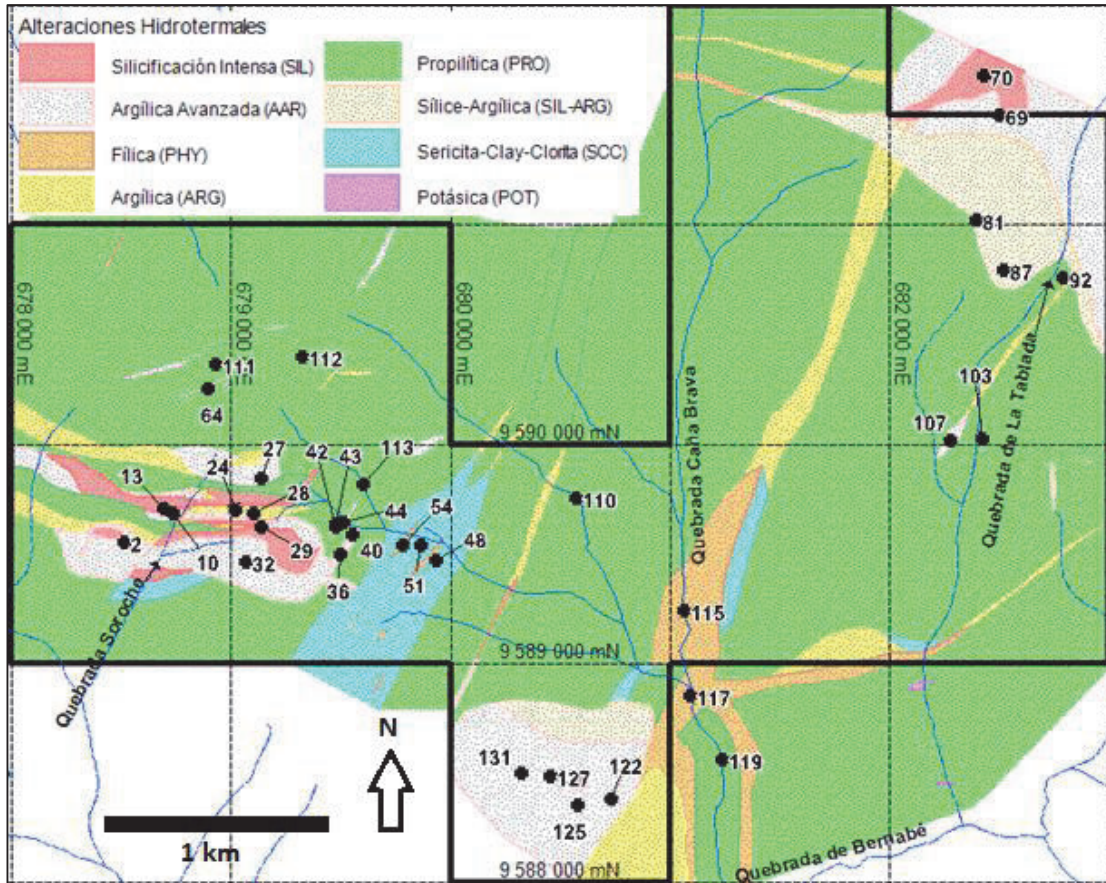


**Fig. 4.8** Minerales de alteración determinados con el estudio de espectros obtenidos con TerraSpec en la concesión Caña Brava. a) distribución clorita b) distribución sericita c) distribución dickita d) distribución pirofilita. (Ver leyenda en Fig. 4.6).

#### 4.3.2 RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ALTERACIÓN EN LÁMINAS DELGADAS

Se elaboraron 35 láminas delgadas (Anexo 4.3) a las cuales previamente se hizo análisis con TerraSpec en muestras de mano.

A continuación se describen las principales observaciones realizadas en el estudio petrográfico de las láminas delgadas representativas para el estudio de la alteración hidrotermal. Las muestras descritas fueron tomadas en zonas donde Cornerstone identificó los diferentes tipos de alteración dentro del área de la concesión (Fig. 4.9).

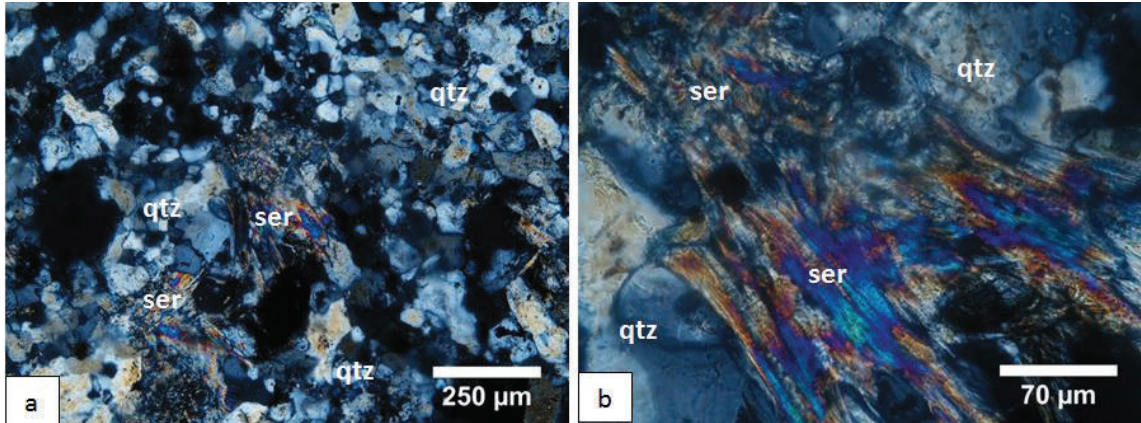


**Fig. 4.9** Localización de muestras recolectadas dentro de la concesión Caña Brava para realización y estudio de láminas delgadas.

#### 4.3.2.1 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Fílica

En la muestra WM 48 se observa perfectamente la asociación cuarzo-sericita típica de la alteración fílica de acuerdo al cuadro de Corbett y Leach (1998) (Fig. 4.1); esta afecta a una toba dacítica en la parte oriental de la zona de la quebrada Sorocha. La sericita se presenta como agregados microcristalinos de forma escamosa de relieve moderado y birrefringencia fuerte, mientras que el cuarzo tiene una forma cristalina subhedral (Foto 4.2).

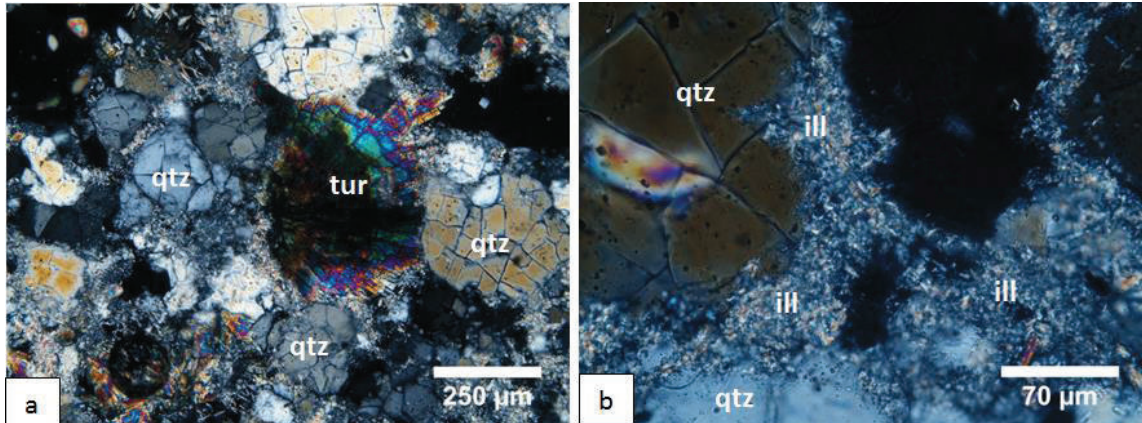




**Foto 4.2** Lámina de muestra WM 48 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración filica a) agregados de sericita (ser) en matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino (qtz), aumento de 10X b) sericita (ser), con aumento de 40X.

Un análisis de lámina delgada en una toba dacítica, muestra WM 54, permite visualizar cristales de cuarzo primario (magnético) de la toba dacítica, los cuales presentan fracturas. Entre cristales de cuarzo hidrotermal se ven pequeños cristales tabulares de turmalina esparcidos en la lámina, estos son de color verde pálido, con relieve alto y tienen birrefringencia fuerte (Foto 4.3a), la existencia de turmalina es típica en alteración filica (Sillitoe, 2010). La illita se ha identificado gracias a TerraSpec, esta se encuentra de forma criptocristalina muy pequeña, únicamente visible con el lente de mayor aumento (40X), es incolora, con relieve bajo y birrefringencia moderada.

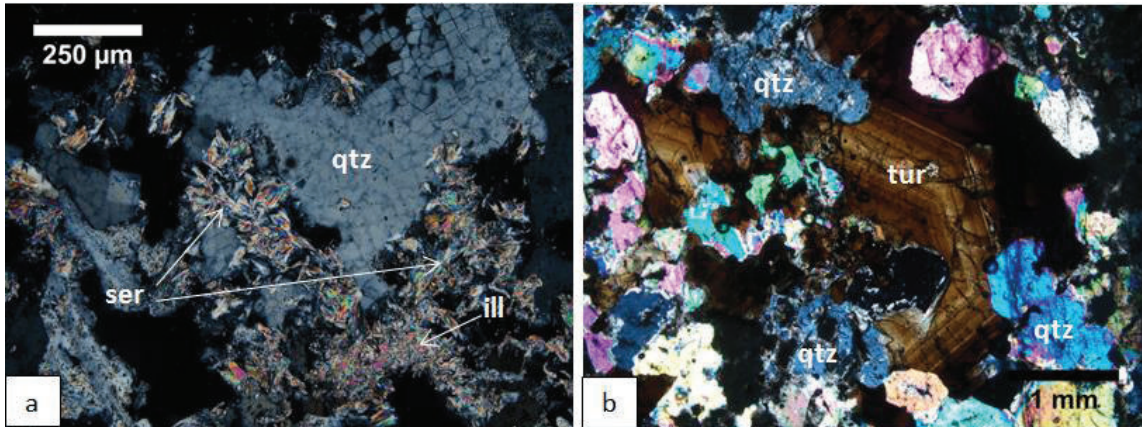
Corbett y Leach (1998) manifiestan que la sericita es una muscovita de grano fino que puede contener algo de illita y es transicional entre la illita y muscovita bien cristalizada. Esto explica la presencia de illita en muestras tomadas en zonas de alteración filica en la concesión (Foto 4.3b).



**Foto 4.3** Lámina de muestra WM 54 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración filica a) cristales tabulares de turmalina (tur) junto a cristales de cuarzo primario (qtz), aumento de 10X b) masas criptocristalinas de illita (ill), junto a un cristal fragmentado de cuarzo (qtz), aumento de 40X.

En el estudio petrográfico de lámina delgada de la muestra de granodiorita WM 117 se ven pequeños cristales de sericita en forma de escamas alargadas e incoloras con relieve bajo y con fuerte birrefringencia (Foto 4.4a), cristales grandes de turmalina con coloración pardo-verdosa que presentan pleocroísmo (Foto 4.4b), cristales fracturados de cuarzo incoloros con forma subhedral y relieve bajo son observados junto a la sericita (Foto 4.4a). Se ha determinado la presencia de illita con ayuda de TerraSpec, esta aparece en masas criptocristalinas entre los cristales de cuarzo, es muy pequeña y casi no se la puede observar con el microscopio.

A causa de la alteración se ha formado una matriz de arcillas y cuarzo secundario microcristalino, el mismo que presenta unos colores de interferencia altos debido al grosor de la lámina delgada. La muestra fue tomada de un afloramiento mapeado como alteración potásica en el mapa de Cornerstone. Sin embargo en base a las observaciones ya descritas se concluye que esta muestra tiene una mejor correspondencia con alteración filica.



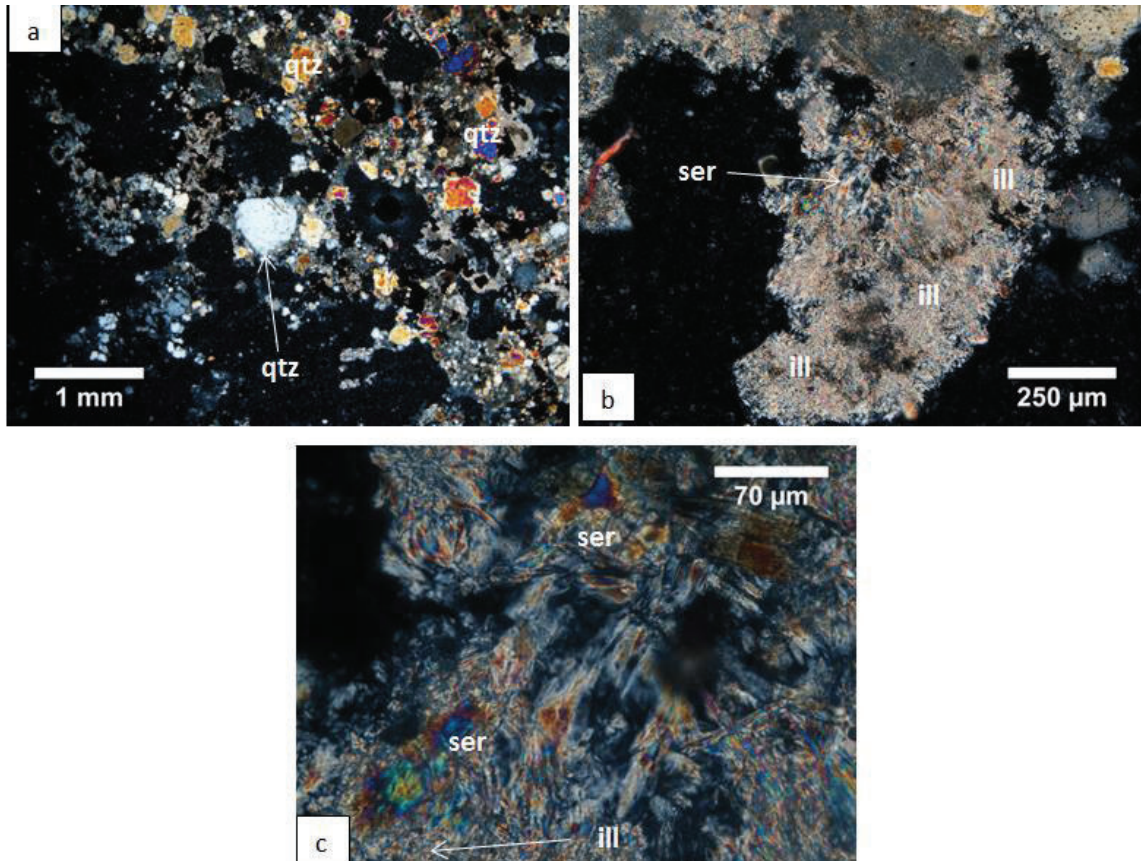
**Foto 4.4** Lámina de muestra WM (Nícoles cruzados), correspondiente a una granodiorita con alteración fílica a) cristales de sericita agrupados (ser), tienen forma escamosa, están entre un cristal fragmentado de cuarzo primario (qtz) y masas criptocristalinas de illita (ill), aumento de 10X b) cristal grande de turmalina cortado de manera transversal (tur), razón por la cual no se ve su forma alargada (se puede notar zonación y un borde hexagonal) está rodeado por cuarzo secundario microcristalino (qtz), el alto color de birrefringencia en el cuarzo se debe al grosor de la lámina delgada, aumento de 2.5X

#### 4.3.2.2 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Sericita-Clay-Clorita

En la muestra WM 51, correspondiente a una toba dacítica, se puede observar fragmentos de cuarzo primario y cuarzo secundario junto a minerales arcillosos, que mediante análisis con TerraSpec se interpretó como illita, el cuarzo secundario se presentan como cristales esparcidos en la lámina, con relieve bajo y forma subhedral, mientras la illita está en masas criptocristalinas con relieve bajo y fuerte birrefringencia. (Foto 4.5a y 4.5b).

La illita suele presentarse junto a sericita en forma transicional (Corbett y Leach, 1998), esto se puede evidenciar en la misma muestra al realizar un aumento a 40X, donde se puede ver unos pocos cristales alargados de sericita junto a masas criptocristalinas de illita (Foto 4.5 c). No se encontró clorita en esta lámina, posiblemente debido a que la muestra recolectada no presentaba este mineral o este se disipó durante la elaboración de la lámina, sin embargo se ha considerado como alteración Sericita-Clay-Clorita debido a la abundancia de arcillas y a la presencia de sericita-cuarzo en la muestra.





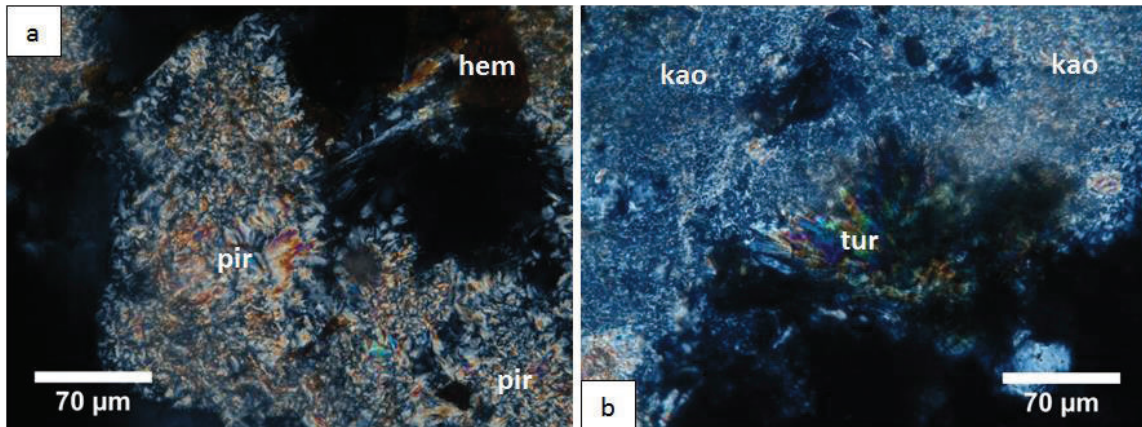
**Foto 4.5** Lámina de muestra WM 51 (Nícoles cruzados), una toba dacítica que se encuentra en la zona de transición entre alteración fílica y propilítica a) en el centro se ve un cristal subredondeado de cuarzo primario de la toba dacítica (qtz), mientras en matriz hay cuarzo secundario microcristalino (qtz) junto a arcillas (illita), aumento de 2.5X b) masas microcristalinas de illita esparcidas en la lámina (ill), aumento de 10X c) cristales alargados de sericita (ser) junto a illita (ill), aumento de 40X.

#### 4.3.2.3 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Argílica Avanzada

La lámina de la muestra WM 13 es una toba andesítica, en la que se puede ver pirofilita que es común en la alteración argílica avanzada (Fig. 4.1) en forma de agregados microcristalinos en toda la lámina, es incolora, con relieve moderado y fuertes colores de interferencia, posiblemente se formó como producto de alteración de feldespatos (Foto 4.6 a).

En otra lámina, obtenida de la muestra WM 40 (toba dacítica), se puede apreciar kaolinita, también común en alteración argílica avanzada, que se ha determinado con ayuda de TerraSpec. En lámina delgada está caracterizada por un color

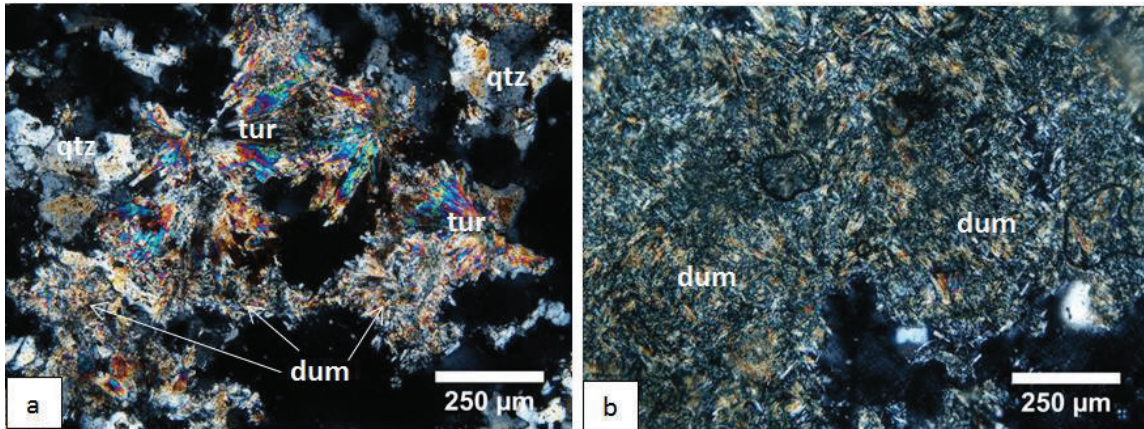
amarillo pálido con aspecto terroso, en masas criptocristalinas, con un relieve bajo y débil birrefringencia. Junto a la kaolinita se encuentran unos agregados cristalinos tabulares de color verde azulado correspondientes a turmalina que presenta pleocroísmo y altos colores de interferencia (Foto 4.6b), la presencia de turmalina es interpretada como relicto debido a una sobreimpresión de la alteración avanzada sobre alteración flica, que es donde aparece la turmalina normalmente.



**Foto 4.6** a) Lámina de muestra WM 13 (Nícoles cruzados), toba andesítica afectada por alteración argílica avanzada en donde se ve agregados finos de pirofilita (pir) junto hematita (hem), aumento de 40X b) Lámina de muestra WM 40 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, en el centro de la lámina se ven cristales de turmalina (tur) y hacia la parte superior está rodeado por masas criptocristalinas de kaolinita (kao), aumento de 40X.

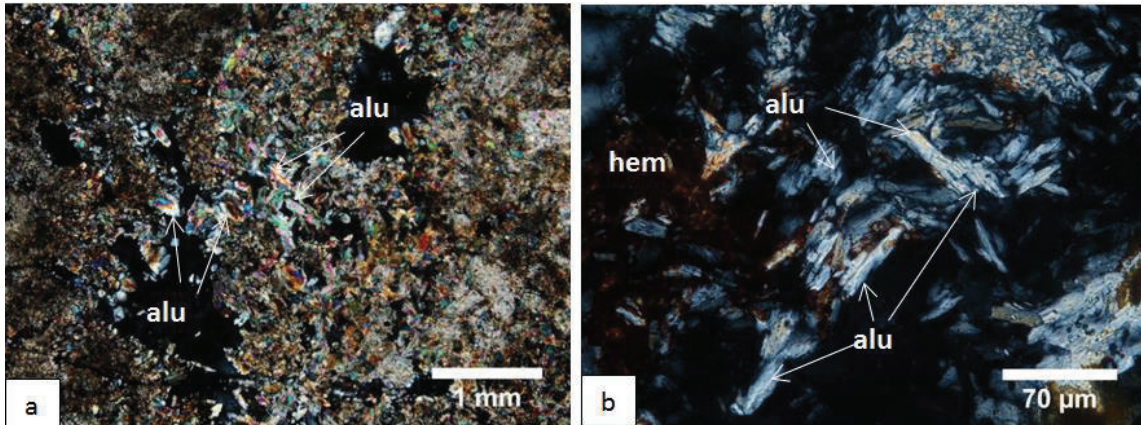
Varias de las muestras afectadas por alteración argílica avanzada en el sector de la quebrada Soroche tienen la presencia de dumortierita que se presenta como halos alrededor de la turmalina (turmalina se transforma a dumortierita por efecto de la alteración argílica avanzada) como se ve en la lámina WM 36 (toba dacítica), en donde se aprecian cristales de turmalina que se están transformando a masas microcristalinas de dumortierita en sus bordes (Foto 4.7a). Para el caso de la lámina WM 29 (toba riolítica) se observan masas de cristales aciculares de dumortierita que presentan un color de interferencia amarillo de segundo orden y débil birrefringencia (Foto 4.7 b).





**Foto 4.7** a) Lámina de muestra WM 36 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, en la que se observan cristales de turmalina (tur) alterándose a dumortierita (dum), rodeados por cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X b) Lámina de muestra WM 29 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica avanzada, en la foto se muestra un fragmento de lítico de la toba (cubre la mayor parte de la lámina) en que cual se puede apreciar que la turmalina que tenía la roca se ha transformado completamente a dumortierita (dum), aumento de 10X.

En la zona de la quebrada Caña Brava y sector Noreste se ha observado la presencia de alunita. Al analizar las láminas de las muestras WM 107 (sector Noreste) y WM 125 (sector Caña Brava) correspondientes a tobas dacíticas, se aprecia como la alunita se encuentra diseminada entre el cuarzo secundario microcristalino y en los vacíos, esta tiene forma tabular delgada en algunos cristales, pero la mayoría es microcristalina, presenta birrefringencia moderada con colores de interferencia azul y naranja. (Foto 4.8). La alunita aparece dentro de la alteración argílica avanzada (Fig. 4.1).

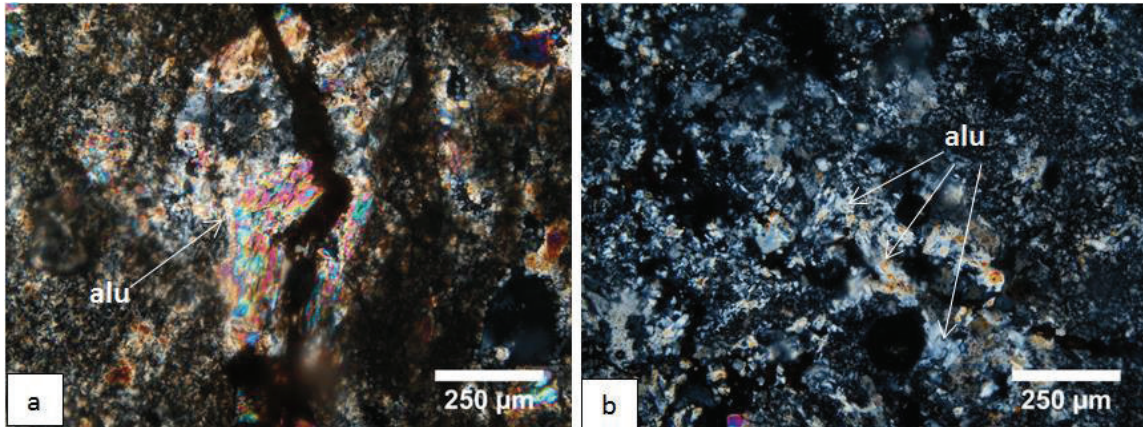


**Foto 4.8** a) Lámina de muestra WM 125 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada en la que se ven agregados finos de alunita (alu) en una matriz de cuarzo secundario microcristalino y arcillas, aumento de 2.5X b) Lámina de muestra WM 107 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada, la lámina presenta alunita (alu) en forma de cristales tabulares y en agregados junto a un agregado de hematita (hem) a la izquierda, aumento de 40X.

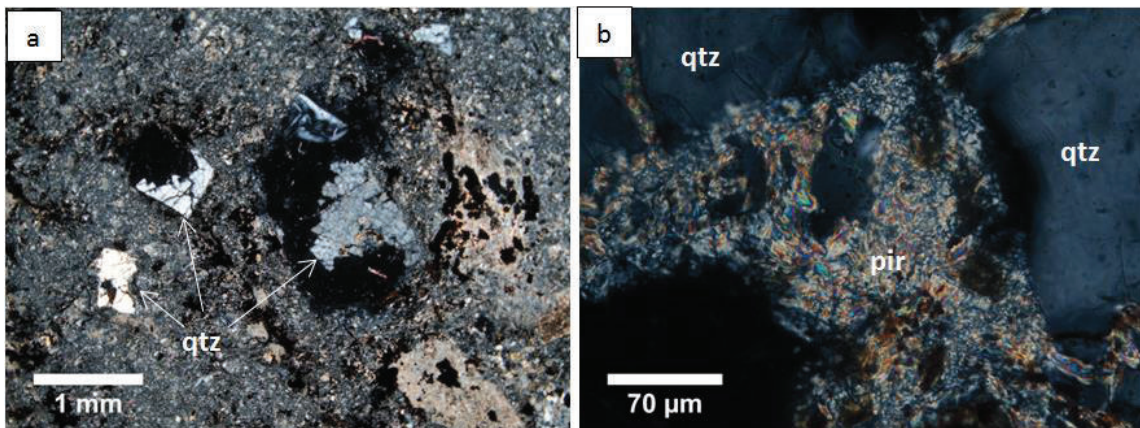
#### 4.3.2.4 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Sílice-Argílica

Como ya se había mencionado esta alteración corresponde a una denominación local en donde no se ha determinado la presencia de dumortierita, pero sí existe alunita y pirofilita. Las muestras analizadas con estudio petrográfico de microscopio corresponden a dos tobas dacíticas en el sector Noreste, en la muestra WM 87, alunita se presenta entre el cuarzo secundario microcristalino (Foto 4.9). En la muestra WM 92 se ve la presencia de pirofilita en forma agregados criptocristalinos con relieve moderado y fuerte birrefringencia, está diseminada en la matriz junto a cristales de cuarzo primario fragmentados (de la toba dacítica) (Foto 4.10).





**Foto 4.9** Lámina de muestra WM 87 (Nícoles cruzados), correspondiente a una toba dacítica afectada por alteración sílice-argílica a) masas de alunita (alu) dentro de matriz de cuarzo secundario microcristalino, aumento de 10X b) cristales tabulares de alunita (alu) junto cuarzo hidrotermal de la matriz diseminado en la lámina, aumento de 10X.

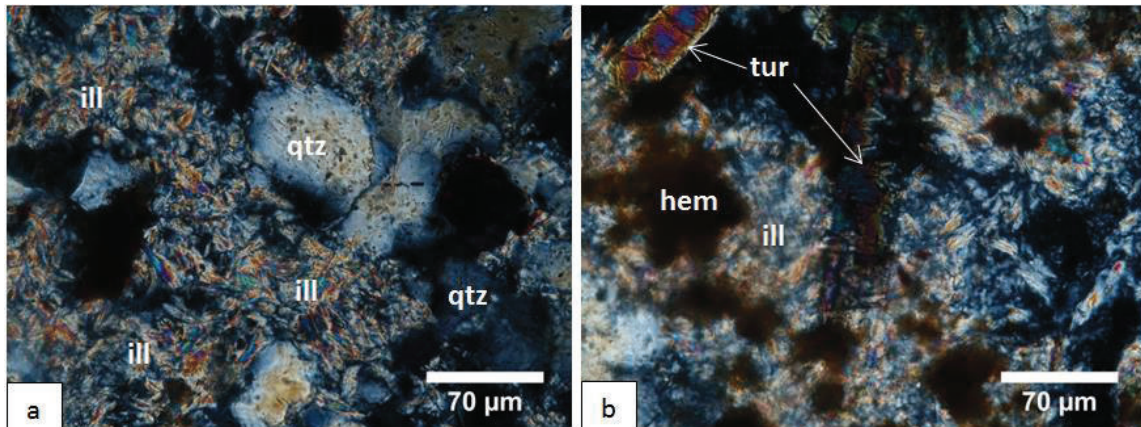


**Foto 4.10** Lámina de muestra WM 92 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración sílice-argílica a) cristales de cuarzo magmático fragmentados (qtz) dentro de una matriz de cuarzo secundario microcristalino, rodeado por masas de pirofilita, aumento de 2.5X b) masas criptocristalinas de pirofilita (pir), aumento de 40X.

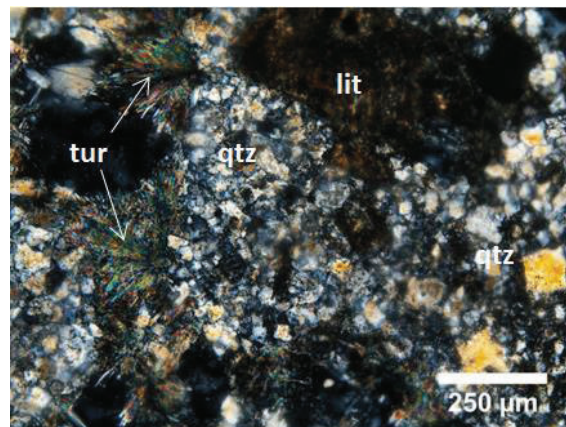
#### 4.3.2.5 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Argílica

Arcillas como la illita son comunes en este tipo de alteración (Corbett y Leach, 1998) (Fig. 4.1), illita tiene una coloración de parda amarillenta a incolora y se presenta en masas criptocristalinas entre cristales de cuarzo, en la lámina WM 24 (toba riolítica), se ven algunas escamas irregulares de illita (determinado con TerraSpec), con relieve bajo y fuerte birrefringencia (Foto 4.11a). En esta alteración se ha observado también algunos cristales de turmalina (Foto 4.11b), esto indicaría que existió una sobreimpresión de la alteración argílica sobre la filica. En

la muestra WM 28 se observa turmalina en forma agregados cristalinos, dispuestos en forma de agujas alargadas orientados radialmente, estos poseen un color gris azulado a verdoso, con alto relieve, y alterándose a dumortierita en los bordes (Foto 4.12).



**Foto 4.11** Lámina de muestra WM 24 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica, a) masas de illita (ill) que tienen una forma escamosa, entre cuarzo secundario microcristalino (qtz), aumento de 40X b) un cristal de turmalina (tur) en el centro y otro en la parte superior izquierda rodeados por illita (ill) y un agregado de hematita (hem) en la parte izquierda de la foto, aumento de 40X.

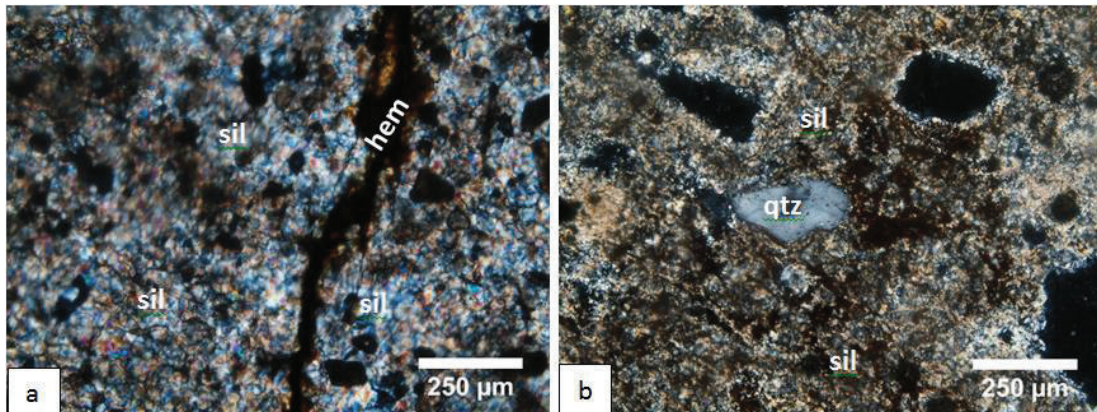


**Foto 4.12** Lámina de muestra WM 28 (Nícoles cruzados), toba riolítica afectada por alteración argílica, se ven agregados cristalinos radialmente orientados de turmalina (tur) junto a un fragmento lítico (lit) que presenta minerales máficos, en la parte superior derecha, rodeados por matriz de cuarzo secundario (qtz) microcristalino, aumento de 10X.



#### 4.3.2.6 Análisis de muestras tomadas en zonas de Silicificación Intensa

Otra denominación local según el mapa de Cornerstone es la silicificación intensa que podría ser parte de la argílica avanzada. Una fuerte silicificación se puede ver en las láminas WM 64 y WM 70 (Foto 4.13) que corresponden a tobas afectadas por este tipo de alteración.

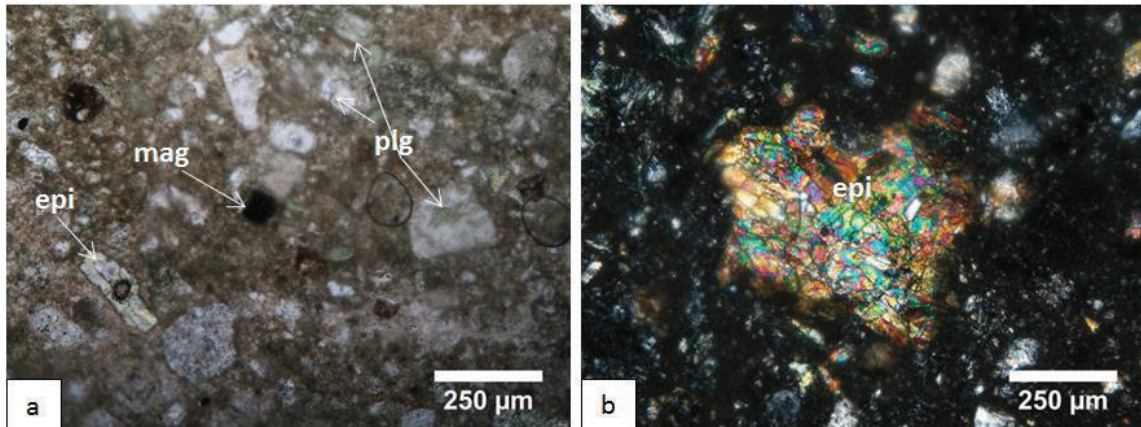


**Foto 4.13** a) Lámina de muestra WM 64 (Nícoles cruzados), toba silicificada intensamente como producto de alteración argílica avanzada, se ve sílice (sil) con fracturas rellenas con hematita (hem), aumento de 10X b) Lámina de muestra WM 70 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración argílica avanzada con silicificación intensa, en el centro de la foto se observa un cristal de cuarzo primario de la toba dacítica (qtz), rodeado por una matriz de sílice (sil) y arcillas producto de la alteración, aumento de 10X.

#### 4.3.2.7 Análisis de muestras tomadas en zonas de Alteración Propilítica

En el análisis petrográfico de lámina delgada WM 110 en una toba andesítica, podemos ver un pequeño cristal opaco de color negro e isotrópico que corresponde a magnetita (Foto 4.14 a), también se observa la presencia de epidota como producto de alteración de anfíbol, piroxeno y plagioclasas cálcicas, ésta presenta un color verde pálido, pleocroísmo, relieve alto y fuerte birrefringencia (Foto 4.14 b).

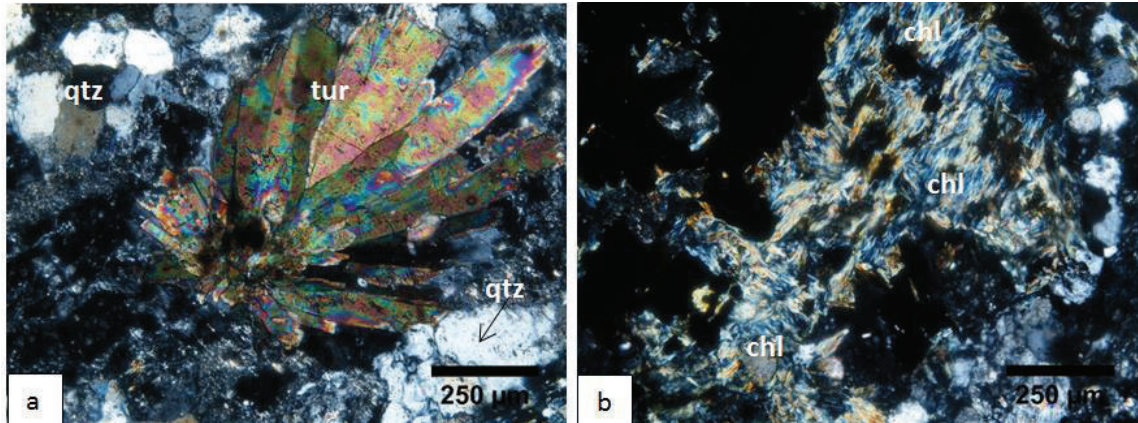




**Foto 4.14** Lámina de muestra WM 110, toba andesítica afectada por alteración propilítica

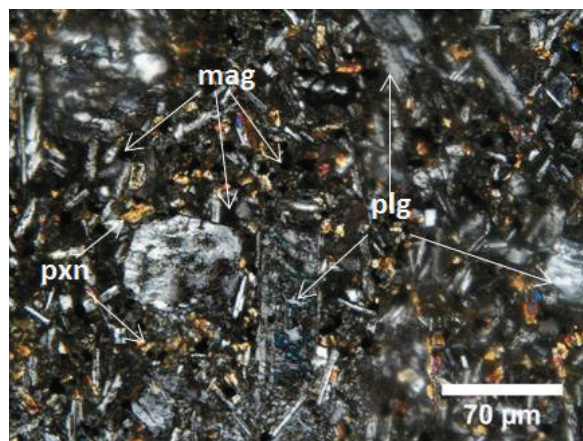
a) Pequeño cristal opaco de magnetita color negro (mag), hacia la izquierda se ve un relicto de anfíbol alterándose a epidota (epi), y también se ven plagioclasas alteradas dispersas (plg), (Nícoles paralelos), aumento de 10X. b) relicto de piroxeno alterado a epidota (epi), (Nícoles cruzados), aumento de 10X.

En el análisis de la muestra WM 113 (toba dacítica) se encontró la presencia de clorita y epidota que son minerales típicos de la alteración propilítica (Corbett y Leach, 1998) (Fig. 4.1), pero además se vio cristales de turmalina. La existencia de cristales de turmalina es interpretada como posibles relictos de alteración filica que fue sobreimpuesta por alteración propilítica. Los cristales de turmalina son tabulares orientados radialmente, color verde azulado, presentan pleocroísmo y relieve alto (Foto 4.15a), la presencia de masas diseminadas de clorita es producto de la alteración de biotita y anfíboles, presentan color verde pálido-amarillo, relieve moderado y birrefringencia débil. (Foto 4.15b).



**Foto 4.15** Lámina de muestra WM 113 (Nícoles cruzados), toba dacítica afectada por alteración propilítica a) cristales tabulares de turmalina (tur) dispuestos en forma radial rodeados por cuarzo secundario microcristalino, posiblemente asociados a alteración filica que fue sobreimpuesta por alteración propilítica, aumento de 10X. b) masa escamosa de clorita (chl) con relieve moderado y birrefringencia débil, aumento de 10X.

La alteración propilítica también afecta a las lavas andesíticas que se ubican en el tope de la secuencia litológica, en la parte oeste de la concesión, como se observa en la muestra WM 111 en donde se pueden ver plagioclasas alteradas junto a los pequeños cristales de minerales ferromagnesianos, posiblemente piroxenos alterados a epidota. También se observó la presencia de magnetita diseminada en la muestra (Foto 4.16).



**Foto 4.16** Lámina de muestra WM 111 (Nícoles cruzados), lava andesítica afectada por alteración propilítica, se observan plagioclasas (plg) y pequeños cristales de minerales ferromagnesianos (piroxenos) (pxn) entre la matriz, además de la presencia de magnetita, aumento de 40x.

## **4.4 TIPOS DE ALTERACIONES IDENTIFICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

En base a los resultados del análisis de las muestras con TerraSpec y al estudio de láminas delgadas se han caracterizado los tipos de alteraciones que fueron identificados en el mapa de alteraciones hidrotermales de Cornerstone. Para esto se describe las tres zonas en donde aparecen las alteraciones: sector de la quebrada Soroche, sector de la quebrada Caña Brava y sector Noreste. En el Anexo 4.2 se expone un listado de minerales identificados a través de descripción de muestras de mano, láminas delgadas y análisis con TerraSpec, en la concesión minera Caña Brava, junto a su respectiva fórmula química. Este cuadro nos permite ver las relaciones en la composición química entre los minerales no alterados y los de alteración hidrotermal.

### **4.4.1 SECTOR QUEBRADA SOROCHE**

Las asociaciones minerales de kaolinita-pirofilita-dumortierita encontradas en este sector indican una alteración argílica avanzada dominante; en las láminas de las muestras WM13 y WM 29 se encontró pirofilita y dumortierita respectivamente, lo cual encaja en la alteración argílica avanzada. La muestra WM 64, que pertenece también a alteración argílica avanzada, presenta una silicificación intensa. En la figura 4.10 podemos ver como se relacionan espacialmente las muestras estudiadas con las alteraciones descritas por Cornerstone. Hay que mencionar que de acuerdo al TerraSpec algunas muestras tomadas en zonas de alteración argílica avanzada tenían illita, esto es interpretado como un relicto a la alteración argílica.

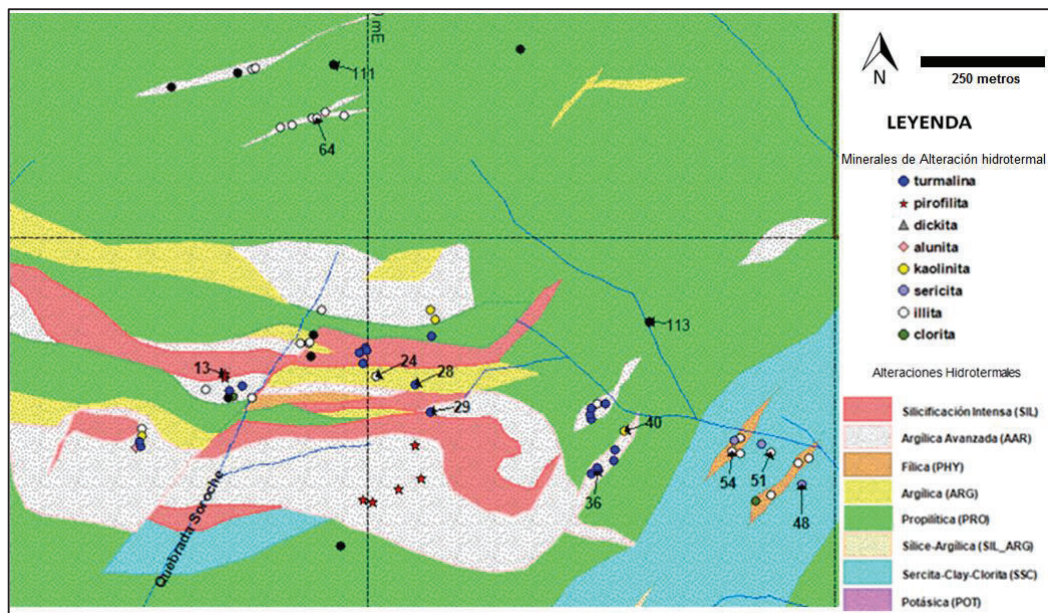
Se detectó la presencia de sericita-cuarzo-turmalina en algunas muestras, lo cual nos indica zonas de alteración filica; las láminas WM 48, WM 51 y WM 54 tienen una relación cuarzo-sericita evidenciando la alteración filica.

La turmalina, aunque es típica de alteración filica, se ve en éstas zonas de alteración argílica avanzada; las muestras WM 36 y WM 40 tienen relictos de turmalina y esto se interpreta como una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica.



En zonas con alteración argílica se identificó abundante illita y cuarzo hidrotermal. El análisis de las muestras WM 24 y WM 28 muestran la presencia de illita y algunos cristales de turmalina. La illita es consistente con la alteración argílica, y los relictos de turmalina, al igual que en la alteración argílica avanzada, se interpreta como una superposición, en este caso, de alteración argílica sobre filica.

Otras relaciones, como clorita-epidota, indican alteración propilítica. Las muestras WM 111 y WM 113 presentan minerales máficos alterándose a clorita y epidota, los cuales se forman por alteración propilítica; esto es coincidente con la zona propilítica en el mapa de Cornerstone (Fig. 4.10).



**Fig. 4.10** Tipos de alteraciones presentes en el sector de la quebrada Soroche y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector de la quebrada Soroche.

#### 4.4.2 SECTOR QUEBRADA CAÑA BRAVA

La figura 4.11 nos indica la relación entre las muestras estudiadas y las alteraciones descritas por Cornerstone para este sector, el cual muestra asociaciones minerales de kaolinita-dickita-alunita correspondientes a alteración

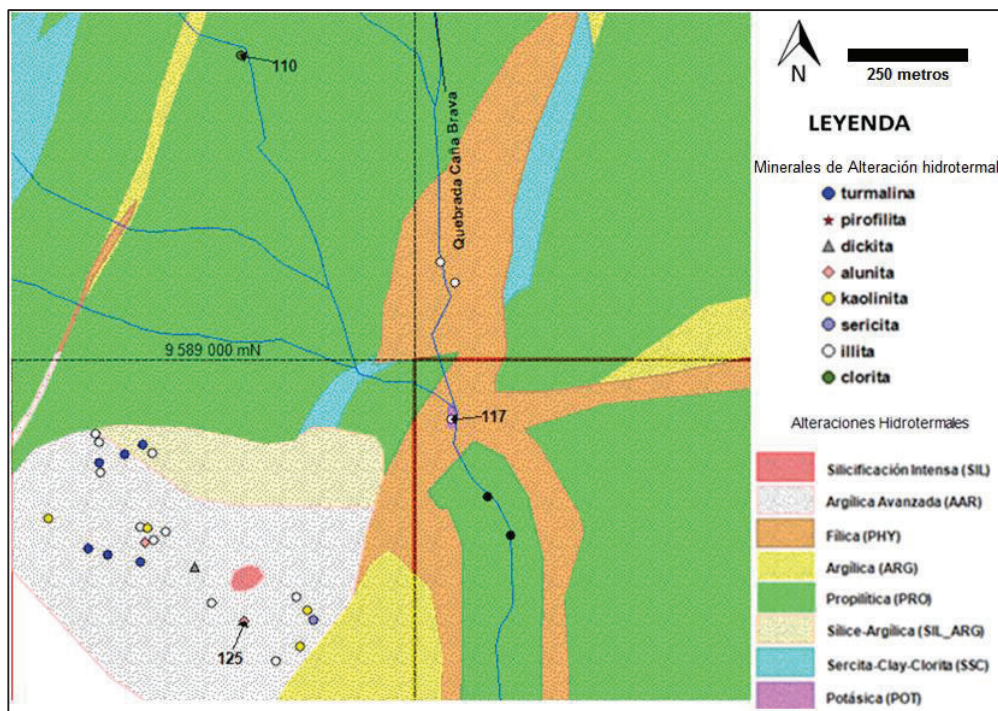
argílica avanzada y que coincide con el área mapeada por Cornerstone. Hay que destacar que, a diferencia del sector Soroche en esta zona no se detectó pirofilita con análisis de TerraSpec, pero se identificó la presencia de alunita tanto en TerraSpec como en análisis de lámina delgada de la muestra WM 125.

En el mapa de Cornerstone se indica que en este sector aflora alteración potásica. La muestra WM 117 fue recolectada del área mapeada como alteración potásica con el fin de caracterizarla; sin embargo, el análisis con TerraSpec y de lámina delgada, presenta una asociación sericita-cuarzo-turmalina, que corresponde a una alteración filica la cual está presente en la quebrada Caña Brava.

Mediante TerraSpec se identificó relictos de turmalina dentro de la alteración argílica avanzada que, al igual que en el sector Soroche, se interpretó como una superposición de la alteración argílica avanzada sobre la filica. De la misma manera el TerraSpec determinó la presencia de illita, que sería un relictos de la alteración argílica en esta zona.

El análisis de la muestra WM 110 presenta epidota-clorita, que corresponde con la alteración propilitica mapeada en este sector.





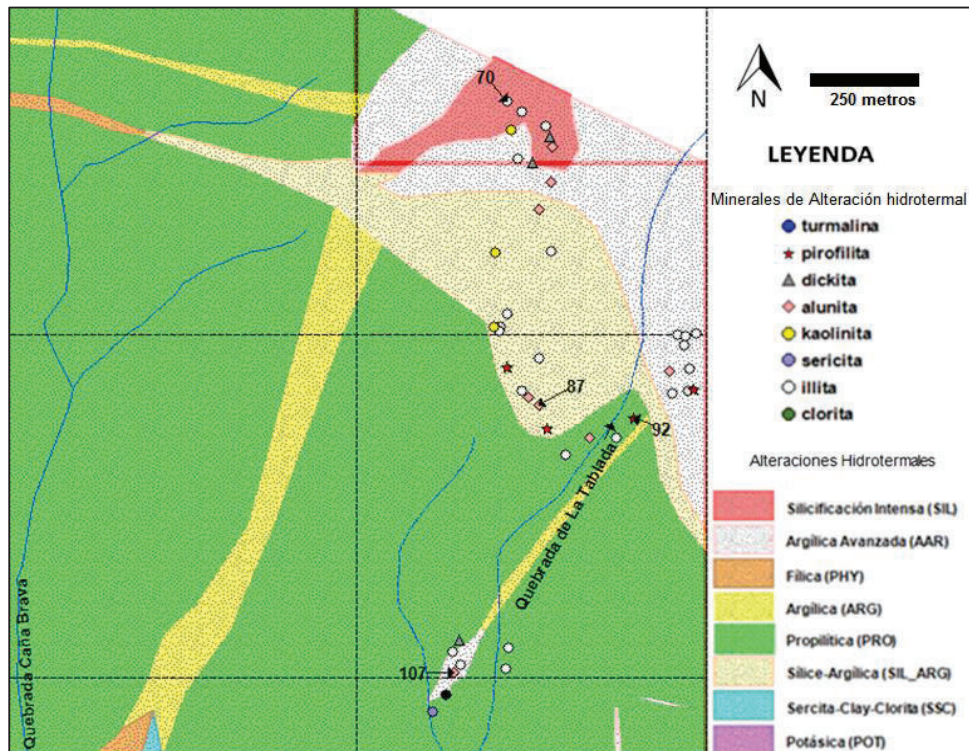
**Fig. 4.11** Tipos de alteraciones presentes en el sector de la quebrada Caña Brava y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector de la quebrada Caña Brava.

#### 4.4.3 SECTOR NORESTE

En esta zona domina la asociación de alunita-pirofilita-kaolinita-dickita lo que evidencia una alteración argílica avanzada. Esto es verificado con los análisis de TerraSpec y las muestras WM 87 y WM 107, que presentan alunita, y con la WM 92 que tiene pirofilita. Todo esto es correspondiente a una alteración argílica avanzada y es consistente con el mapa de Cornerstone. En la figura 4.12 podemos ver la distribución de las muestras estudiadas en esta área, junto a las alteraciones descritas por Cornerstone para esta zona.

En este sector además se encontró muestras que presentan abundante silicificación, denominada localmente como “silicificación intensa”. Esto se puede evidenciar en el análisis de lámina WM 70.

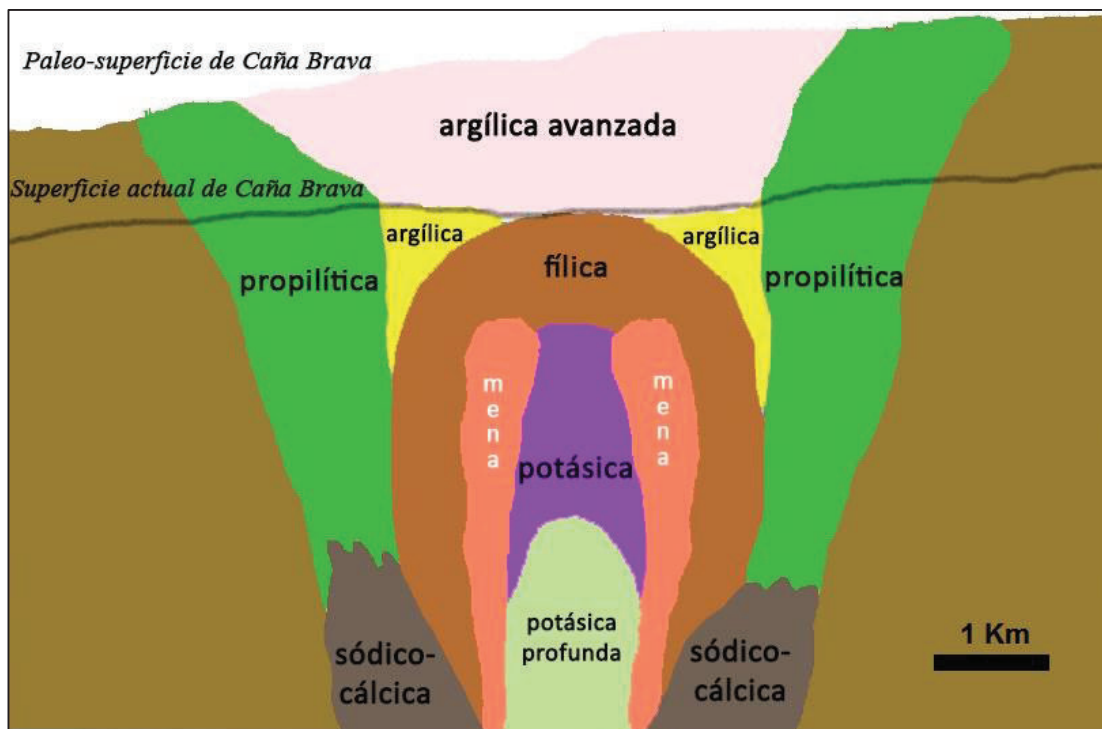
No se ha encontrado turmalina o dumortierita en análisis con TerraSpec y lámina delgada, dentro de la alteración argílica avanzada en esta zona, a diferencia de los sectores anteriormente tratados; sin embargo el TerraSpec determinó muestras con presencia de illita, que correspondería a un relicto de la alteración argílica. Esto hace pensar que este sector pertenece a un nivel alto donde no hubo sobreimpresión hacia alteraciones más profundas.



**Fig. 4.12** Tipos de alteraciones presentes en el sector Noreste y la distribución de los resultados del análisis con TerraSpec (los puntos negros corresponden a muestras en las cuales el TerraSpec no mostró ningún resultado) y estudio de láminas delgadas (señaladas con números) de las muestras recolectadas en este sector Noreste.

Se deduce que las alteraciones encontradas corresponden a una alteración típica en un sistema de mineralización de estilo pórfido cuprífero en la zona Centro-Oeste, correspondiente a los sectores de la quebrada Soroche y la quebrada Caña Brava, mientras que la zona Noreste presenta características de un sistema epitermal de alta sulfuración. En la figura 4.13 se indica un modelo interpretado del nivel actual de la superficie en la concesión Caña Brava, apoyado por las relaciones de minerales de alteración descritos en este capítulo; en base,

principalmente, al modelo clásico de Lowell y Gilbert (1970) de la distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero.



**Fig. 4.13** Distribución de zonas de alteración hidrotermal en un pórfido cuprífero, en donde se ha señalado la superficie actual en el área de la concesión minera Caña Brava en base a las relaciones de minerales de alteración encontradas. (Modificado de Masksaev, 2004 en base a los modelos de Lowell y Gilbert, 1970; Gustafson y Hunt, 1975; Giggenbach, 1997; Carten, 1986; Dilles y Einaudi, 1992).

## **CAPÍTULO 5**

### **INTEGRACIÓN, INTERPRETACIÓN DE DATOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se realizó la integración de los datos interpretados en los capítulos de magnetometría terrestre y alteración hidrotermal. Además se relacionó con los resultados geoquímicos de mineralización, tomados de Cornerstone (2015).

Mediante la integración y correlación entre mapas de geología local, magnetometría terrestre, alteraciones hidrotermales y anomalías geoquímicas se espera tener un mejor entendimiento de la relación entre alteración hidrotermal y los resultados de magnetometría, así como de la posible existencia de mineralización económica.

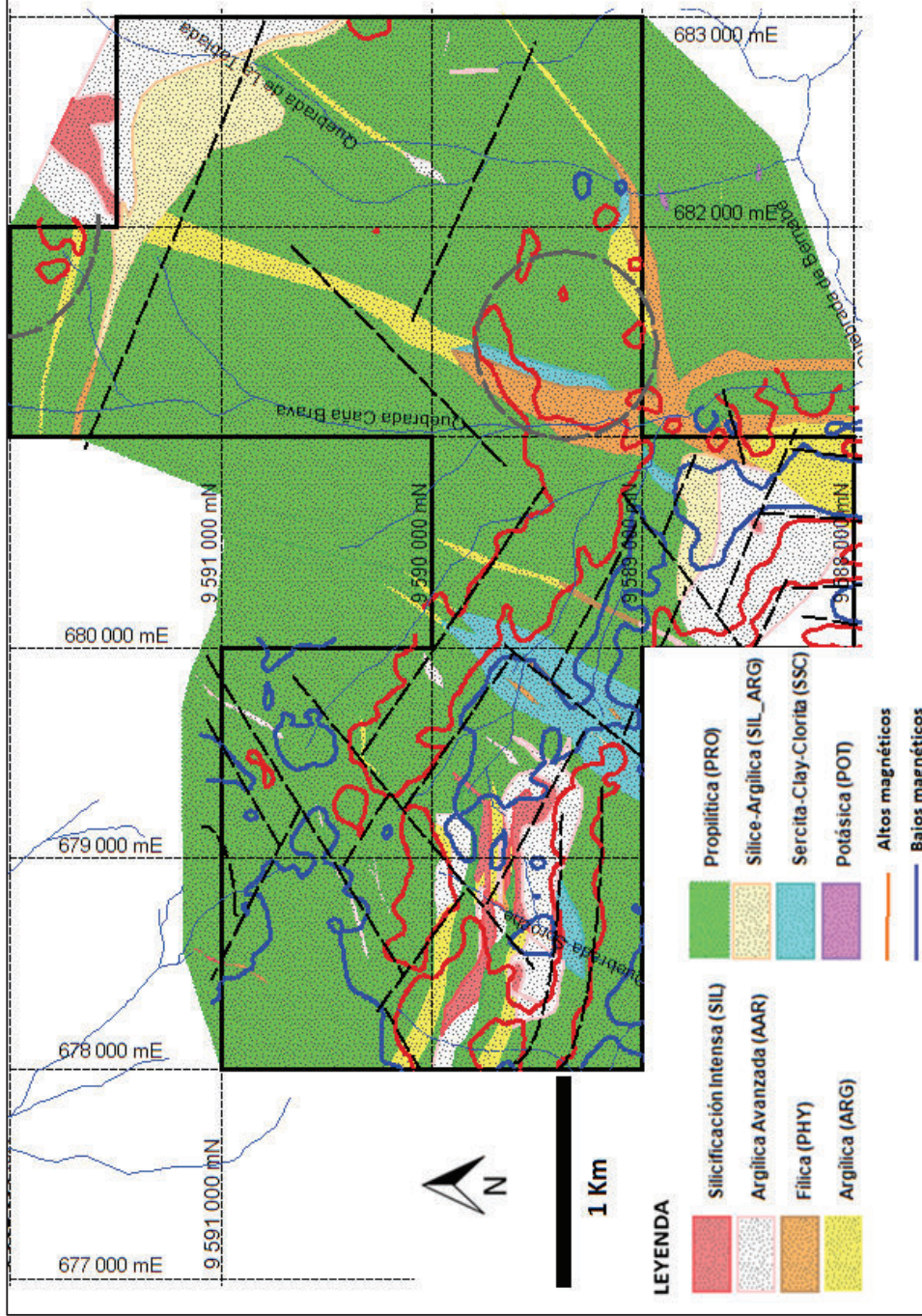
#### **5.1 RELACIÓN ENTRE MAGNETOMETRÍA TERRESTRE Y ALTERACIÓN HIDROTERMAL**

La interpretación de los datos magnetométricos pone de manifiesto algunos rasgos semicirculares y estructuras con orientación NE y WNW-ESE delimitando áreas de bajo magnetismo, las cuales se interpretan como producto de la destrucción de minerales magnéticos por procesos hidrotermales. Anomalías magnéticas altas relacionadas con un posible pórfido pueden ser el resultado de magnetita hidrotermal formada en alteración potásica o por magnetita remanente (magmática) presente en las tobas que han sufrido alteración propilítica (Fig. 5.1 y Fig. 5.2).





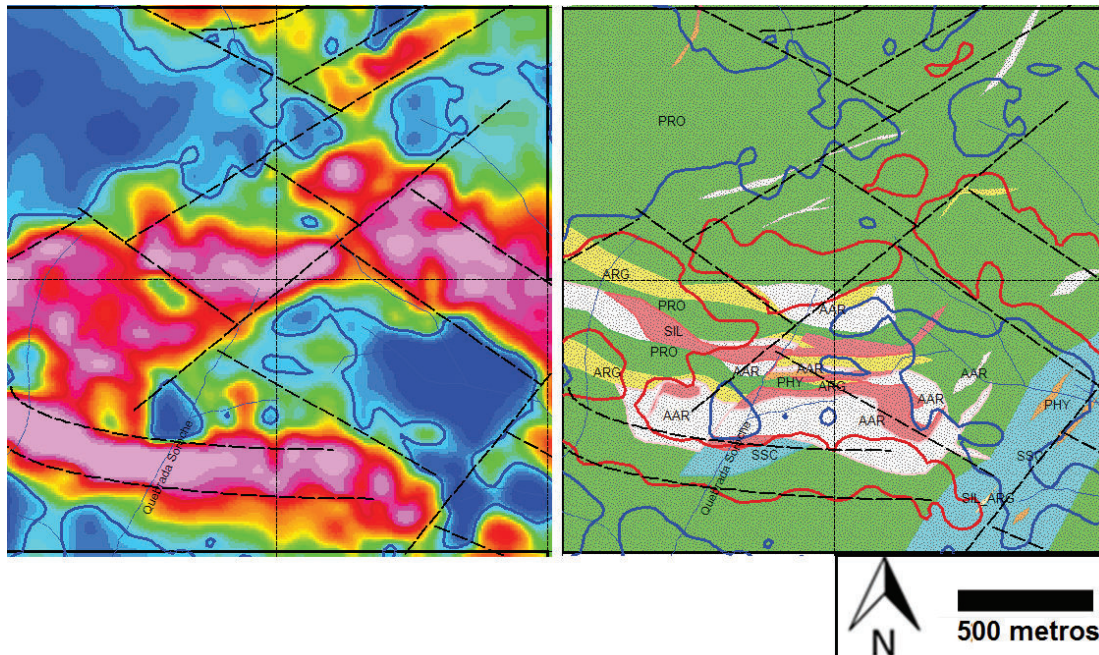




**Fig. 5.2** Mapa de alteración hidrotermal (en fondo), donde se indican los bordes de los altos magnéticos (líneas de color rojo), los bajos magnéticos (líneas de color azul) y los diferentes lineamientos-estructuras interpretados en el mapa magnetométrico. (Modificado de Cornerstone, 2015).

En el sector de la quebrada Soroche existen principalmente alteraciones de tipo argílica avanzada, argílica y filica (Fig. 5.3). Estas alteraciones tienden a destruir la magnetita, por lo tanto se tiene una zona de bajo magnetismo, este fenómeno es producto de la acción de fluidos hidrotermales que al entrar en contacto con las rocas provocaron cambios mineralógicos, lo cual disminuye el magnetismo original de las rocas. Al sureste de la zona de la quebrada Soroche aflora ampliamente la alteración sercita-clay-clorita y pequeñas ventanas de alteración filica (Fig. 5.3), las cuales podrían estar unidas en profundidad, razón por lo cual se ve una amplia anomalía de bajo magnetismo.

En el centro y hacia el borde este de la quebrada Soroche hay zonas de anomalías moderadas que rodean a bajos magnéticos, estas podrían ser causadas por los diques responsables de la mineralización. Hacia el borde norte de la quebrada Soroche se tienen valores más altos de magnetismo, esto puede ser de origen litológico, ya que en esta parte afloran lavas andesíticas, con alteración propilítica. Hacia el borde sur existe alteración propilítica en superficie y una anomalía magnética alta que coincide con una estructura E-W, esto podría ser un dique magmático más joven que no aflora en superficie y no causa alteración que destruya la magnetita.



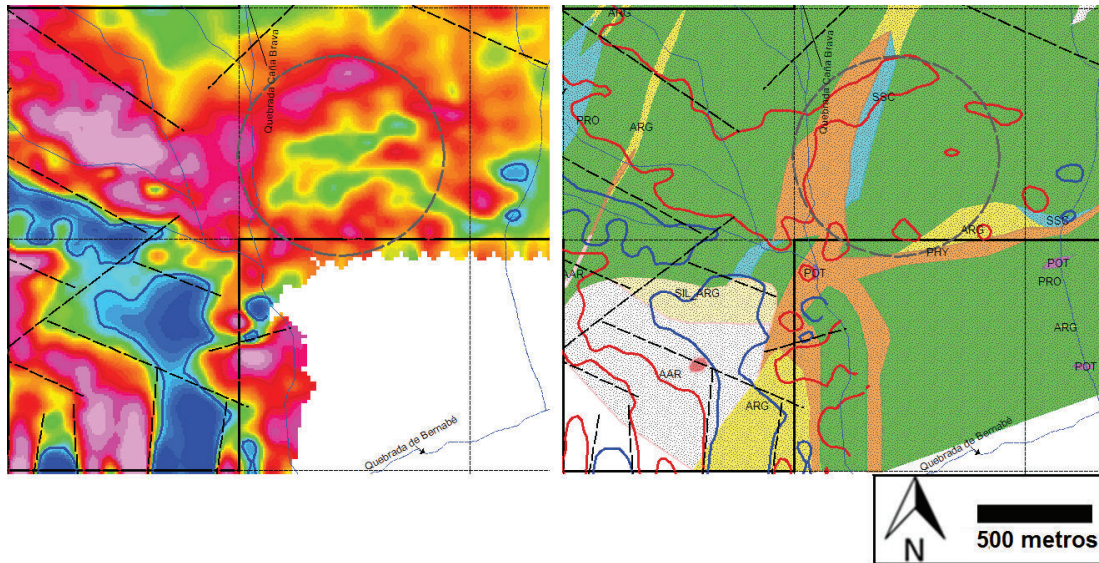
**Fig. 5.3** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector de la quebrada Soroche. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos. (Ver leyenda en Fig. 5.2).

Hacia el oeste de la quebrada Caña Brava se observa una zona de magnetismo alto bordeando a los bajos magnéticos, esto sugiere que en el centro de esta zona existen alteraciones que generan los valores de magnetismo bajo, esto es confirmado en el mapa de alteraciones por la presencia de alteración argílica avanzada y sílice-argílica (Fig. 5.4).

Hacia el NE de la quebrada Caña Brava se puede ver una estructura circular con un alto magnético en los bordes y valores moderados hacia el centro, que puede corresponder a la alteración fílica y sercita-clay-clorita detectada en esta parte.

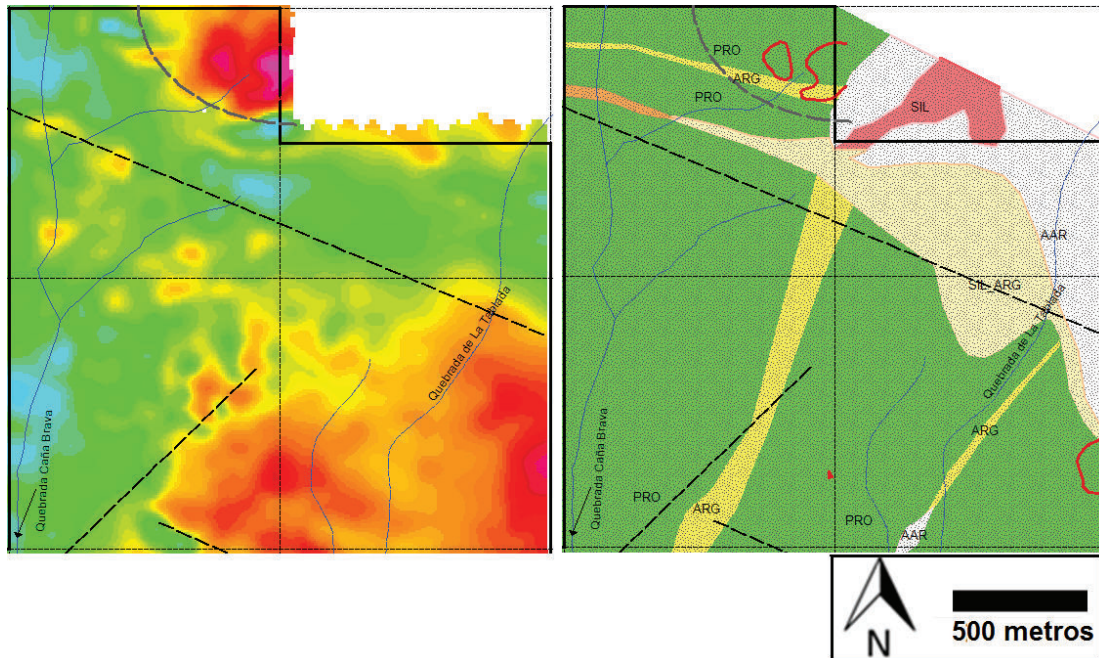
La presencia del cuerpo intrusivo de granodiorita (descrito en el subcapítulo de la geología local) que aflora hacia el sureste de la quebrada Caña Brava, sería responsable de la generación de las anomalías magnéticas altas en este sector. (Fig. 5.1).





**Fig. 5.4** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector de la quebrada Caña Brava. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos (Ver leyenda en Fig. 5.2).

En el sector Noreste, en superficie existen alteraciones del tipo argilica avanzada y sílice-argilica, y el mapa magnético presenta valores moderados a bajos (Fig. 5.5). Hacia el borde norte de esta zona se tiene la porción de una estructura semi-circular con un alto magnético, de igual manera hacia el sureste las anomalías son más altas. Estas anomalías podrían estar relacionadas a la presencia de abundante magnetita en las tobas afectadas por alteración propilítica de esta zona o a un cuerpo intrusivo profundo, siendo más probable ésta última hipótesis.



**Fig. 5.5** Comparación de la magnetometría terrestre y la alteración hidrotermal en el sector Noreste. Izquierda: magnetometría terrestre (rojo: alto magnetismo, azul: bajo magnetismo). Derecha: alteraciones hidrotermales, con los rasgos estructurales y los bordes de altos y bajos magnéticos (Ver leyenda en Fig. 5.2).

## 5.2 RELACIÓN ENTRE MAGNETOMETRÍA Y MINERALIZACIÓN

Para relacionar la magnetometría con ocurrencia de mineralización se ha sobrepuesto el mapa de anomalías magnéticas resaltando los bordes de altos y bajos magnéticos con los mapas que muestran las anomalías geoquímicas de Cu, Au, Mo y también Ag, Pb, Zn en rocas y en suelos, definidas por Cornerstone (2015) (Fig. 5.6 y 5.7).

El análisis geoquímico de rocas muestra que el cobre tiene valores anómalos en el sector quebrada Soroche, a diferencia de las otras zonas donde se observan bajos valores para este elemento, el molibdeno y el oro están presentes en el sector quebrada Soroche y en la quebrada Caña Brava, al igual que el boro, este último se relaciona a la presencia de turmalina y dumortierita; el zinc y plomo presentan una buena correlación, con anomalías en los extremos de las estructuras del sector quebrada Soroche y especialmente hacia el Norte,



sugiriendo una zonación hacia las partes externas del sistema y relacionados a estructuras con Au-Ag (Fig. 5.6).

La geoquímica de suelos muestra una buena correlación Au-Cu-Mo característica de sistema tipo pórfido, en los sectores Soroche y Caña Brava (Fig. 5.7) (Poma, 2015). Para los elementos Ag, Zn, Pb se presentan valores más elevados, tanto en geoquímica de rocas como de suelos hacia el norte del sector Soroche.

En los sectores de las quebradas Soroche y Caña Brava tenemos un alto magnético que bordea a un valor de bajo magnetismo y sobre el cual existe una anomalía fuerte de Mo, Au y Cu en rocas (Fig. 5.6). Los bordes entre altos y bajos magnéticos son interesantes ya que es allí donde suele albergarse el pórfido mineralizado. Los valores de más alto magnetismo podrían corresponder a cuerpos de diques jóvenes, mientras que los valores altos a moderados podrían ser los cuerpos intrusivos que presentan mineralización en sus bordes con una posible alteración potásica, aunque no hay una evidencia en superficie. El bajo magnético es ocasionado por una zona de alteración argílica avanzada y alteración filica. Se nota también que aunque la mayor presencia de Cu, Au, Mo, está en el centro de estas zonas también se ve un poco de Cu y Au hacia el borde Norte, pero no el Mo, ya que de acuerdo al modelo de zonación de mineralización de Lowell y Gilbert (1970) el molibdeno no es un elemento móvil y se encuentra más restringido exclusivamente en las zonas del pórfido. Los resultados del muestreo de suelos indican que el Mo es un elemento que está situado directamente sobre el pórfido en las quebradas Soroche y Caña Brava (Fig. 5.7).

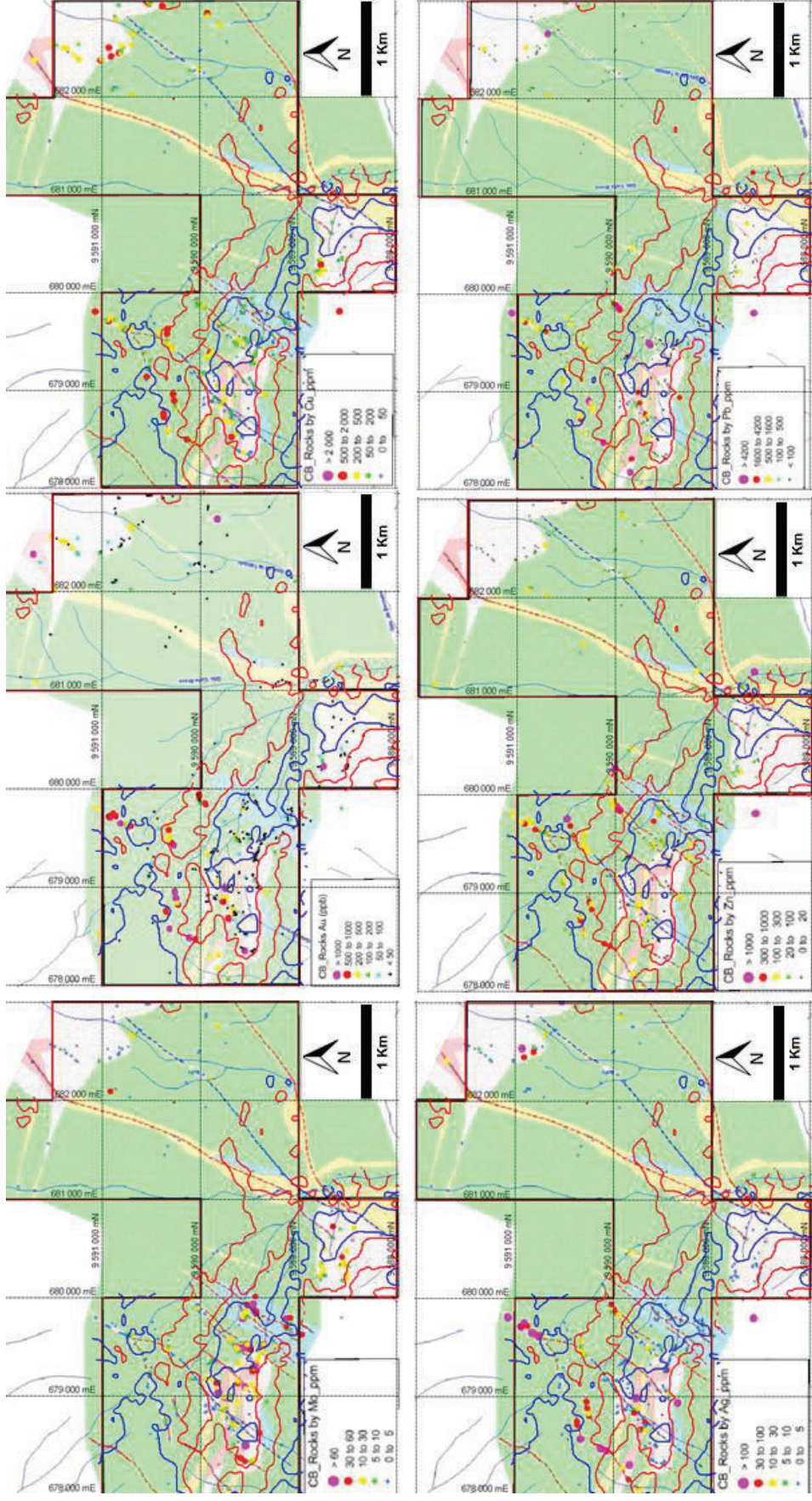
La correlación Au-Cu-Mo en el sector Soroche, tanto en suelos como en roca, y la presencia de turmalina + sericita + pirofilita, sugiere un nivel de erosión profundo del sistema de alta sulfuración, otorgando un gran potencial para mineralización tipo pórfido cuprífero a este sector. La concentración de Zn, Ag y Pb en el centro de las zonas de pórfido es baja, mientras que hacia los bordes (parte norte del sector Soroche) hay mayor presencia de éstos elementos tanto en muestras de rocas como se suelos (Fig. 5.6 y Fig. 5.7) (Poma, 2015).

Hacia el Norte del sector de la quebrada Soroche, mineralización de tipo vetas han sido definidas (Poma, 2015), evidenciado por las anomalías de Zn, Pb y Ag

en muestras de rocas y suelos (Fig. 5.6 y Fig. 5.7). Esta zona se caracteriza por la presencia de estructuras NE, brechas y “ribs” silicificados (estructuras silicificadas salientes en forma de costillas). Un pequeño cuerpo de forma circular definido por un alto magnético es identificado en esta zona, el cual corresponde a un dique de cuarzodiorita, esto es confirmado ya que existen afloramientos en superficie, identificados en el mapa de geología local (Fig. 5.1).

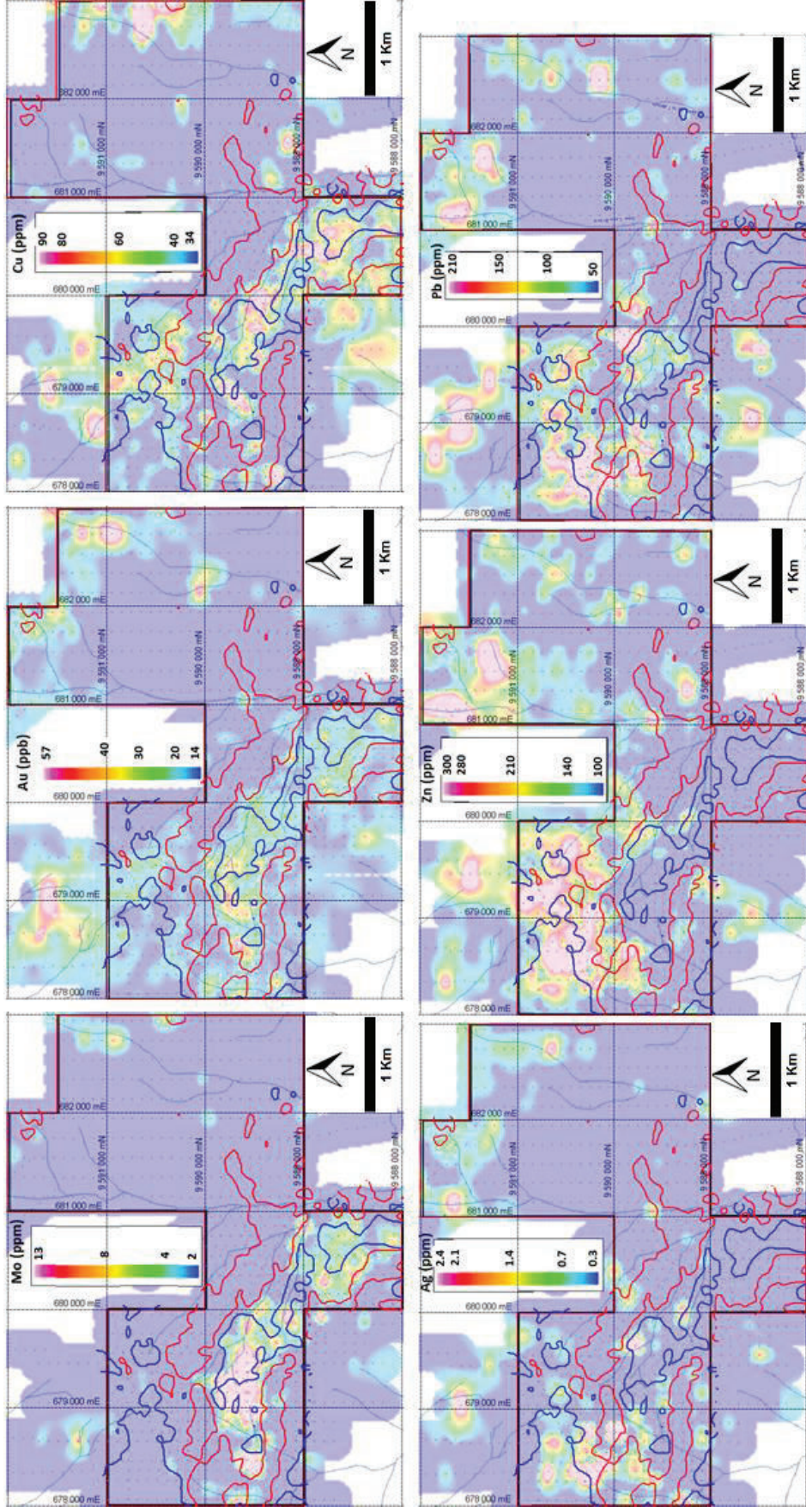
La mayoría de las correlaciones de elementos en el extremo norte de la quebrada Soroche pertenecen a elementos típicos de vetas epitermales con mineralización de Au-Pb-Zn +/- Ag-As-Sb-Hg (Cornerstone, 2015).

El sector Noreste presenta un valor de alto magnético hacia el borde de la concesión, además se observa una débil mineralización de Au-Ag-Cu y la alteración argílica avanzada es más intensa hacia el sector de Fierro Urco, ese hecho disminuye el potencial de este sector ya que sería el borde del sistema mineralizado de Fierro Urco. (Fig. 5.6 y Fig. 5.7) (Cornerstone, 2015).



**Fig. 5.6** Mapas que muestran la relación entre los altos magnéticos (líneas de color rojo ) y bajos magnéticos (líneas de color azul) con los resultados de análisis geoquímico de rocas para molibdeno (Mo), oro (Au), cobre (Cu), zinc (Zn), plata (Ag), y plomo (Pb), en la concesión Caña Brava. Usando de fondo el mapa de alteraciones hidrotermales. (Modificado de Cornerstone, 2015).





**Fig. 5.7** Mapas que muestran la relación entre los altos magnéticos (líneas de color rojo) y bajos magnéticos (líneas de color azul) con los resultados de análisis geoquímico de suelos (colores de fondo) para molibdeno (Mo), oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag), zinc (Zn), y plomo (Pb). En la concesión Caña Brava. (Modificado de Cornerstone, 2015).

A continuación se resumen las interpretaciones obtenidas en base a la relación entre los datos de geología, alteración hidrotermal, magnetometría y geoquímica:

El sector quebrada Soroche presenta consistentes anomalías geoquímicas para varios elementos como Mo-Au-Cu, en una extensión de 1700 x 600 m (Poma, 2015), zonas de brechas hidrotermales y alteración argílica avanzada sobreimpuesta en alteración filica; esto junto a un contraste entre anomalías magnéticas positivas y negativas, otorgan a este sector un gran potencial para pórfido, constituyendo así el principal objetivo de una subsiguiente perforación en la concesión Caña Brava.

El sistema de “ribs” (costillas silicificadas) hacia el norte del sector quebrada Soroche, constituye la extensión en rumbo de la mineralización en este sector, con características netamente estructurales, por lo tanto el potencial de esta zona es limitado. Esto también se confirma con la débil respuesta geoquímica y de anomalías magnéticas negativas. Aunque mediante análisis geoquímico se han obtenido valores muy altos de Ag-Au (Cornerstone, 2015).

El sector quebrada Caña Brava, presenta anomalías geoquímicas similares al sector quebrada Soroche, aunque de menor tamaño e intensidad, con una extensión de 800 x 800 m (Poma, 2015), sin embargo la presencia de un intrusivo granodiorítico en la base de la quebrada, donde se aprecian contactos con alteración filica, sugiere que bajo la zona de alteración existe un sistema de pórfido que alimenta las anomalías de superficie; el levantamiento magnético muestra anomalías positivas en esta área, lo que sustenta esta idea. Este sector sería un segundo objetivo de perforación.

El sector Noreste, junto a Fierro Urco, presenta características de tipo epitermal de alta sulfuración, con presencia de abundantes brechas con alteración argílica avanzada, la alteración se incrementa hacia el noreste, lo cual implica que este sector sería el borde del sistema Fierro Urco. Además la magnetometría no indica anomalías significativas y la geoquímica muestra una débil mineralización de Au-Ag-Cu. Por lo tanto el potencial de esta zona es menor respecto a las otras zonas de la concesión.



De manera general la distribución y correlación entre metales preciosos y metales base tanto en muestras de roca y suelo, confirman el potencial de mineralización en la concesión Caña Brava, en donde las evidenciadas magnéticas y de alteración hidrotermal, sugieren la presencia de las raíces de un sistema tipo epitermal de alta sulfuración en transición a un sistema tipo pórfido cuprífero.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- A nivel regional, la concesión Caña Brava está ubicada en la parte sur del cinturón de mineralización tipo epitermal de alta sulfuración-pórfido de Cu Collay-Shincata. Esta franja tiene una dirección NE-SW siguiendo la orientación aproximada de la falla inferida Mayor Baños; presenta numerosos cuerpos intrusivos emplazados y aloja varias ocurrencias de mineralizaciones principalmente tipo pórfido de Cu y epitermal de alta sulfuración como Fierro Urco y El Mozo respectivamente.
- Las rocas encajantes en la concesión Caña Brava son rocas volcánicas y volcanoclásticas atribuidas al Grupo Saraguro de edad Eoceno Tardío-Mioceno Temprano. La secuencia presenta las siguientes unidades de base a techo: Unidad Volcanoclásticos Andesíticos (Tobas Líticas y Tobas Andesíticas), Unidad Tobas Riolfíticas, Unidad Tobas Dacíticas y Unidad Lavas Andesíticas. Estas rocas han sido intruidas por Granodioritas y Cuarzodioritas del Mioceno Medio, las cuales son responsables de la formación de cuerpos de brechas hidrotermales y la mineralización en la zona.
- Por medio del estudio de minerales de alteración con TerraSpec y en base a las observaciones en muestra de mano y láminas delgadas se comprobó los siguientes tipos de alteración, dentro de los tres sectores importantes en la concesión Caña Brava, en donde afloran las rocas afectadas por alteración hidrotermal:  
Alteración Argílica Avanzada presenta una asociación de kaolinita-pirofilita-dumortierita en el sector de la quebrada Soroche. En el sector de la quebrada Caña Brava la asociación mineralógica es kaolinita-dickita-alunita, y en el sector Noreste se tiene una asociación alunita-pirofilita-

kaolinita-dickita. La presencia de relictos de turmalina dentro de las zonas con alteración argílica avanzada en los sectores de las quebradas Soroche y Caña Brava es interpretada como una sobreimpresión de ésta alteración sobre la alteración filica.

Alteración Argílica presenta abundante illita en la zona del sector Soroche donde fue caracterizada; las láminas delgadas también mostraron presencia de turmalina. Esto, al igual que en la alteración argílica avanzada, es una sobreimpresión de la alteración argílica sobre la filica.

Alteración Filica presenta una asociación sericita-cuarzo-turmalina, la misma que se encuentra en los sectores de la quebrada Soroche y quebrada Caña Brava.

Alteración Propilítica es la más extensa en el área de la concesión, fue caracterizada en los sectores de la quebrada Soroche y quebrada Caña Brava con una asociación clorita-epidota.

Alteración Potásica no se encontró asociaciones minerales que evidencien este tipo de alteración en superficie.

- El equipo de magnetometría terrestre, junto con datos de campo, constituyen una herramienta muy útil para la identificación de cuerpos intrusivos que pueden albergar mineralización; sin embargo, el criterio del geólogo al realizar la interpretación de datos y establecer la relación de los valores de altos y bajos magnéticos, es muy importante.
- El magnetómetro puede perder señal de satélites en zonas de quebradas profundas o de vegetación frondosa con árboles altos, provocando una breve pérdida en la toma de medidas; esto tiene influencia al momento de realizar el filtrado de datos, por lo cual se debe realizar apertura de trochas previamente para de esta manera minimizar la pérdida de datos.
- Los mapas que se pueden generar, en base a los datos del levantamiento magnetométrico, son: mapa de campo magnético total, reducción a polo y primera derivada vertical, los cuales permiten determinar zonas con altos y bajos valores magnéticos que pueden estar asociados a cuerpos intrusivos,

algunos tipos de alteraciones y además se puede interpretar su posible extensión en profundidad.

- Mediante el levantamiento magnetométrico terrestre se determinó la presencia de tres dominios magnéticos que están caracterizados por zonas que presentan altos y bajos magnéticos significativos en la concesión Caña Brava, siendo estos:

Dominio 1: Zonas de altos magnéticos están presentes en gran parte de la concesión; los valores más altos aparecen hacia el oeste y centro. Desde la zona central hacia el este va disminuyendo su intensidad; además hay la existe un pequeño segmento de este alto magnético en la parte noreste. Este dominio puede estar relacionado con cuerpos intrusivos frescos o con alteración potásica asociada a mineralización estilo pórfido de Cu.

Dominio 2: Zonas de bajos magnéticos, se presenta en la zona oeste y central del área de la concesión. Este dominio está asociado a zonas de alteración hidrotermal tipo argílica, argílica avanzada y filica, donde minerales magnéticos han sido destruidos.

Dominio 3: Zonas de valores magnéticos moderados. Se ha considerado como un dominio con valores intermedios entre los dominios 1 y 2. Está mayormente distribuido en la zona este, aunque también se encuentra disperso en pocos sectores en la zona oeste. Las características de este dominio pueden relacionarse a dos razones; presencia de rocas con poca magnetita aflorando superficialmente y con alteración propilítica (la cual no afecta a la magnetita); o a la presencia de cuerpos intrusivos profundos que presentan un fuerte magnetismo.

- La correlación entre alteración hidrotermal, magnetometría y patrones de zonificación geoquímica sugieren la presencia de la parte profunda de un sistema tipo epitermal de alta sulfuración en transición a un sistema tipo pórfido cuprífero. Los sectores Quebrada Soroche y Quebrada Caña Brava presentan potencial de exploración para mineralización tipo pórfido de Cu. Esto es consistente con anomalías en suelos y rocas para Mo-Au-Cu. Hacia el norte de la quebrada Soroche se observa mineralización de

metales base en vetas periféricas restringidas a estructuras que presentan Au-Ag-Pb-Zn +/-Cu. El sector Noreste presenta características de mineralización tipo epitermal de alta sulfuración, posiblemente constituyendo el borde del sistema mineralizado vecino de Fierro Urco.

## RECOMENDACIONES

- El uso de los equipos de magnetometría debe realizarse con mucho cuidado al sortear los diferentes obstáculos en el campo. Se debe cubrir el equipo en caso de lluvias, especialmente las zonas de uniones de los cables a la consola y no permitir que la batería se descargue totalmente, ya que esto puede causar daños internos. Para evitar errores es recomendable mantenerse alejado de objetos que puedan generar una variación en las mediciones del equipo.
- Se recomienda realizar un muestreo de suelos y rocas complementario con una mayor densidad para análisis de minerales de alteración con TerraSpec en los sectores quebrada Soroche y quebrada Caña Brava, para así definir de mejor los límites de las áreas con alteración hidrotermal.
- Se recomienda integrar la información del sector Noreste y del sector Fierro Urco, para mejorar la interpretación en esta zona.
- Se recomienda realizar perforaciones exploratorias en las zonas de las quebradas Soroche y Caña Brava, con el fin de confirmar la existencia del sistema tipo pórfido de Cu y establecer la presencia de mineralización económica. Estas perforaciones además permitirán definir los límites y la forma del sistema de pórfido en profundidad.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**ÁLVAREZ A. (2012).** Métodos Magnéticos para caracterizar arenas titaníferas: adquisición, procesamiento e interpretación. Universidad Simón Bolívar – Decanato de Estudios Profesionales, Coordinación de Ingeniería Geofísica, Venezuela, 65 pp.

**ASD Inc. (ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES INC.) (2008).** TerraSpec User Manual. 2555 55th Street. Boulder, CO 80301 USA. 72 pp.

**ASPDEN J. A., BONILLA W. & DUQUE P. (1995).** The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits. Overseas Geology and Mineral Resources, No. 67. 63 pp.

**ASPDEN J. A., HARRISON S. M. & RUNDLE C. C. (1992).** New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 6, 77-96 pp.

**ASPDEN J.A. & LITHERLAND M. (1992).** The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador: Tectonophysics, v. 205, 187-204 pp.

**BGS-CODIGEM (1993).** Mapa Geológico de la República del Ecuador. Escala 1:1,000,000

**BLAKELY R. (1996).** Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press. New York, 441 pp.

**BRISTOW C.R. & HOFFSTETTER R. (1977).** Lexique Stratigraphique International (2nd ed.): Amérique Latine Fascicule 5<sup>a</sup>, Ecuador: Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 410 pp.

**CANTOS FIGUEROLA J. (1987).** Tratado de Prospección Geofísica Aplicada (3<sup>a</sup> Ed.). IGME, Madrid, 526 pp.

**CARTEN R.B. (1986).** Sodium-calcium metasomatism: Chemical, temporal, and spatial relationships at the Yerington, Nevada, porphyry copper deposit: Economic Geology, vol. 81, 1495-1519 pp.

**CORBETT G.J. & LEACH T.M. (1998).** Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Society of Economic Geologist, Special Publication Number 6, 237 pp.

**CORNERSTONE RESOURCES INC. (2014).** Ficha Ambiental y Plan de Manejo Ambiental. Concesión Minera Caña Brava – Código 600700. Julio, 2014, 4 pp.

**CORNERSTONE RESOURCES INC. (2015).** News release. Announces results from prospecting and geological mapping surveys carried out on its wholly owned Caña Brava property located in south-central Ecuador. Febrero 26, 2015, 10 pp.

**DIAZ J. (2013).** Caracterización Geológica y Geofísica de la Zona Oeste de la Concesión Minera Mompiche, Ubicada en la Provincia de Esmeraldas, Cantón Muisne, Recinto Mompiche. Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Carrera de Geología, 145 pp.

**DILLES J.H., AND EINAUDI, M.T. (1992).** Wall-rock alteration and hydrothermal flow paths about the Ann-Mason porphyry copper deposit, Nevada—a 6km vertical reconstruction: *ECONOMIC GEOLOGY*, vol. 87, 1963–2001 pp.

**DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM) (1973).** Mapa geológico del Ecuador, Saraguro, Hoja 55 (1:100,000). (Quito).

**DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM) (1974).** Mapa geológico del Ecuador, Girón, Hoja 56 (1:100,000). (Quito).

**DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM) (1975).** Mapa geológico del Ecuador, Loja, Hoja 56 (1:100,000). (Quito).

**DIRECCION GENERAL DE GEOLOGIA Y MINAS (DGGM) (1982).** Mapa geológico Nacional de la República del Ecuador (1:1,000,000), (Quito).

**DUNKLEY P. N. & GAIBOR A. (1997).** Informe No 2, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 2-3° S. CODIGEM-BGS, Quito, Ecuador, 176 pp.

**EGÜEZ A. (1986).** Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale Septentrionale d' Equater (0 15'S o 1 10'S). Las minéralisation associées.

Unpublished Ph. D. thesis; Universite Pierre et Marie Curie, Paris. Coloquio, 116 pp.

**FEININGER T. & BRISTOW C.R. (1980).** Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador., Geol. Rundsch., 69, 849-874 pp.

**GEM SYSTEMS ADVANCED MAGNETOMETERS (2014).** Intruccion Manual GSM-19 v7.5, 155 pp.

**GEMUTS I., LOPEZ G. & JIMENEZ F. (1992).** Gold deposits of Southern Ecuador. Newsletter of the Society of Economic Geologists, No. 11, 13-17 pp.

**GIGGENBACH W.F., (1997).**The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd ed.: New York, John Wiley and Sons, 737–796 pp.

**GOOSSENS PIERRE J. (1972).** An Exhalative Volcanic Iron Sulfide Stratabound Deposit, Near San Fernando, Azuay Province, Ecuador. Economic Geology. Vol. 67, 469-480 pp.

**GUSTAFSON L.B., AND HUNT, J.P. (1975).**The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: ECONOMIC GEOLOGY, vol. 70, 857–912 pp.

**HUNGERBÜHLER D. (1997).** Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°00–4°20'): sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. PhD Thesis, Institute of Geology ETH Zürich, Switzerland, 182 pp.

**HUNGERBUHLER D., STEINMANN M., WINKLER W., SEWARD D., EGUEZA. PETERSON D., HELG U. & HAMMER C. (2002).** Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador., Earth Sci. Rew. 57, 75-124 pp.

**JAILLARD E., ORDOÑEZ M., BERRONES G., BENGTON P., BONHAMME M., JIMENEZ N. & ZAMBRANO I. (1996).** Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during late Cretaceous and early Tertiary times. Journal South American Earth Sciences, Vol. 9, 131-140 pp.

**JEMIELITA R.A. & BOLAÑOS J. (1993).** Mineralization Potential and Metallogenesis of the Eastern Cordillera (Real) of Ecuador. (versiones en inglés y

español). ODA/BGS CODIGEM, Quito, Ecuador. British Geological Survey Open File Report, Keyworth, UK. 220 pp.

**KENNERLEY J. B. ( 1973).** Geology of Loja Province Southern Ecuador. Institute of Geological Sciences. Overseas Geology and Mineral Resources, Photogeological Unit, No. 23, 34 pp.

**KENNERLEY J. B. (1980).** Outline of the geology of Ecuador. Institute of Geological Sciences. Overseas Geology and Mineral Resources, No. 55, 20 pp.

**LE BAS M. J., LE MAITRE R. W., STRECKEISEN A. & ZANETTINA B. (1986).** A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram, *Journal of Petrology*, vol. 27, 745-750 pp.

**LÓPEZ G., ZURA C. (2013).** Correlación de los Estudios Magnéticos y Gravimétricos con la Geología del sector de Chachimbiro para Prospección Geotérmica. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental. Carrera de Geología, 206 pp.

**LOWELL J.D., AND GUILBERT J.M. (1970).** Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits: *ECONOMIC GEOLOGY*, vol. 65, 373–408 pp.

**LOZANO C., (2002).** Los tipos de bosque en el sur de Ecuador, *Botánica Austroecuatoriana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.* Ediciones Abya Yala, Quito, 29–50 pp.

**MAKSAEV V. (2004).** Pórfidos Cupríferos. Depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja ley. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Geología. 12 pp.

**McCOURT W., ASPDEN J.A. & BROOK M. (1984).** New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society of London* 141, 831-845 pp.

**MEDINA AGUIRRE F. A. (2012).** Antecedentes del estudio del campo magnético terrestre en Colombia. *Revista Scientia et Technica* Año XVII, No 50, Abril de 2012. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701, 7 pp.

**MEGARD F. & LEBRAT M. (1987).** Los terrenos exóticos del occidente Ecuatoriano y sus relaciones con Sudamérica. Coloquio Ecuador 86, Quito. Casa de la Cultura 240, 161-172 pp.

**MEGARD F. (1989).** The evolution of the Pacific Ocean margin in South America north of the Arica elbow (18°S). The evolution of the Pacific Ocean margins (Z. Ben-Abram, Editor). Oxford Monographs on Geology and Geophysics 8, 208-230 pp.

**MEYER C. & HEMLEY J.J. (1967).** Wall Rock Alteration. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, 166-235 pp.

**ORDÓÑEZ F. (2013).** Estudio de Geología, Mineralización y Alteraciones en la Concesión Minera Cascabel Provincia de Imbabura. Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos. Carrera de Geología, 184 pp.

**PALADINES A. & ROSERO G. (1996).** Zonificación Mineralógica del Ecuador. (Laser Editores, Quito).

**POMA O. (2015).** Informe de Trabajo de Campo del Proyecto Caña Brava. Enero 2015. Informe interno no publicado, Cornerstone Ecuador S.A , 25 pp.

**PRATT W.T., FIGUEROA J. F. & FLORES B. G. (1997).** Informe No 1, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Información Cartográfica y Geológica: Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 3°- 4° S. CODIGEM-BGS, Quito, Ecuador, 58 pp.

**PRODEMINCA (2000).** **EVALUACIÓN DE DISTRITOS MINEROS**, Volumen 4 “Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con Intrusiones de las cordilleras Occidental y Real”, UCP PRODEMINCA Proyecto MEM - BIRF 36-55 EC, Quito – Ecuador, 316 pp.

**RIVAS J., (2009).** “Gravity and magnetic methods”, Short Course on Surface Exploration of Geothermal Resources, pp.1-13



**ROSE A.W. & BURT D.M. (1979).** Hydrothermal Alteration. En: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Segunda Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Wiley Interscience Publication, 173-235 pp.

**RUÍZ F. (2003).** Geomagnetismo, Apunte de Cátedra: Geofísica Aplicada. Instituto Geofísico Sismológico “Ing. F. Volponi”. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de San Juan – Argentina, 21 pp.

**SCHÜTTE P.H. (2010).** Geochronology, Geochemistry and Isotopic Composition (Sr, Nd, Pb) of Tertiary Porphyry Systems in Ecuador., PhD thesis, Université de Geneve, 182 pp.

**SILLITOE R.H. (2010).** Porphyry copper systems. Economic Geology, v. 105, 3-41 pp.

**SPECTRAL INTERNATIONAL INC. (2005).** Manual de espectroscopia de reflectancia aplicada. Versión 4.0 USA, [www.spectral-international.com](http://www.spectral-international.com), 230 pp.

**STEINMANN M. (1997).** The Cuenca Basin of Southern Ecuador: tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean Evolution. PhD. Thesis, ETH Zurich, 176 pp.

**TELFORD W. M., GELDART L. P., SHERIFF R. E. (1990).** Applied Geophysics. 2th Ed. Cambridge University Press, 770 pp.

**TOWNLEY BRIAN K. (2006).** Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. Apuntes y Referencias. Departamento de Geología Universidad de Chile, 92 pp.

**UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP) (1969).** Survey of metallic and non-metallic minerals. Coal Investigations (Operation No. 1, Cuenca-Biblián and Loja). Technical Report, United Nations Development Programme, Quito-New York.

**VAN THOURNOUT F. (1991).** Stratigraphy, magmatism and tectonism in the Ecuadorian Northwestern Cordillera: metallogenic and geodynamic implications. Ph. D. thesis Katholieke Universiteit Leuven, 150 pp.

**PORTALES WEB VISITADOS**

<https://maps.google.com/>

<https://earth.google.com/>

<http://es.climate-data.org>

<http://www.inec.gob.ec>

<http://www.loja.gob.ec>

<http://www.fcnym.unlp.edu.ar/>

<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM>

### ANEXO 3.1

Tabla de datos correspondiente a las líneas con dirección Norte–Sur recorridas durante el levantamiento magnetométrico.

| LÍNEA | COORDENADAS DE PUNTO DE INICIO (PSAD56) |         | COORDENADAS DE PUNTO FINAL (PSAD56) |         | LONGITUD DE LINEA (metros) |
|-------|---|---------|-------------------------------------|---------|----------------------------|
|       | E                                       | N       | E                                   | N       |                            |
| 101   | 678050                                  | 9589000 | 678050                              | 9591000 | 2000                       |
| 102   | 678150                                  | 9589000 | 678150                              | 9591000 | 2000                       |
| 103   | 678250                                  | 9589000 | 678250                              | 9591000 | 2000                       |
| 104   | 678350                                  | 9589000 | 678350                              | 9591000 | 2000                       |
| 105   | 678450                                  | 9589000 | 678450                              | 9591000 | 2000                       |
| 106   | 678550                                  | 9589000 | 678550                              | 9591000 | 2000                       |
| 107   | 678650                                  | 9589000 | 678650                              | 9591000 | 2000                       |
| 108   | 678750                                  | 9589000 | 678750                              | 9591000 | 2000                       |
| 109   | 678850                                  | 9589000 | 678850                              | 9591000 | 2000                       |
| 110   | 678950                                  | 9589000 | 678950                              | 9591000 | 2000                       |
| 1     | 679050                                  | 9589000 | 679050                              | 9591000 | 2000                       |
| 2     | 679150                                  | 9589000 | 679150                              | 9591000 | 2000                       |
| 3     | 679250                                  | 9589000 | 679250                              | 9591000 | 2000                       |
| 4     | 679350                                  | 9589000 | 679350                              | 9591000 | 2000                       |
| 5     | 679450                                  | 9589000 | 679450                              | 9591000 | 2000                       |
| 6     | 679550                                  | 9589000 | 679550                              | 9591000 | 2000                       |
| 7     | 679650                                  | 9589000 | 679650                              | 9591000 | 2000                       |
| 8     | 679750                                  | 9589000 | 679750                              | 9591000 | 2000                       |
| 9     | 679850                                  | 9589000 | 679850                              | 9591000 | 2000                       |
| 10    | 679950                                  | 9589000 | 679950                              | 9591000 | 2000                       |
| 11    | 680050                                  | 9588000 | 680050                              | 9590000 | 2000                       |
| 12    | 680150                                  | 9588000 | 680150                              | 9590000 | 2000                       |
| 13    | 680250                                  | 9588000 | 680250                              | 9590000 | 2000                       |
| 14    | 680350                                  | 9588000 | 680350                              | 9590000 | 2000                       |
| 15    | 680450                                  | 9588000 | 680450                              | 9590000 | 2000                       |
| 16    | 680550                                  | 9588000 | 680550                              | 9590000 | 2000                       |

| LÍNEA | COORDENADAS DE PUNTO DE INICIO (PSAD56) |         | COORDENADAS DE PUNTO FINAL (PSAD56) |         | LONGITUD DE LINEA (metros) |
|-------|---|---------|-------------------------------------|---------|----------------------------|
|       | E                                       | N       | E                                   | N       |                            |
| 17    | 680650                                  | 9588000 | 680650                              | 9590000 | 2000                       |
| 18    | 680750                                  | 9588000 | 680750                              | 9590000 | 2000                       |
| 19    | 680850                                  | 9588000 | 680850                              | 9590000 | 2000                       |
| 20    | 680950                                  | 9588000 | 680950                              | 9590000 | 2000                       |
| 21    | 681050                                  | 9588000 | 681050                              | 9592000 | 4000                       |
| 22    | 681150                                  | 9588000 | 681150                              | 9592000 | 4000                       |
| 23    | 681250                                  | 9589000 | 681250                              | 9592000 | 3000                       |
| 24    | 681350                                  | 9589000 | 681350                              | 9592000 | 3000                       |
| 25    | 681450                                  | 9589000 | 681450                              | 9592000 | 3000                       |
| 26    | 681550                                  | 9589000 | 681550                              | 9592000 | 3000                       |
| 27    | 681650                                  | 9589000 | 681650                              | 9592000 | 3000                       |
| 28    | 681750                                  | 9589000 | 681750                              | 9592000 | 3000                       |
| 29    | 681850                                  | 9589000 | 681850                              | 9592000 | 3000                       |
| 30    | 681950                                  | 9589000 | 681950                              | 9592000 | 3000                       |
| 31    | 682050                                  | 9589000 | 682050                              | 9591500 | 2500                       |
| 32    | 682150                                  | 9589000 | 682150                              | 9591500 | 2500                       |
| 33    | 682250                                  | 9589000 | 682250                              | 9591500 | 2500                       |
| 34    | 682350                                  | 9589000 | 682350                              | 9591500 | 2500                       |
| 35    | 682450                                  | 9589000 | 682450                              | 9591500 | 2500                       |
| 36    | 682550                                  | 9589000 | 682550                              | 9591500 | 2500                       |
| 37    | 682650                                  | 9589000 | 682650                              | 9591500 | 2500                       |
| 38    | 682750                                  | 9589000 | 682750                              | 9591500 | 2500                       |
| 39    | 682850                                  | 9589000 | 682850                              | 9591500 | 2500                       |
| 40    | 682950                                  | 9589000 | 682950                              | 9591500 | 2500                       |

## ANEXO 4.1

Muestras de la concesión Caña Brava a las que se realizó el análisis con el equipo TerraSpec.

| MUESTRA | COORDENADAS<br>(PSAD 56) |         | RESULTADOS DE ANÁLISIS CON<br>TERRASPEC |
|---------|--------------------------|---------|---|
|         | ESTE                     | NORTE   |   |
| WM1     | 678503                   | 9589550 | alunita-pirofilita                      |
| WM2     | 678513                   | 9589554 | turmalina                               |
| WM3     | 678511                   | 9589563 | turmalina                               |
| WM4     | 678517                   | 9589577 | kaolinita                               |
| WM5     | 678516                   | 9589592 | illita                                  |
| WM6     | 678654                   | 9589676 | illita                                  |
| WM7     | 678702                   | 9589658 | no definido                             |
| WM8     | 678712                   | 9589661 | clorita                                 |
| WM9     | 678703                   | 9589672 | turmalina                               |
| WM10    | 678731                   | 9589683 | turmalina                               |
| WM11    | 678752                   | 9589657 | illita                                  |
| WM12    | 678693                   | 9589700 | pirofilita                              |
| WM13    | 678693                   | 9589707 | pirofilita                              |
| WM14    | 678873                   | 9589774 | illita                                  |
| WM15    | 678879                   | 9589745 | no definido                             |
| WM16    | 678875                   | 9589776 | illita                                  |
| WM17    | 678882                   | 9589792 | no definido                             |
| WM18    | 678856                   | 9589774 | illita                                  |
| WM19    | 678901                   | 9589846 | illita                                  |
| WM20    | 678995                   | 9589765 | turmalina                               |
| WM21    | 678998                   | 9589759 | turmalina                               |
| WM22    | 678982                   | 9589754 | turmalina                               |
| WM23    | 678989                   | 9589730 | turmalina                               |
| WM24    | 679018                   | 9589703 | illita                                  |
| WM25    | 679136                   | 9589790 | turmalina                               |
| WM26    | 679143                   | 9589825 | kaolinita                               |
| WM27    | 679135                   | 9589844 | kaolinita                               |



| MUESTRA | COORDENADAS<br>(PSAD 56) |         | RESULTADOS DE ANÁLISIS CON<br>TERRASPEC |
|---------|--------------------------|---------|---|
|         | ESTE                     | NORTE   |   |
| WM28    | 679101                   | 9589685 | turmalina                               |
| WM29    | 679135                   | 9589626 | turmalina                               |
| WM30    | 679100                   | 9589557 | pirofilita                              |
| WM31    | 679114                   | 9589486 | pirofilita                              |
| WM32    | 679065                   | 9589462 | pirofilita                              |
| WM33    | 679011                   | 9589435 | pirofilita                              |
| WM34    | 678989                   | 9589441 | pirofilita                              |
| WM35    | 679477                   | 9589496 | turmalina                               |
| WM36    | 679494                   | 9589502 | turmalina                               |
| WM37    | 679492                   | 9589509 | turmalina                               |
| WM38    | 679525                   | 9589524 | turmalina                               |
| WM39    | 679528                   | 9589546 | turmalina                               |
| WM40    | 679550                   | 9589586 | kaolinita                               |
| WM41    | 679478                   | 9589613 | turmalina                               |
| WM42    | 679476                   | 9589623 | turmalina                               |
| WM43    | 679477                   | 9589635 | turmalina                               |
| WM44    | 679508                   | 9589644 | turmalina                               |
| WM45    | 679492                   | 9589646 | illita                                  |
| WM46    | 679862                   | 9589451 | illita                                  |
| WM47    | 679829                   | 9589437 | clorita                                 |
| WM48    | 679930                   | 9589472 | muscovita-illita                        |
| WM49    | 679921                   | 9589518 | illita                                  |
| WM50    | 679943                   | 9589528 | illita                                  |
| WM51    | 679864                   | 9589542 | illita                                  |
| WM52    | 679843                   | 9589560 | muscovita-illita                        |
| WM53    | 679796                   | 9589538 | illita                                  |
| WM54    | 679780                   | 9589544 | illita                                  |
| WM55    | 679785                   | 9589566 | muscovita-illita                        |
| WM56    | 679798                   | 9589572 | illita                                  |
| WM57    | 678579                   | 9590320 | no definido                             |
| WM58    | 678722                   | 9590352 | no definido                             |
| WM59    | 678752                   | 9590358 | illita                                  |

| MUESTRA | COORDENADAS<br>(PSAD 56) |         | RESULTADOS DE ANÁLISIS CON<br>TERRASPEC |
|---------|--------------------------|---------|---|
|         | ESTE                     | NORTE   |   |
| WM60    | 678759                   | 9590361 | illita                                  |
| WM61    | 678812                   | 9590235 | illita                                  |
| WM62    | 678837                   | 9590241 | illita                                  |
| WM63    | 678880                   | 9590254 | illita                                  |
| WM64    | 678892                   | 9590256 | illita                                  |
| WM65    | 678909                   | 9590267 | illita                                  |
| WM66    | 678949                   | 9590261 | illita                                  |
| WM67    | 682458                   | 9591513 | illita                                  |
| WM68    | 682439                   | 9591597 | kaolinita                               |
| WM69    | 682501                   | 9591503 | dickita                                 |
| WM70    | 682427                   | 9591682 | illita                                  |
| WM71    | 682470                   | 9591652 | illita                                  |
| WM72    | 682539                   | 9591611 | illita                                  |
| WM73    | 682549                   | 9591579 | dickita                                 |
| WM74    | 682557                   | 9591548 | alunita-pirofilita                      |
| WM75    | 682553                   | 9591447 | alunita-pirofilita                      |
| WM76    | 682518                   | 9591367 | alunita                                 |
| WM77    | 682395                   | 9591242 | kaolinita-pirofilita                    |
| WM78    | 682554                   | 9591243 | illita                                  |
| WM79    | 682427                   | 9591063 | illita                                  |
| WM80    | 682408                   | 9591025 | illita                                  |
| WM81    | 682391                   | 9591023 | kaolinita                               |
| WM82    | 682404                   | 9591011 | illita                                  |
| WM83    | 682521                   | 9590932 | illita                                  |
| WM84    | 682429                   | 9590907 | pirofilita                              |
| WM85    | 682470                   | 9590837 | illita                                  |
| WM86    | 682490                   | 9590817 | alunita                                 |
| WM87    | 682520                   | 9590795 | alunita                                 |
| WM88    | 682543                   | 9590727 | pirofilita                              |
| WM89    | 682596                   | 9590650 | illita                                  |
| WM90    | 682664                   | 9590699 | alunita                                 |
| WM91    | 682740                   | 9590701 | illita                                  |

| MUESTRA | COORDENADAS<br>(PSAD 56) |         | RESULTADOS DE ANÁLISIS CON<br>TERRASPEC |
|---------|--------------------------|---------|---|
|         | ESTE                     | NORTE   |   |
| WM92    | 682790                   | 9590759 | pirofilita                              |
| WM93    | 682901                   | 9590830 | illita                                  |
| WM94    | 682891                   | 9590893 | alunita                                 |
| WM95    | 682949                   | 9590904 | illita                                  |
| WM96    | 682933                   | 9590970 | illita                                  |
| WM97    | 682915                   | 9591000 | illita                                  |
| WM98    | 682937                   | 9590998 | illita                                  |
| WM99    | 682968                   | 9591004 | illita                                  |
| WM100   | 682962                   | 9590840 | pirofilita                              |
| WM101   | 682945                   | 9590836 | illita                                  |
| WM102   | 682433                   | 9590089 | illita                                  |
| WM103   | 682423                   | 9590029 | illita                                  |
| WM104   | 682291                   | 9590110 | dickita                                 |
| WM105   | 682274                   | 9590078 | illita                                  |
| WM106   | 682294                   | 9590038 | illita                                  |
| WM107   | 682278                   | 9590016 | alunita-pirofilita                      |
| WM108   | 682252                   | 9589950 | no definido                             |
| WM109   | 682214                   | 9589900 | muscovita-illita                        |
| WM110   | 680568                   | 9589756 | clorita-smectita                        |
| WM111   | 678927                   | 9590368 | no definido                             |
| WM112   | 679326                   | 9590403 | no definido                             |
| WM113   | 679603                   | 9589820 | no definido                             |
| WM114   | 678941                   | 9589341 | no definido                             |
| WM115   | 681063                   | 9589242 | illita                                  |
| WM116   | 681099                   | 9589193 | illita                                  |
| WM117   | 681090                   | 9588854 | illita                                  |
| WM118   | 681178                   | 9588663 | no definido                             |
| WM119   | 681237                   | 9588566 | no definido                             |
| WM120   | 680748                   | 9588355 | muscovita                               |
| WM121   | 680714                   | 9588290 | kaolinita                               |
| WM122   | 680733                   | 9588380 | kaolinita                               |
| WM123   | 680706                   | 9588413 | illita                                  |

| MUESTRA | COORDENADAS<br>(PSAD 56) |         | RESULTADOS DE ANÁLISIS CON<br>TERRASPEC |
|---------|--------------------------|---------|---|
|         | ESTE                     | NORTE   |   |
| WM124   | 680655                   | 9588254 | illita                                  |
| WM125   | 680576                   | 9588352 | alunita                                 |
| WM126   | 680495                   | 9588398 | illita                                  |
| WM127   | 680454                   | 9588488 | dickita                                 |
| WM128   | 680383                   | 9588574 | illita                                  |
| WM129   | 680353                   | 9588555 | illita                                  |
| WM130   | 680332                   | 9588547 | alunita                                 |
| WM131   | 680320                   | 9588500 | turmalina                               |
| WM132   | 680239                   | 9588517 | turmalina                               |
| WM133   | 680338                   | 9588585 | kaolinita                               |
| WM134   | 680321                   | 9588588 | illita                                  |
| WM135   | 680191                   | 9588534 | turmalina                               |
| WM136   | 680091                   | 9588609 | kaolinita                               |
| WM137   | 680220                   | 9588721 | illita                                  |
| WM138   | 680217                   | 9588747 | turmalina                               |
| WM139   | 680217                   | 9588798 | illita                                  |
| WM140   | 680208                   | 9588817 | illita                                  |
| WM141   | 680281                   | 9588767 | turmalina                               |
| WM142   | 680326                   | 9588791 | turmalina                               |
| WM143   | 680350                   | 9588770 | illita                                  |

## ANEXO 4.2

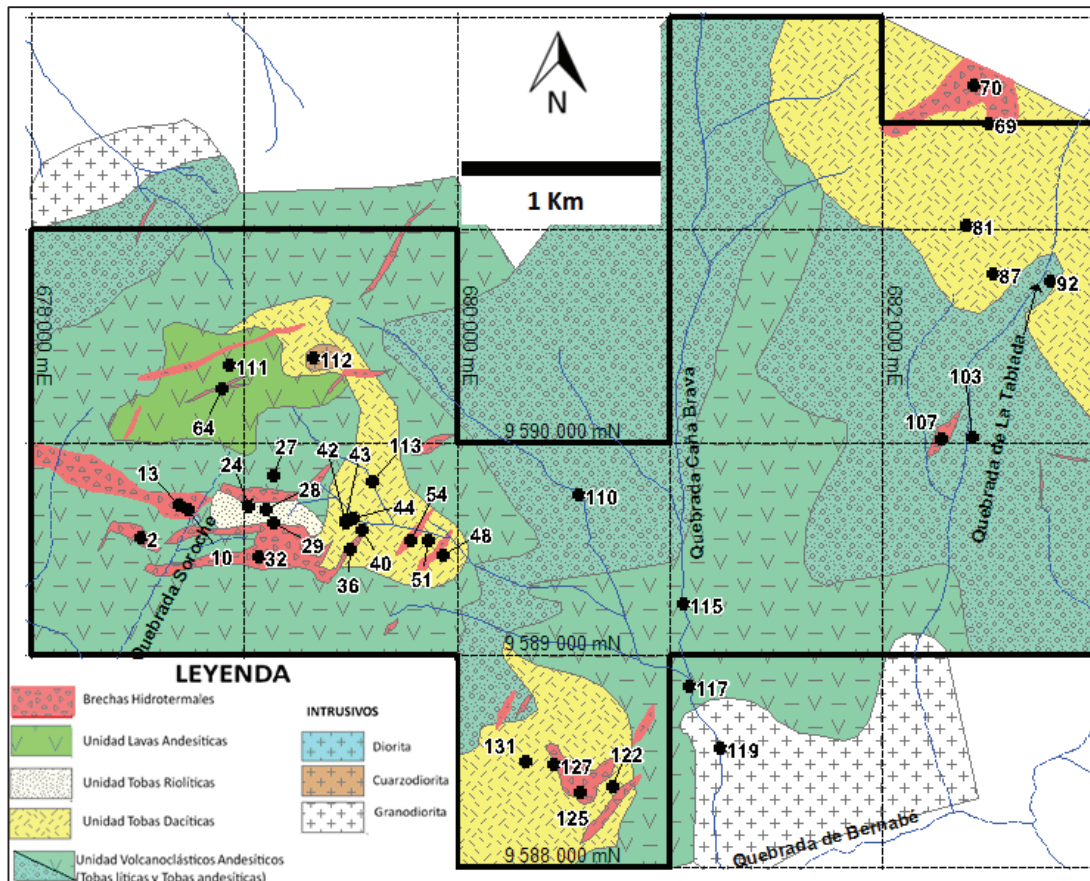
Listado de minerales encontrados en la concesión minera Caña Brava con su respectiva fórmula química

| MINERAL                         | FORMULAQUIMICA  | IDENTIFICADO EN: |                |                        |
|---------------------------------|---|------------------|----------------|------------------------|
|                                 |   | Muestra de mano  | Lámina delgada | Análisis con TerraSpec |
| Alunita                         | $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$   | x                | x              | x                      |
| Biotita                         | $K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH, F)_2$                                  |                  | x              |                        |
| Clorita                         | $(Mg, Fe)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$           |                  | x              | x                      |
| Cuarzo primario (magmático)     | $SiO_2$   | x                | x              |                        |
| Cuarzo secundario (hidrotermal) | $SiO_2$   |                  | x              |                        |
| Dickita                         | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$   |                  |                | x                      |
| Dumortierita                    | $Al_7(BO_3)(SiO_4)_3O_3$  | x                | x              |                        |
| Epidota                         | $(SiO_4)_3(Al, Fe)_3Ca_2(OH)$                                       |                  | x              |                        |
| Hematita                        | $Fe_2O_3$   | x                | x              |                        |
| Hornblenda                      | $Ca_2(Mg, Fe, Al)_5(Al, Si)_8O_{22}(OH)_2$                          | x                | x              |                        |
| Illita                          | $(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2, (H_2O)]$           |                  | x              | x                      |
| Kaolinita                       | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$   |                  | x              | x                      |
| Magnetita                       | $Fe_3O_4$   | x                | x              |                        |
| Pirofilita                      | $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$  |                  | x              | x                      |
| Piroxeno                        | $(Ca, Mg, Fe, Mn, Na, Li)(Al, Mg, Fe, Mn, Cr, Sc, Ti)(Si, Al)_2O_6$ |                  | x              |                        |
| Plagioclasa                     | $(Na, Ca)(Si, Al)_3O_8$   | x                | x              |                        |
| Sericita                        | $KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$   |                  | x              | x                      |
| Turmalina                       | $NaFe_3Al_6(BO_3)(SiO_{18})(OH)_4$                                  | x                | x              | x                      |



### ANEXO 4.3

Descripción petrográfica de láminas delgadas de muestras recolectadas en la concesión Caña Brava



Mapa de ubicación de las muestras a las que se realizó estudio de lámina delgada sobre el mapa geológico de la concesión Caña Brava.

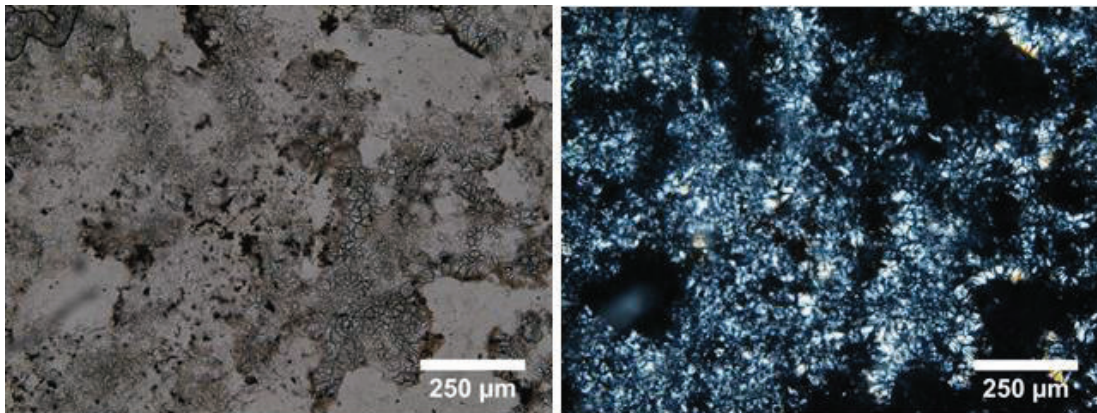
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 02  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=678513 Y=9589554 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris azulada  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexites o comagmáticos en una matriz de cenizas). |
| <b>COMPONENTES</b>              | Turmalina, óxidos de Fe, matriz   |

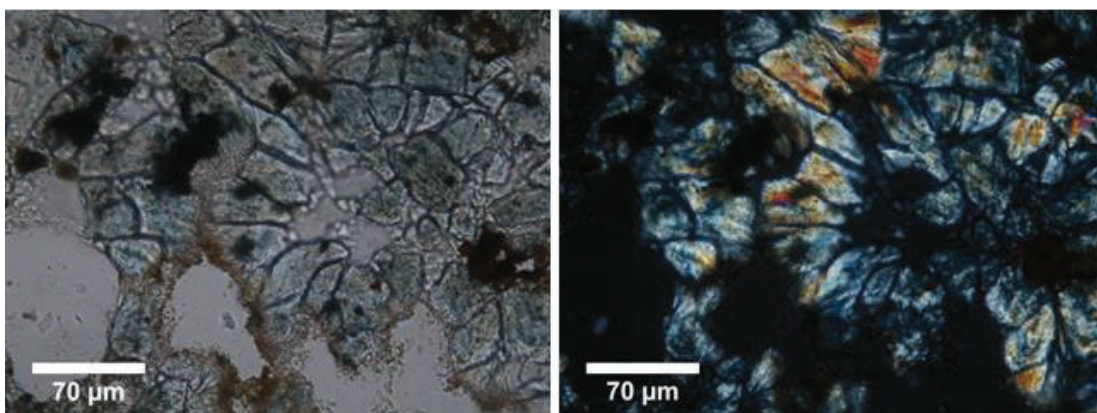
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica (fragmentos cristalinos junto a fragmentos líticos preexites o comagmáticos en una matriz de cenizas) |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 30                              | Turmalina  | Agregados cristalinos de forma subhedral, se ven algunos prismas redondeados con alto relieve, color verde claro, presenta pleocroísmo, se encuentra en pequeñas agrupaciones distribuidas en la lámina. |
| 10                              | Hematita   | Color café oscuro, se encuentra diseminada en la lámina  |
| 2                               | Dumortierita   | Se la ve en los bordes de las turmalinas, forma microcristalina acicular radialmente orientados, presenta pleocroísmo.   |
| 58                              | Matriz   | Formada por cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino incoloro con forma anhedral.   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta silicificación y reemplazo de turmalina por dumortierita.                                      |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina andesítica con alteración argílica avanzada  |  |



Muestra de mano



WM02 turmalina entre matriz de cuarzo secundario microcristalino (hidrotermal) 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM02 cristales de turmalina, en los bordes cristales aciculares radialmente orientados de dumortierita 40x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

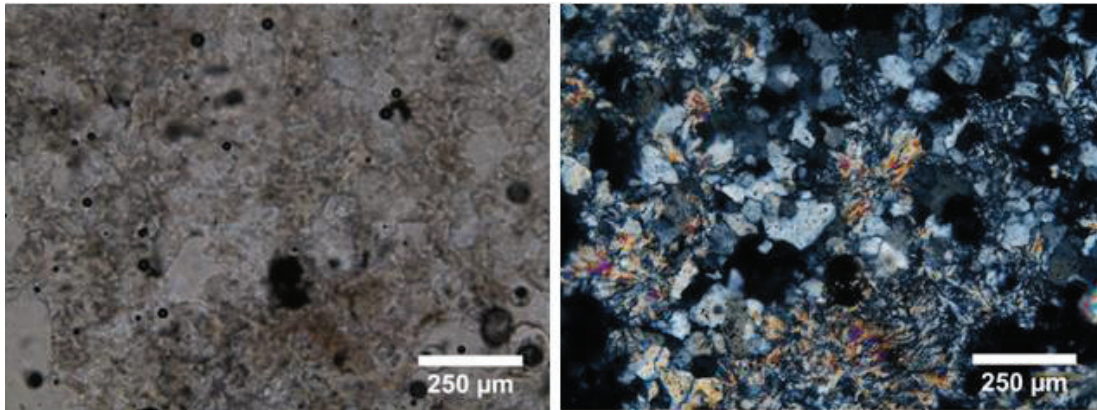


|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 10  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=678731 Y=9589683 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

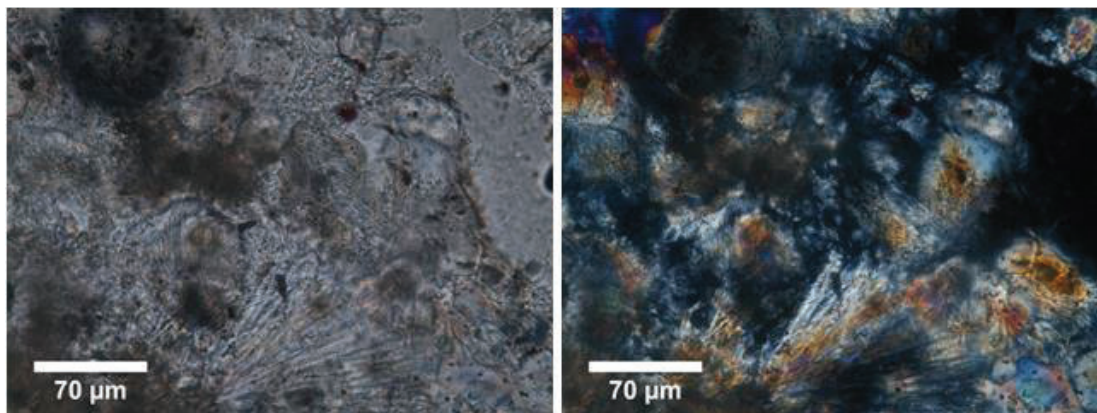
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Gris-azulado                    |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                    |
| <b>COMPONENTES</b>              | Turmalina, óxidos de Fe, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |                |  |
|---------------------------------|----------------|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |                |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 25                              | Turmalina      | Cristales prismáticos formando agregados fibrosos dispersos en la lámina, color verde pálido, alto relieve, con pleocroísmo.   |
| 5                               | Dumortierita   | Producto de alteración de las turmalinas por lo cual están presentes en los bordes de las mismas. Se presentan de forma de cristales aciculares radialmente orientados, débil birrefringencia. |
| 15                              | Hematita       | Color pardo oscuro, dispersos irregularmente   |
| 50                              | Matriz         | Conformada por cuarzo secundario microcristalino anhedral.   |
| 5                               | Piroxeno       | Se observa relictos de forma anhedral, presenta leve pleocroísmo y un relieve moderado.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            |                | La presencia de turmalina en la muestra nos sugiere una alteración filica  |
| <b>NOMBRE</b>                   |                | Toba cristalina andesítica con posible alteración filica   |





WM10 turmalina y dumortierita entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM10 turmalina alterándose a dumortierita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



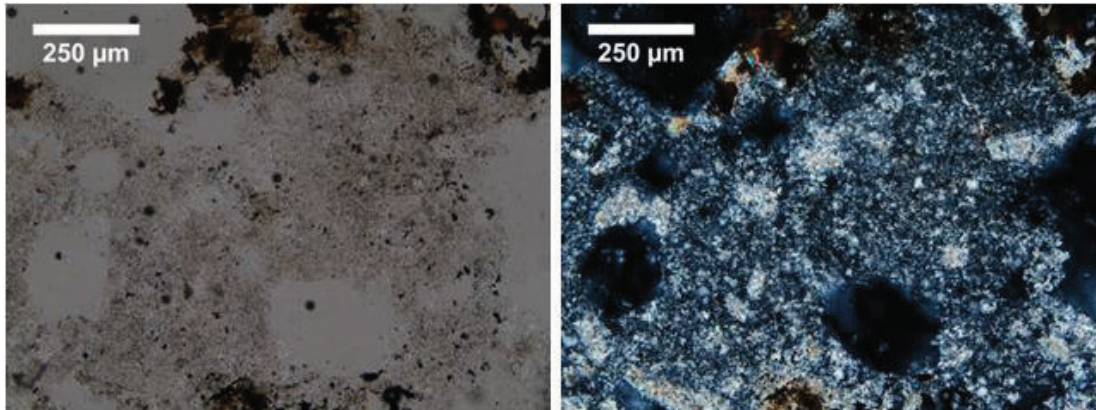
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 13  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=678693 Y=9589707 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Gris-crema                  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, óxidos Fe, matriz |

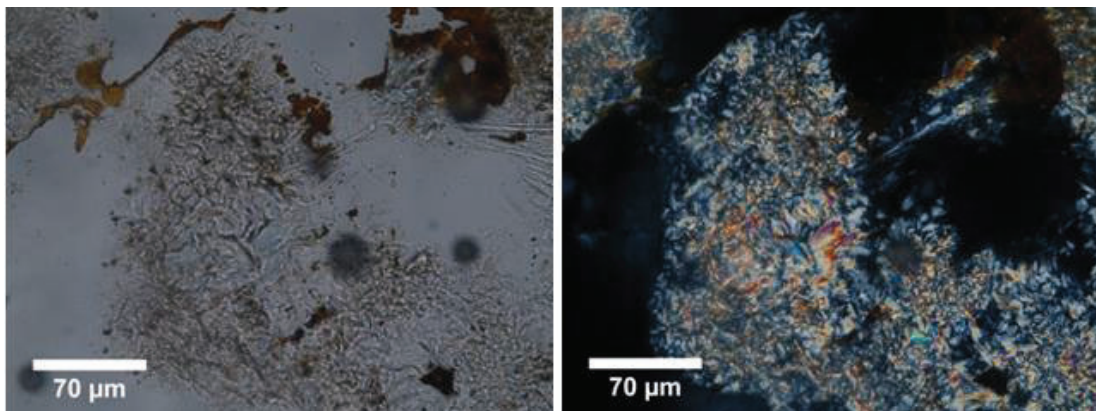
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 55                              | Pirofilita   | Se presenta de forma de agregados microcristalinos en toda la lámina, es incolora, con relieve moderado y fuertes colores de interferencia, es producto de alteración de feldespatos. |
| 5                               | Hematita   | Está dispersa y de color pardo oscuro.  |
| 40                              | Matriz   | Cuarzo secundario microcristalino de relieve bajo, color gris y forma subhedral.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta silicificación con presencia de pirofilita. Aunque la pirofilita es similar a la sericita en secciones delgadas, por medio de un análisis de Terraspec se comprobó que se trata de pirofilita. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina andesítica con alteración argílica avanzada  |   |



Muestra de mano



WM13 pirofilita diseminada entre cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM 13 agregados finos de pirofilita junto hematita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 24  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679018 Y=9589703 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

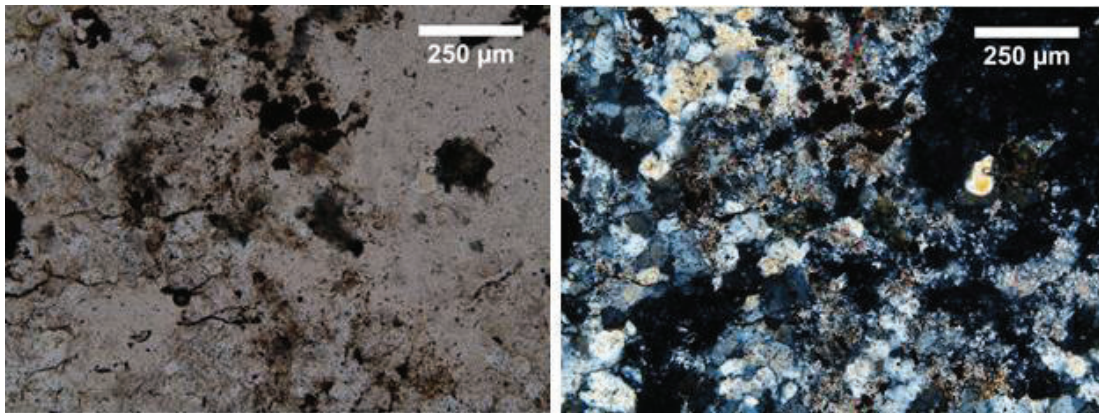
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                                |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                              |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, óxidos de Fe, turmalina, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 30                              | Illita   | De coloración parda amarillenta a incolora, se presenta de manera microcristalina entre cristales de cuarzo, se ven algunas pequeñas escamas irregulares con relieve bajo. Tiene una fuerte birrefringencia. |
| 5                               | Turmalina  | Se ven cristales prismáticos alargados, de color verde, presenta un pleocroísmo fuerte, relieve alto y fuerte birrefringencia.   |
| 10                              | Hematita   | Color rojo oscuro diseminando en toda la lámina  |
| 55                              | Matriz   | Formada por cuarzo secundario microcristalino (hidrotermal) de forma subhedral, con bajo relieve (35%) y arcillas (20%)  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La abundante presencia de illita en la roca                  |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica a riolítica con alteración argílica |  |

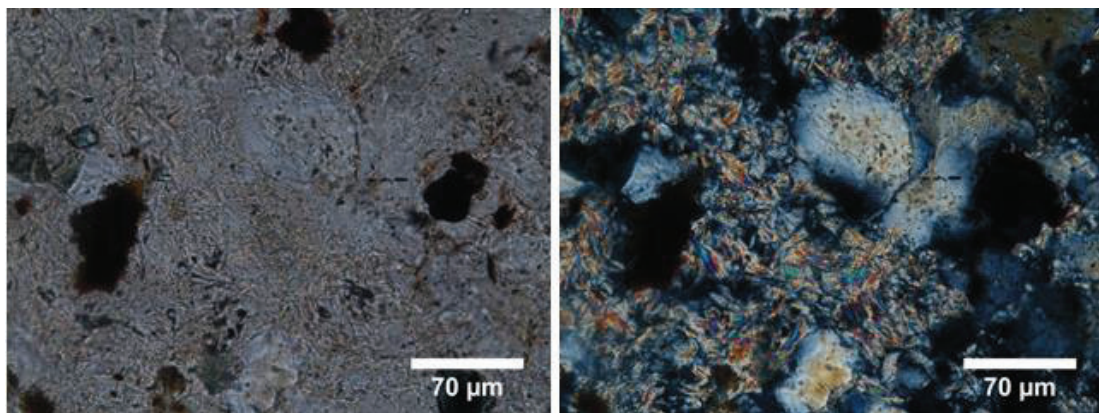


**Muestra de mano**

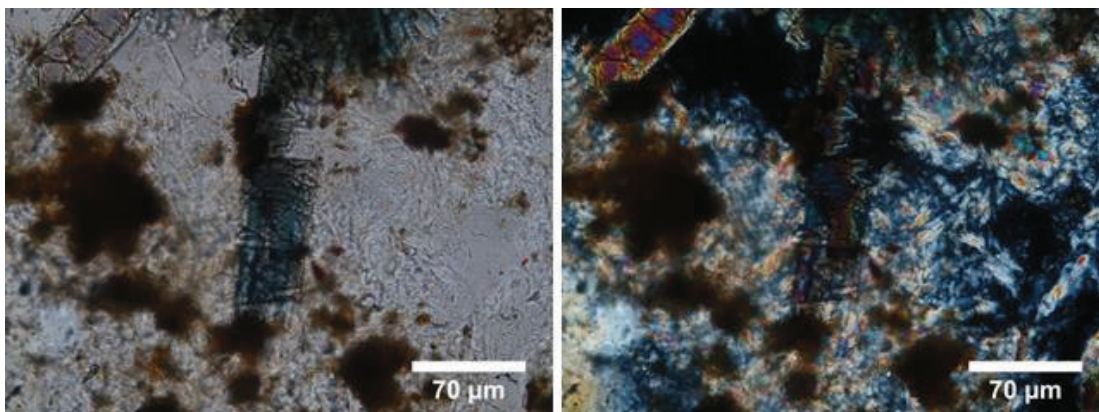




WM24 cuarzo microcristalino secundario y arcillas 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM24 illita entre cuarzo secundario microcristalino de la matriz 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM 24 Turmalina con illita y hematita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 27  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679135 Y=9589844 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

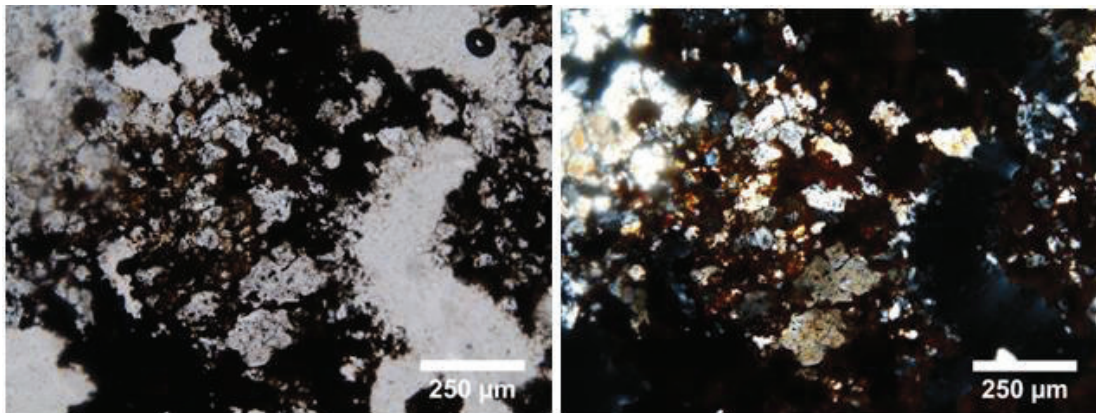
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Pardo (completamente oxidada)  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Óxidos de Fe, arcillas, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 40                              | Hematita   | Color pardo, está dispersa en gran parte de la lámina   |
| 60                              | Matriz   | Conformado por cuarzo secundario microcristalino hidrotermal. Tiene forma subhedral, incoloro con bajo relieve (45 %) y por masas criptocristalinas de arcillas (15 %). |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra está totalmente oxidada, predominando la Hematita, según análisis de Terraspec, la roca presenta kaolinita, sin embargo no se la puede distinguir en la lámina delgada, debido a su grosor y la cantidad de óxidos presentes. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con posible alteración argílica avanzada  |   |

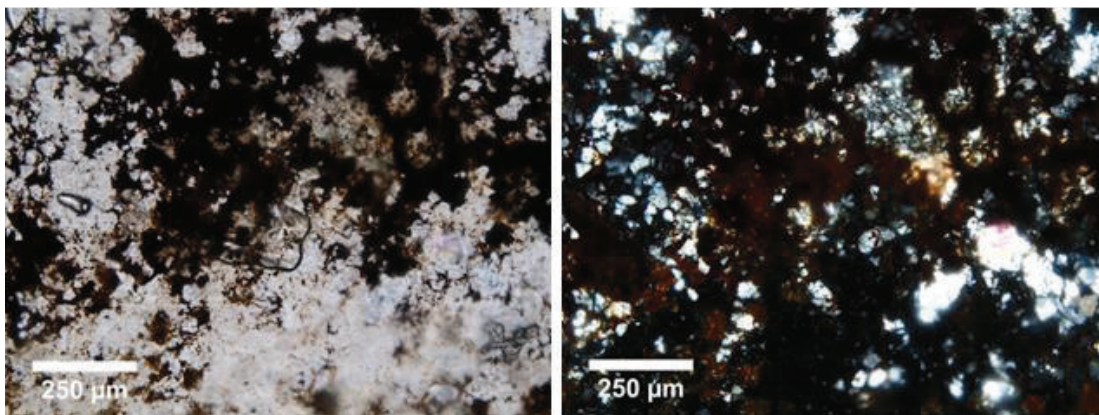


Muestra de mano





WM27 cuarzo secundario microcristalino de la matriz junto a hematita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM27 cuarzo secundario microcristalino y arcillas formado matriz junto a hematita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

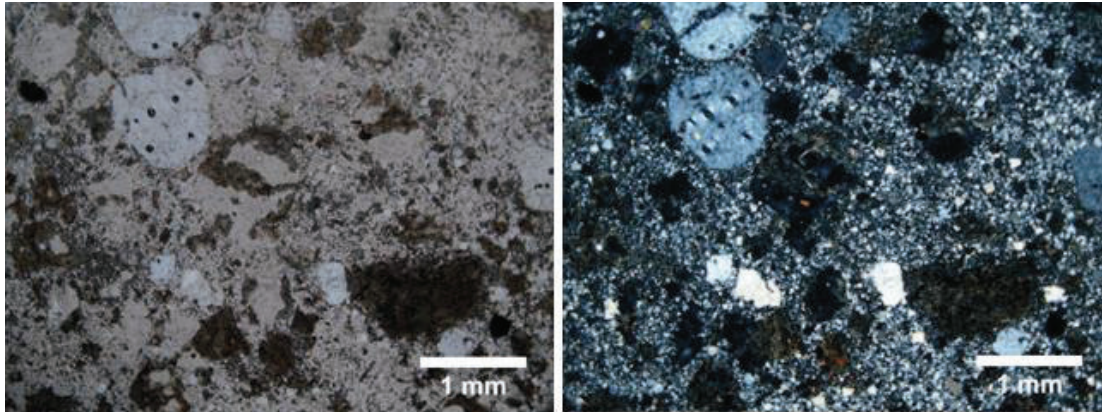
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 28  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679101 Y=9589685 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris   |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, arcillas, líticos, turmalina, óxidos de Fe, matriz |

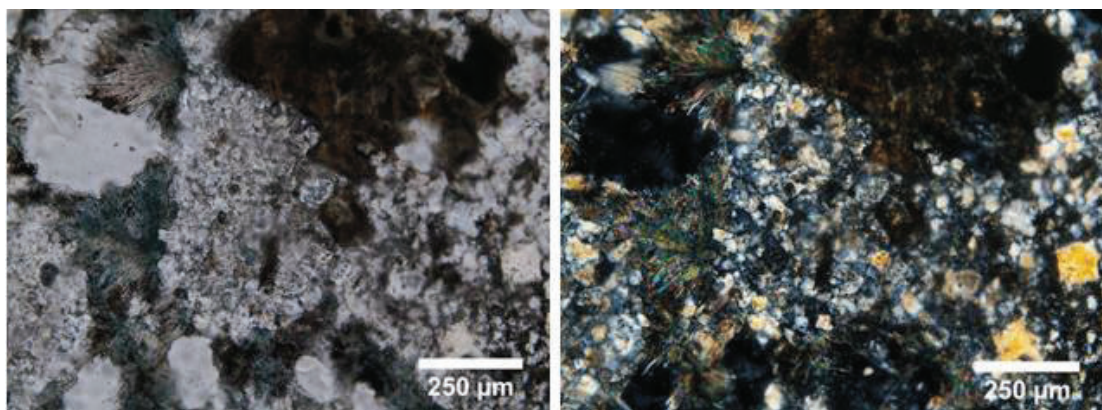
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |                |   |
|---------------------------------|----------------|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |                |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 20                              | Turmalina      | Color gris azulado-verdoso, con alto relieve, se presenta en agregados cristalinos, dispuestos en forma de agujas alargadas radialmente orientados.             |
| 45                              | Matriz         | Compuesta por cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino, incoloro y de forma subhedral.   |
| 15                              | Cuarzo         | Cristales de cuarzo primario (magmático, de los fragmentos de rocas volcánicas que conforman la toba) de tamaño grande hasta de 3mm de tamaño, sub-redondeados. |
| 1                               | Opacos         | Esparcidos en la lámina, posiblemente hematita de color pardo   |
| 15                              | Líticos        | Pedazos de líticos de 0.5 mm que contiene cristales máficos alterados   |
| 4                               | Clorita        | Se presenta en los líticos máficos, tienen forma de agregados de color verde y un relieve moderado.   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            |                | Presenta turmalina, la clorita está presente en los líticos que están contenidos en una matriz de cuarzo secundario microcristalino.                            |
| <b>NOMBRE</b>                   |                | Toba lítica riolítica, presenta una sobreimpresión de la alteración argílica sobre la filica.   |



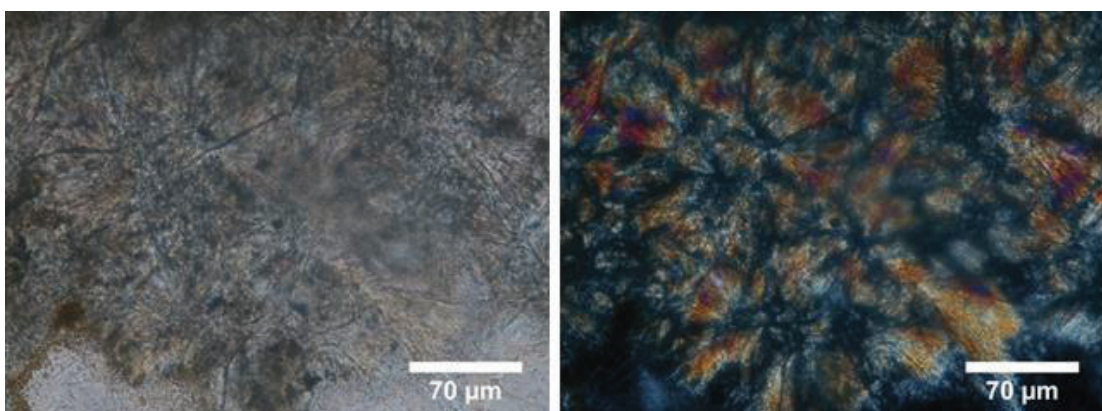




WM28 cristales de cuarzo primario (magmático) junto a líticos en matriz de cuarzo secundario microcristalino (hidrotermal) 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM 28 turmalina junto a un lítico en la parte superior derecha, rodeados por matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM 28 cristales de turmalina dispuestos en forma acicular radial 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 29  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679135 Y=9589626 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

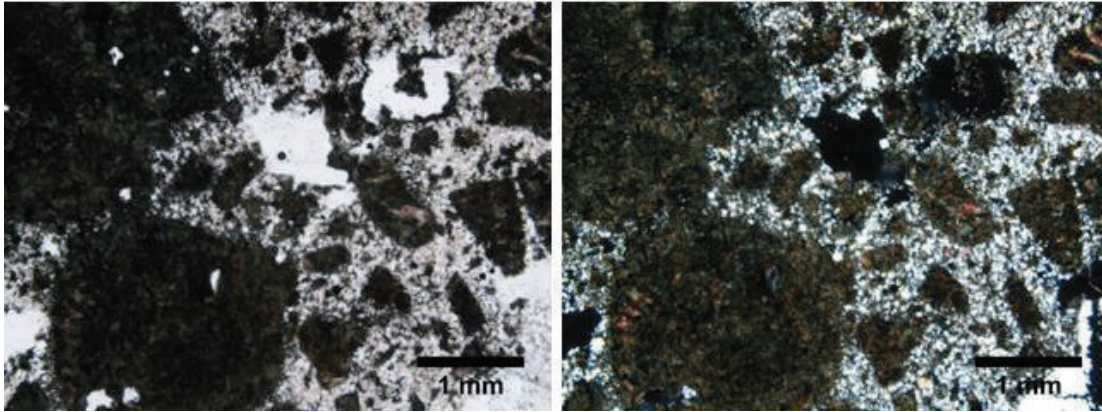
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Gris azulada oscura                  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                         |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, turmalina, líticos, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 13                              | Turmalina   | Agregados cristalinos con forma alargada, algunos tiene forma prismática, con una orientación radial, tiene un color verde azulado con alto relieve, presenta pleocroísmo |
| 7                               | Dumortierita  | Producto de alteración de las turmalinas. Se presentan de forma de cristales aciculares radialmente orientados, débil birrefringencia.                                    |
| 35                              | Líticos   | Pedazos de distinto tamaños (0.25 a 3 mm) esparcidos en toda la lámina, los cuales están alterados, se ve principalmente cuarzo, turmalina y clorita en ellos.            |
| 45                              | Matriz  | Formada por masas microcristalinas de cuarzo secundario que está en los espacios entre los fragmentos líticos.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La dumortierita ocurre como halos alrededor de la turmalina, lo cual indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba lítica riolítica con alteración argílica avanzada  |   |

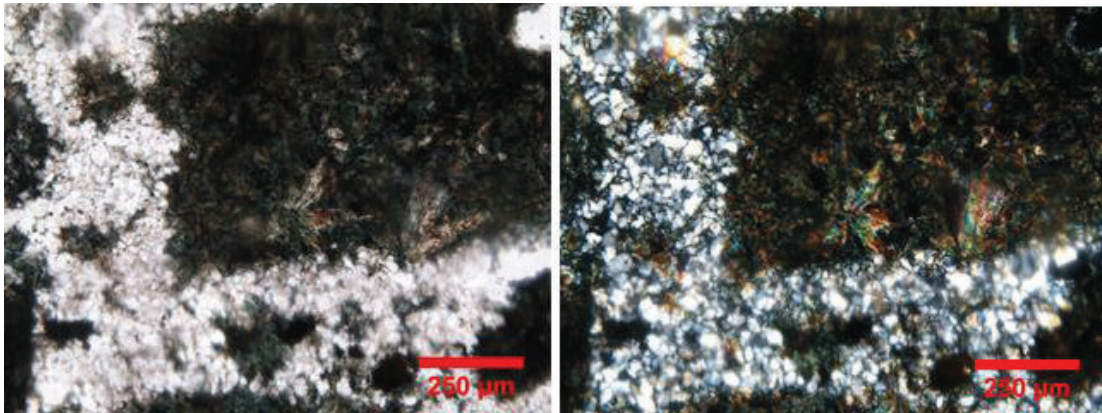


Muestra de mano

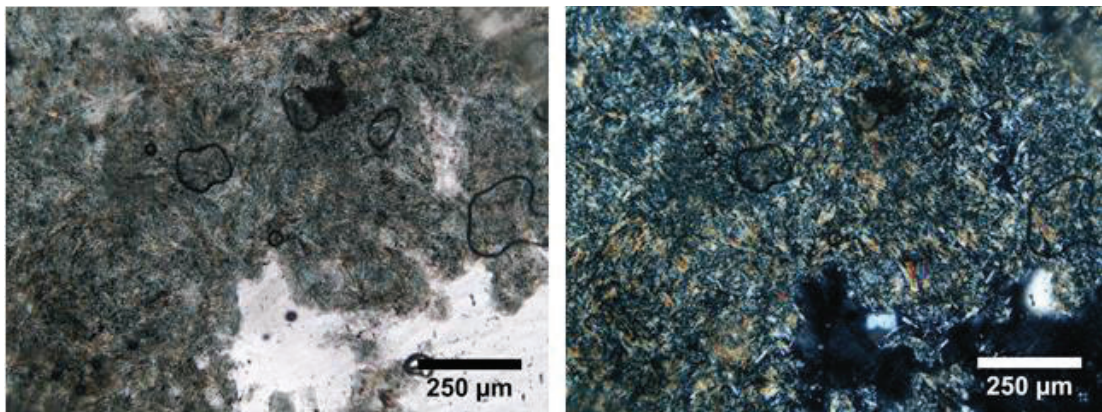




WM 29 líticos entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM29 turmalina dentro de un lítico rodeado por matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM29 dumortierita presente en un fragmento lítico 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



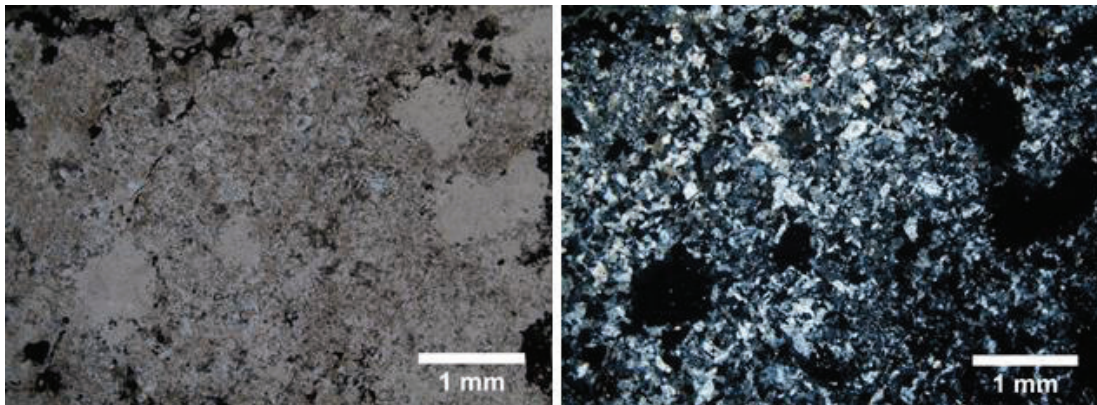
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 32  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679065 Y=9589462 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                                |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                              |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, óxidos de Fe, turmalina, matriz |

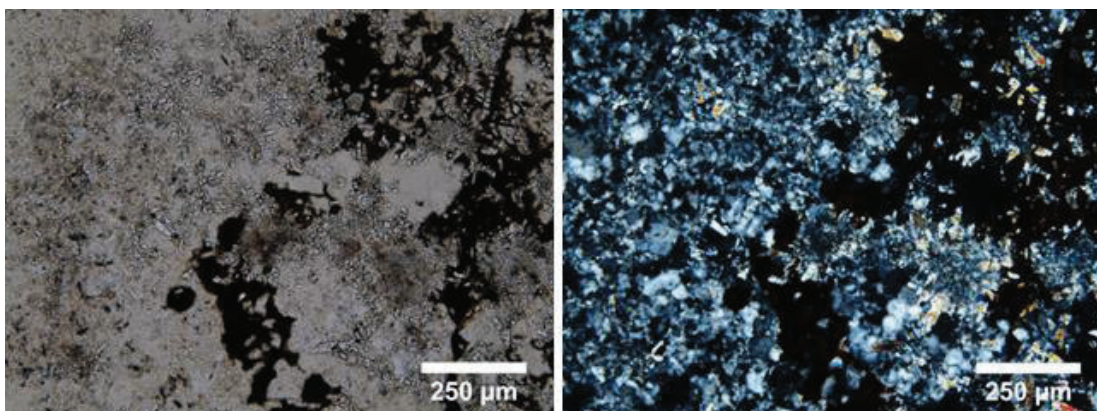
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 15                              | Hematita  | Color rojo disseminado en toda la lámina  |
| 10                              | Turmalina   | Cristales prismáticos alargados, de color verde, presenta un pleocroísmo fuerte, relieve alto y fuerte birrefringencia.   |
| 75                              | Matriz  | Formada por pirofilita que se presenta de manera incolora, en agregados finos, con relieve moderado (20%) y cristales de cuarzo secundario anhedrales con bajo relieve y de tamaño microcristalino (55%). |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La roca presenta abundante cuarzo hidrotermal formando la matriz. La presencia de turmalina indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada.  |   |



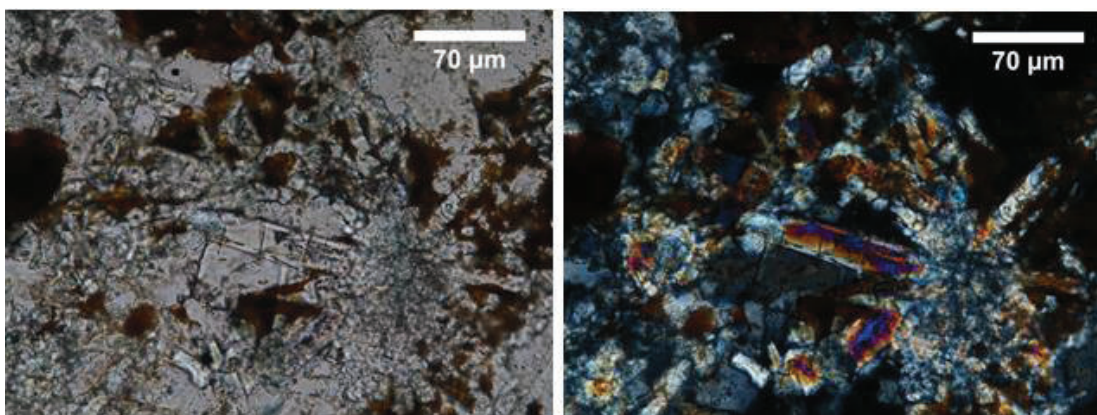
Muestra de mano



WM32 matriz formada por cuarzo secundario microcristalino y arcillas 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM 32 pirofilita entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM32 cristales tabulares de turmalina 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

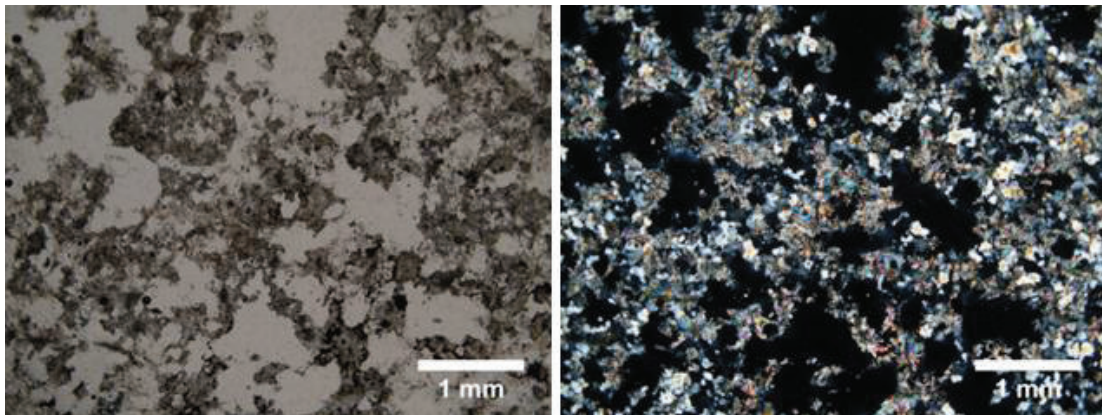


|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 36  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679494 Y=9589502 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

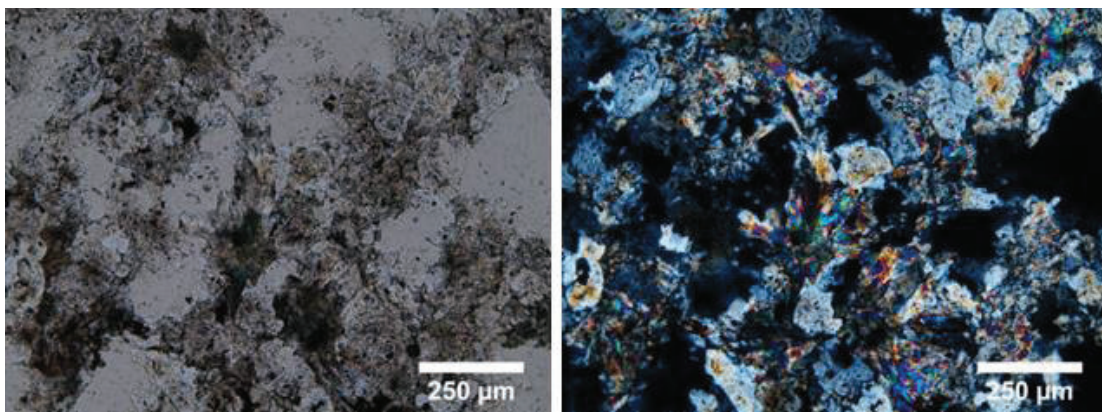
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                              |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                            |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, óxidos de Fe, turmalina, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |                |   |
|---------------------------------|----------------|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |                |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 32                              | Turmalina      | Se presenta de manera de agregados microcristalinos, relieve alto, color verde pálido y con birrefringencia fuerte, los mismos que se están transformando a dumortierita hacia los bordes.                            |
| 65                              | Matriz         | Conformada por cuarzo secundario microcristalino (50%) el cual se presenta en cristales anhedrales dispersos de manera irregular y formando parte de la matriz, son incoloros y con relieve bajo, y arcillas (15%)    |
| 3                               | Hematita       | Se presenta como agregados de color pardo.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            |                | La muestra presenta abundante turmalina, que se presenta entre los cristales de cuarzo secundario. La presencia de turmalina indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica. |
| <b>NOMBRE</b>                   |                | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |

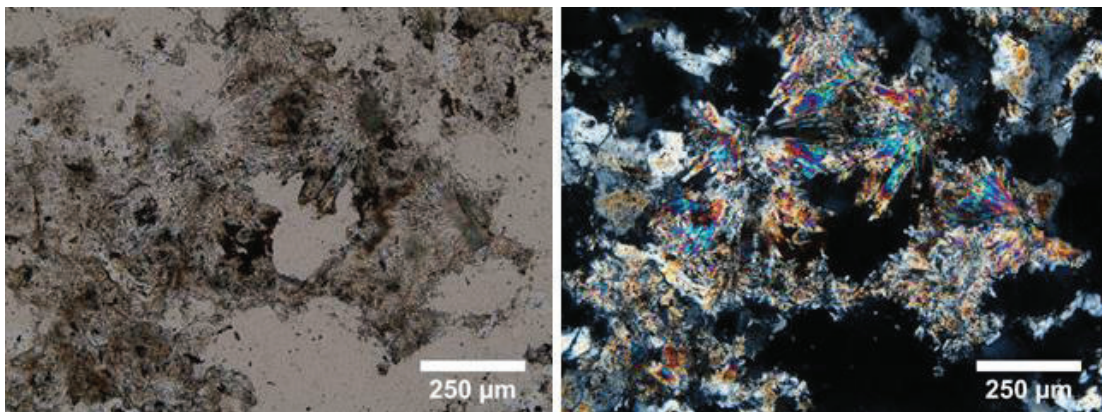




WM36 turmalina entre matriz de cuarzo secundario microcristalino y arcilla 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM36 turmalina entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM36 cristales de turmalina dispuestos de manera radial transformándose a dumortierita en los bordes, entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 40  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679550 Y=9589586 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

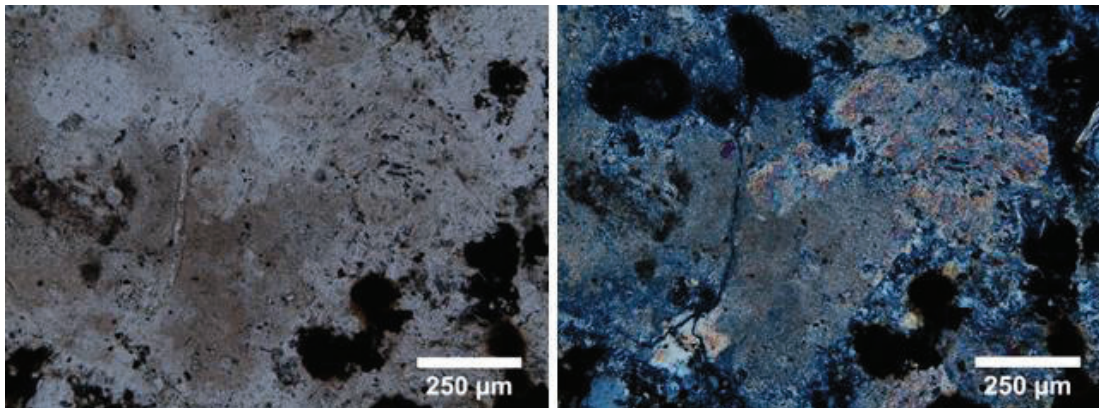
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                            |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                          |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, óxido de Fe, cuarzo, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 10                              | Kaolinita   | Color amarillo pálido con aspecto terroso, se encuentra en forma de masas criptocristalinas, con un relieve bajo y débil birrefringencia. |
| 5                               | Turmalina   | Agregados cristalinos tabulares de color verde azulado con alto relieve, presenta pleocroísmo y altos colores de interferencia.           |
| 5                               | Hematita  | Agregados de color pardo  |
| 10                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario esparcidos en la lámina, están fraccionados, presentan relieve bajo, forma anhedral.                         |
| 70                              | Matriz  | Conformada por cuarzo secundario (30%) se presenta como una masa microcristalina y también contiene arcillas (40%).                       |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La kaolinita de esta muestra se ha determinado con ayuda de Terraspec. La presencia de turmalina indica una superimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración fílica. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |   |

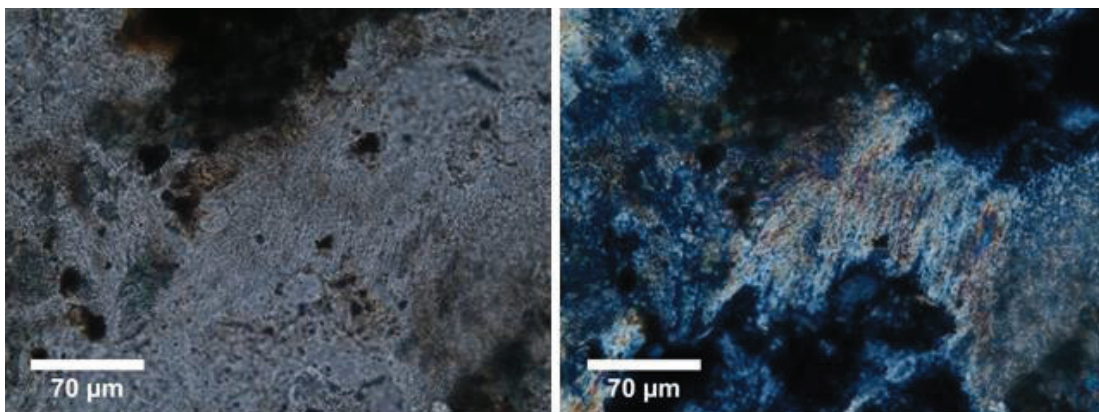


Muestra de mano

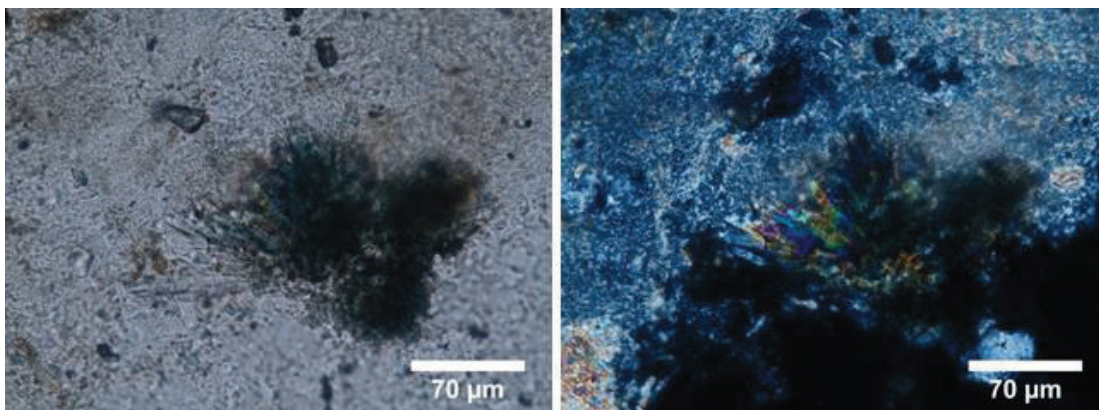




WM40 masas criptocristalinas de kaolinita junto a hematita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM40 masas criptocristalinas de kaolinita junto a hematita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM40 cristales de turmalina y masas criptocristalinas de kaolinita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

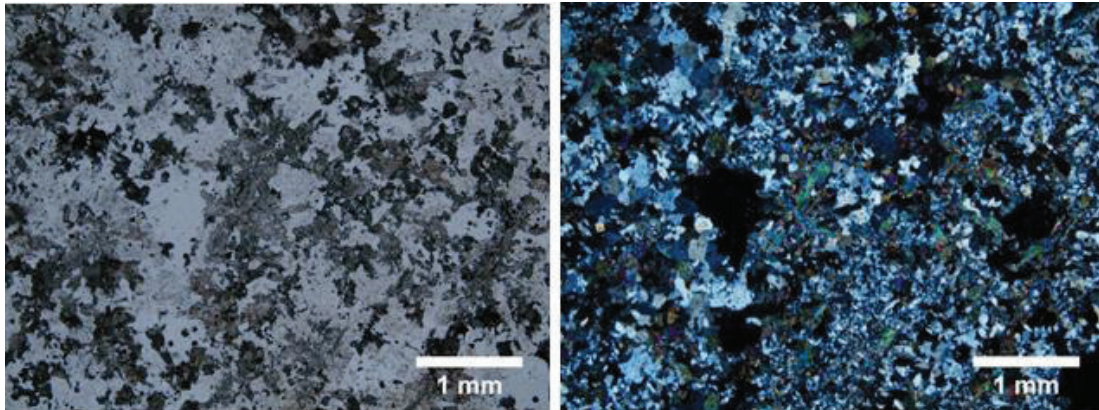
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 42  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679476 Y=9589623 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris oscuro                               |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                              |
| <b>COMPONENTES</b>              | Turmalina, óxidos de Fe, arcillas, matriz |

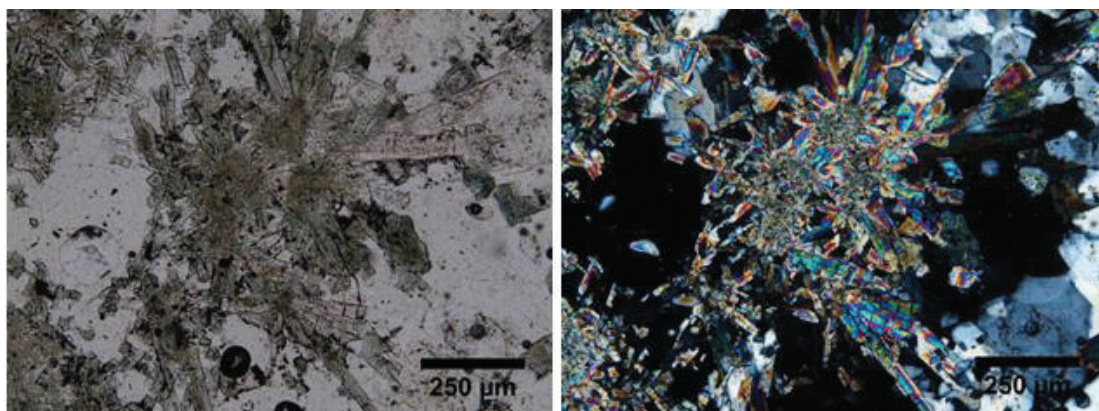
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 30                              | Turmalina  | Se presentan cristales prismáticos de color verde, tienen alto relieve, colores de interferencia moderados. En algunas partes están dispuestos de manera radial. |
| 67                              | Matriz   | Compuesta por cristales de cuarzo secundario microcristalino, son incoloros con relieve muy bajo y forma subhedral.  |
| 3                               | Hematita   | Color pardo, esta de manera diseminada   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta unos cristales grandes de turmalina que aparecen en cavidades, rodeado por una matriz de cuarzo secundario. La presencia de turmalina indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada  |  |







WM42 turmalina entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM42 cristales tabulares de turmalina en matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

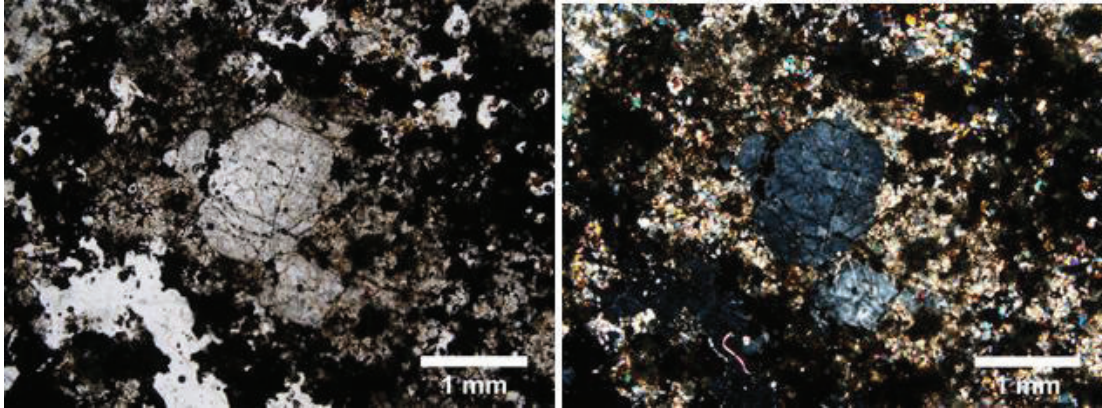
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 43  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679477 Y=9589635 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                                      |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, óxidos de Fe, turmalina, arcillas, matriz |

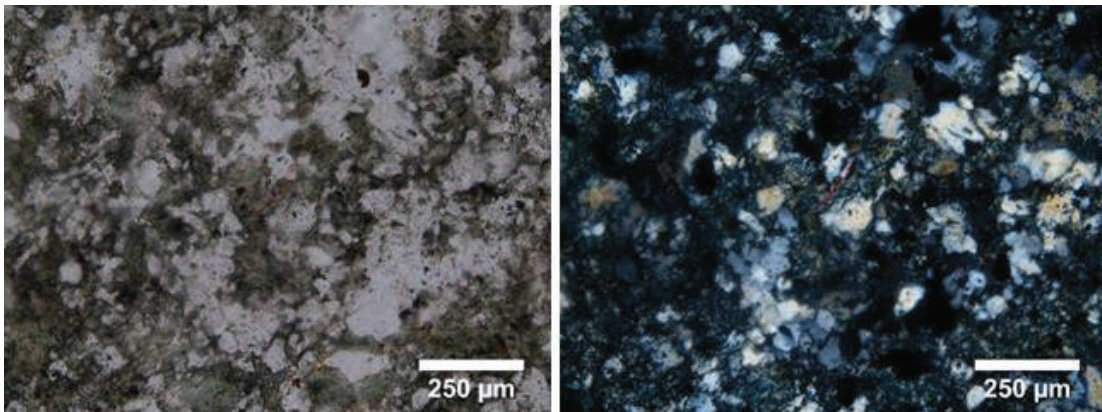
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 5                               | Hematita  | Color rojizo, forma anhedral, esta diseminada.  |
| 10                              | Turmalina   | Cristales alargados muy pequeños, solo son visibles con el lente de mayor aumento (40X), color verde pálido, relieve alto y birrefringencia moderada. |
| 80                              | Matriz  | Cubre la mayor parte de la lámina. Conformada por arcillas (25%), cuarzo secundario en masas microcristalinas y cristales subhedrales (55%).          |
| 5                               | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario esparcidos en la lámina, están fragmentados, presentan relieve bajo, forma anhedral.                                     |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | En la muestra se aprecia claramente el cuarzo, pero la turmalina no se distingue muy bien debido a su pequeño tamaño, se ha comprobado que se trata de Turmalina con ayuda de análisis de Terraspec. La presencia de turmalina indica una sobreimpresión de la alteración argílica avanzada sobre la alteración filica. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |   |



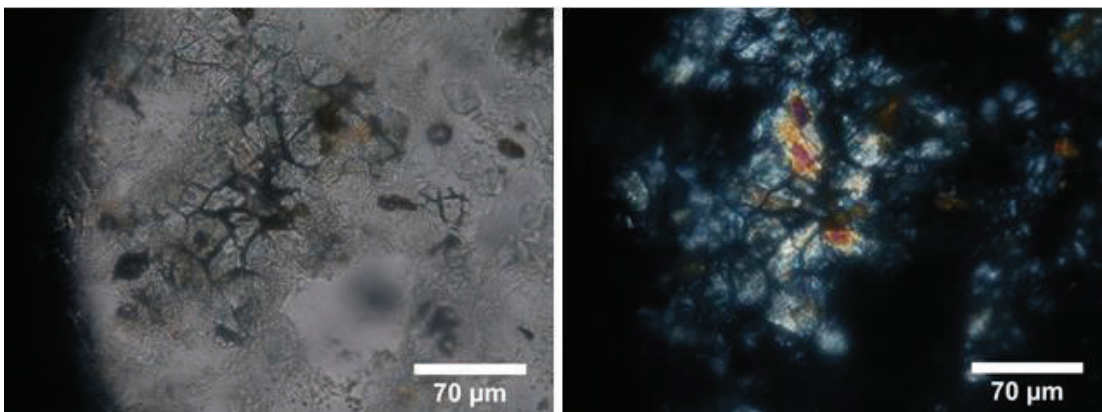




WM43 cristal de cuarzo primario (magmático) en matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino y arcillas 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM43 matriz cuarzo secundario microcristalino y arcillosa, con turmalina microcristalina en el centro 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM43 microcristales de turmalina 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 44  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679508 Y=9589644 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

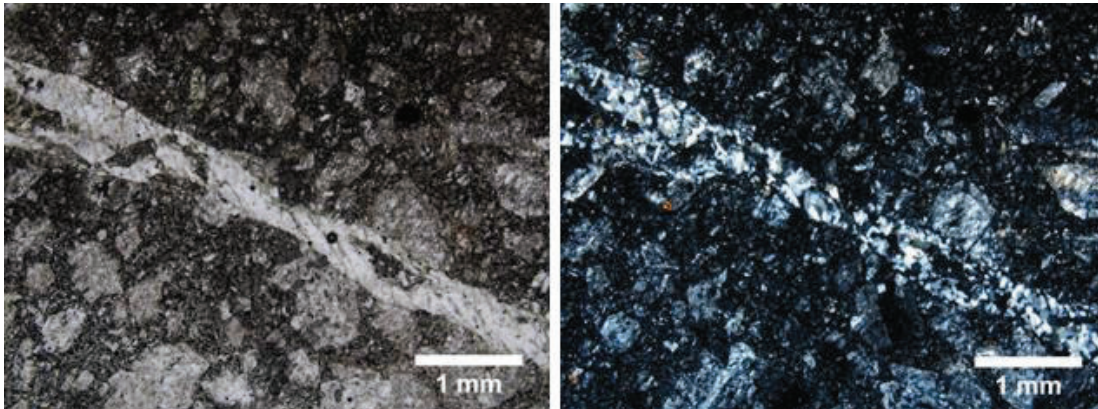
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Negro grisáceo                                      |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |
| <b>COMPONENTES</b>              | Plagioclasas, anfíboles, clorita, magnetita, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Cinerítica (matriz fina de cenizas volcánicas dominante, con fragmentos cristalinos angulosos dispersos).   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 15                              | Plagioclasas  | Se ven cristales de plagioclasa un poco alteradas, presentan una forma euhedral con maclas polisintéticas, relieve moderado y débil birrefringencia.  |
| 3                               | Hornblenda  | Relictos, se están alterando a clorita, tienen forma larga con relieve muy alto, color marrón y birrefringencia moderada  |
| 5                               | Clorita   | Se presenta como alteración de anfíboles, en forma de agregados de color verde y un relieve moderado.   |
| 75                              | Matriz  | Formada por cristales subhedrales de cuarzo secundario (45 %) de relieve bajo, color gris; la lámina presenta una fractura rellena por cuarzo hidrotermal y también hay arcillas en la matriz (30%), formando en conjunto un agregado criptocristalino. |
| 2                               | Magnetita   | Forma euhedral, color negro diseminado en la lámina   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se ve una vetilla de cuarzo secundario, la muestra no está tan alterada ya que se aprecian aun las plagioclasas, la roca presenta magnetita derivada de los fragmentos andesíticos que constituyen la toba. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina andesítica-dacítica con alteración propilítica  |   |

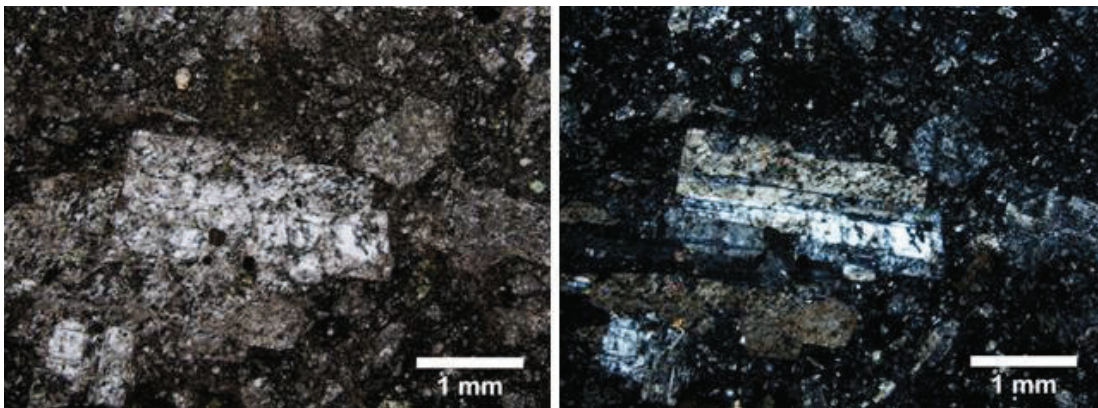


Muestra de mano

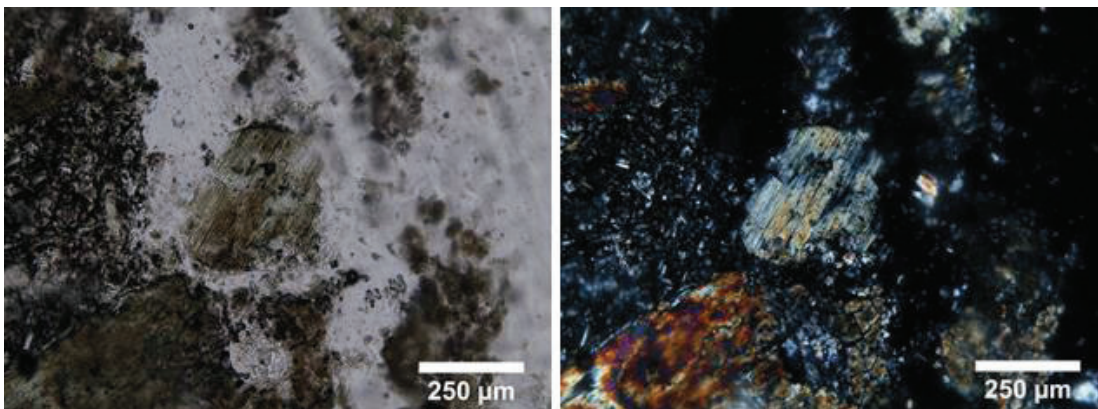




WM44 vetilla de cuarzo secundario microcristalino 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM44 cristal de plagioclasa alterada transformándose a arcillas 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM44 relicto de hornblenda alterada a clorita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

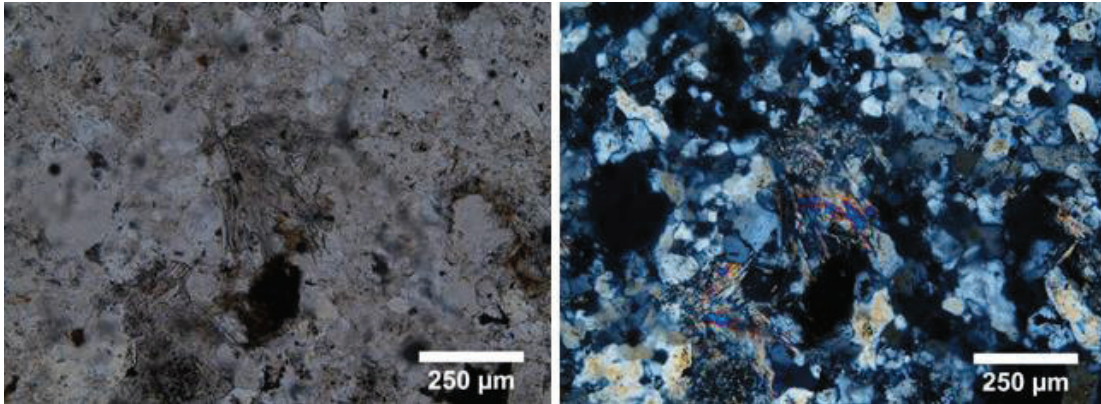
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 48  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679930 Y=9589472 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                             |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, óxidos de Fe, arcillas, matriz |

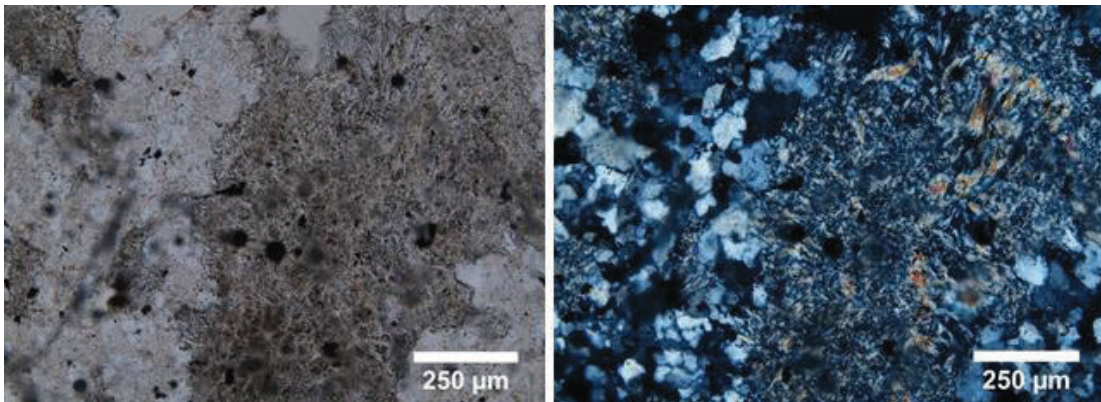
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 20                              | Sericita  | Agregados escamosos microcristalinos de relieve moderado, de color amarillo pálido, birrefringencia fuerte.                              |
| 3                               | Hematita  | Color pardo se presenta de forma diseminada  |
| 77                              | Matriz  | Formada por cuarzo secundario microcristalino (50%) que se presenta en forma subhedral, incoloro, de relieve bajo, y por arcillas (22%). |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Con análisis de Terraspec se ha determinado la presencia de sericita en la muestra. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba dacítica con alteración fílica   |  |



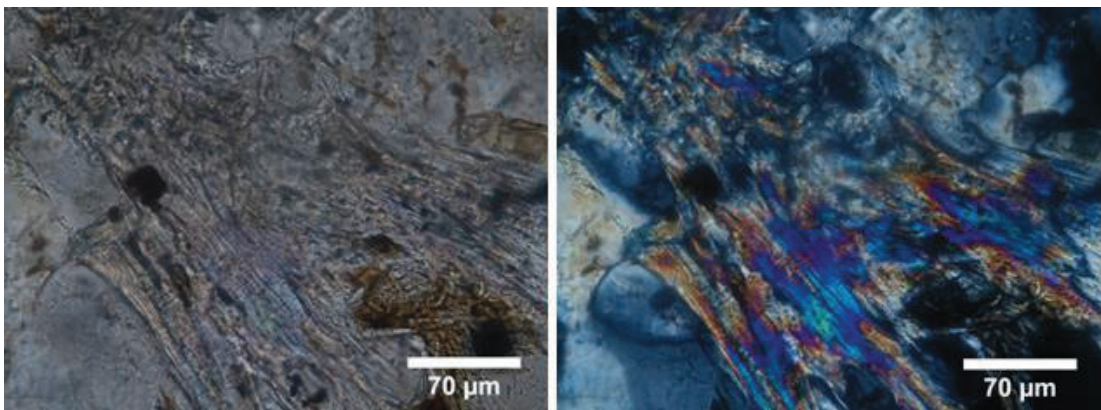




WM48 agregados de sericita en matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM48 agregados microcristalinos de sericita en matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM48 sericita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

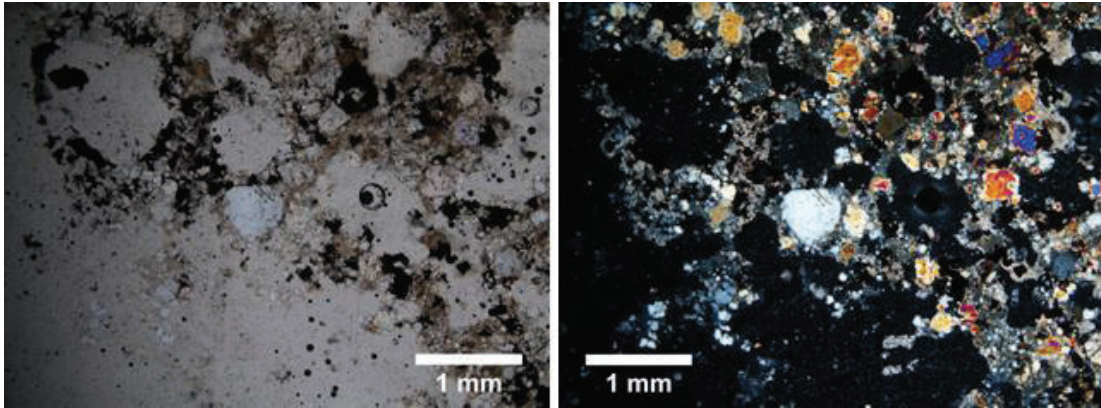
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 51  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679864 Y=9589542 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris blanquecino                       |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Óxidos de Fe, cuarzo, arcillas, matriz |

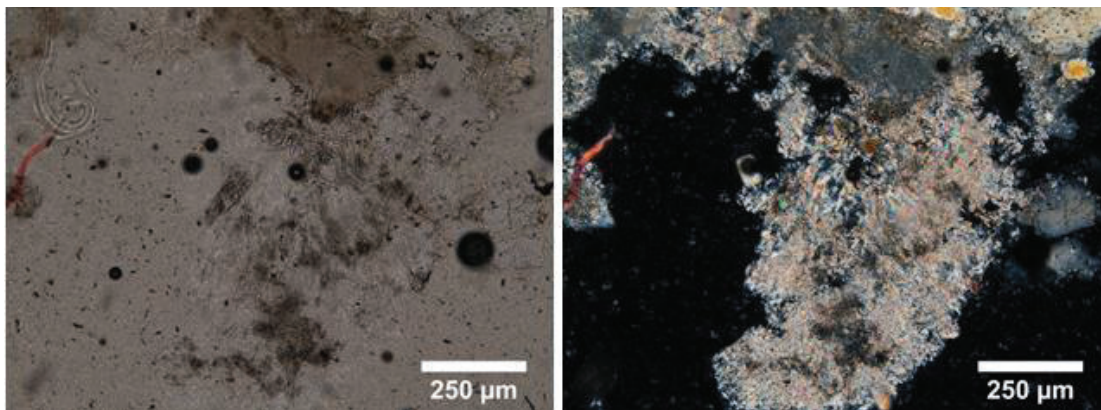
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 15                              | Illita   | Masas criptocristalinas de relieve moderado, de color amarillento pálido, relieve bajo y fuerte birrefringencia. Se presentan de manera intercrecida entre los cristales de cuarzo. |
| 5                               | Sericita   | Agregados criptocristalinos alargados de relieve moderado, de color amarillo pálido, relieve moderado, birrefringencia fuerte   |
| 4                               | Hematita   | Color pardo oscuro, diseminado en la lámina   |
| 15                              | Cuarzo   | Cristales de cuarzo primario esparcidos en la lámina, presentan relieve bajo, forma subhedral.  |
| 61                              | Matriz   | Conformada por cuarzo secundario microcristalino, se ven formas anhedrales de bajo relieve (35%) y arcillas (26%)   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se ha determinado la presencia de illita en la muestra con ayuda de Terraspec. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración Sericita-arcillas-clorita              |   |



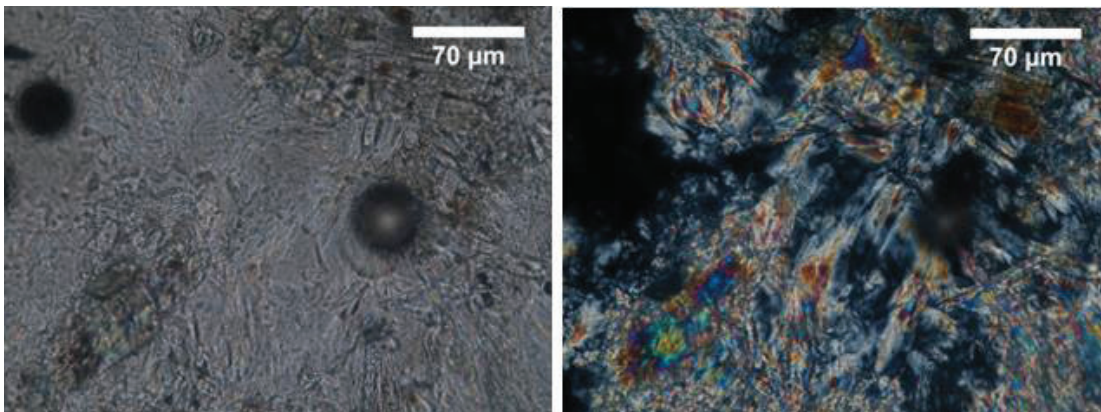




WM51 cristal subredondeado de cuarzo primario (magmático) en el centro, matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM51 masas criptocristalinas de illita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM51 sericita junto a illita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 54  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679780 Y=9589544 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

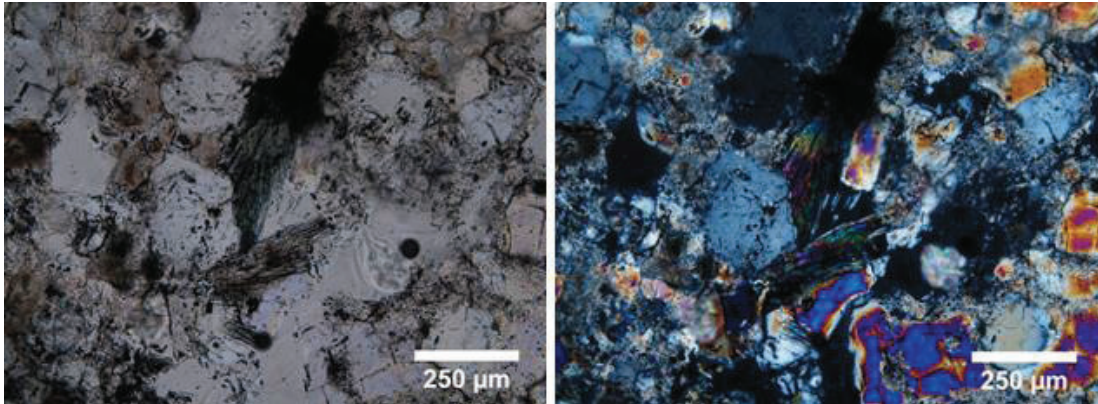
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris-blanco                            |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, cuarzo, óxidos de Fe, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 20                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario fragmentados incoloros subhedrales y relieve bajo, los cristales de cuarzo presentan fracturas.             |
| 5                               | Turmalina   | Se ven masas cristalinas aciculares esparcidas en la lámina, son de color verde pálido y con relieve alto. Tiene birrefringencia fuerte. |
| 3                               | Hematita  | Agregados dispersos en la lámina   |
| 15                              | Illita  | Se encuentra de forma criptocristalina, incolora, relieve bajo y birrefringencia moderada.   |
| 57                              | Matriz  | Conformada por arcillas (20%), cuarzo secundario microcristalino (37%).  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | En la matriz se ve illita que es confundible fácilmente con sericita, sin embargo un análisis de TerraSpec confirma la presencia de illita en la muestra. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración fílica  |  |

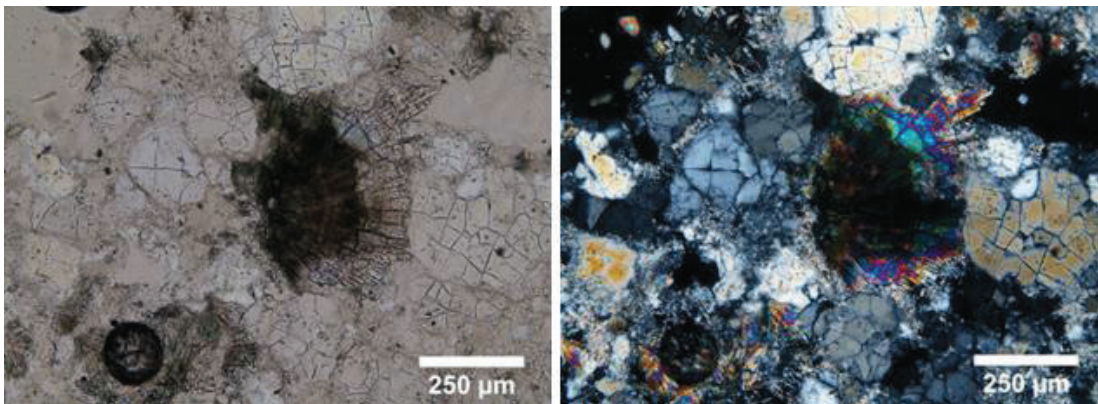


**Muestra de mano**

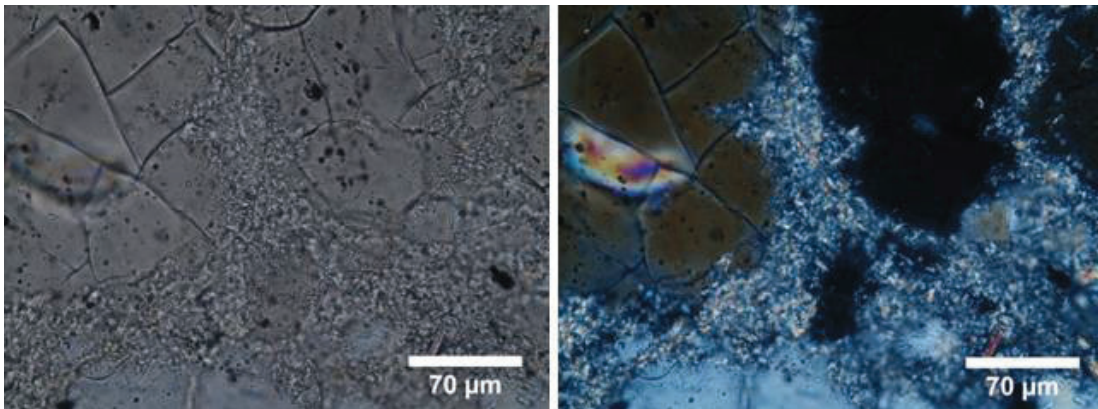




WM54 cristales de turmalina en matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM54 turmalina y cristales de cuarzo primario fragmentado en una matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM54 masas criptocristalinas de illita junto a un cristal fragmentado de cuarzo 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 64  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=678892 Y=9590256 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

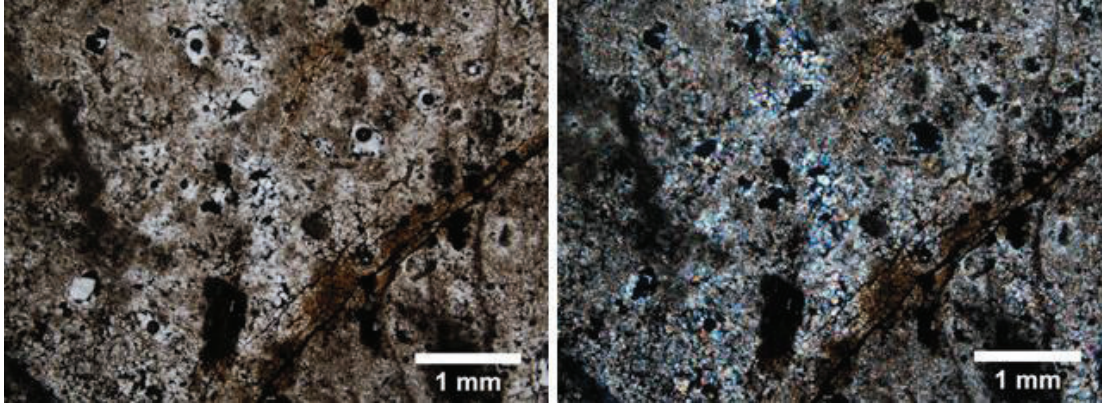
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Blanco-crema         |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica         |
| <b>COMPONENTES</b>              | Sílice, óxidos de Fe |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 15                              | Opacos  | Se presentan de manera diseminada y en fracturas a lo largo de la muestra. Posiblemente hematita de color pardo. |
| 85                              | Matriz  | Presenta una matriz formada por sílice que forma prácticamente toda la roca.                                     |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La roca está totalmente silicificada (todos los componentes han sido reemplazados totalmente por sílice). |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba silicificada   |  |

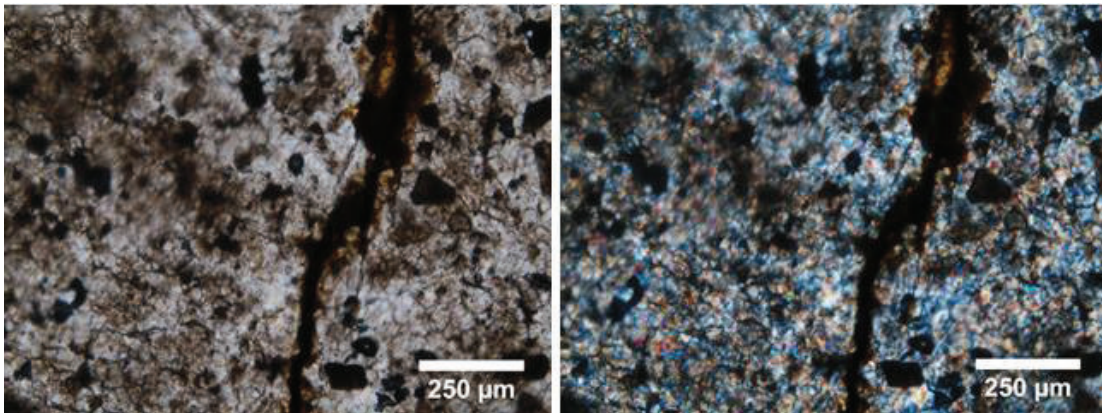


Muestra de mano





WM64 fractura con hematita en una matriz silícea 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM64 fractura rellena con hematita en una matriz silícea 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

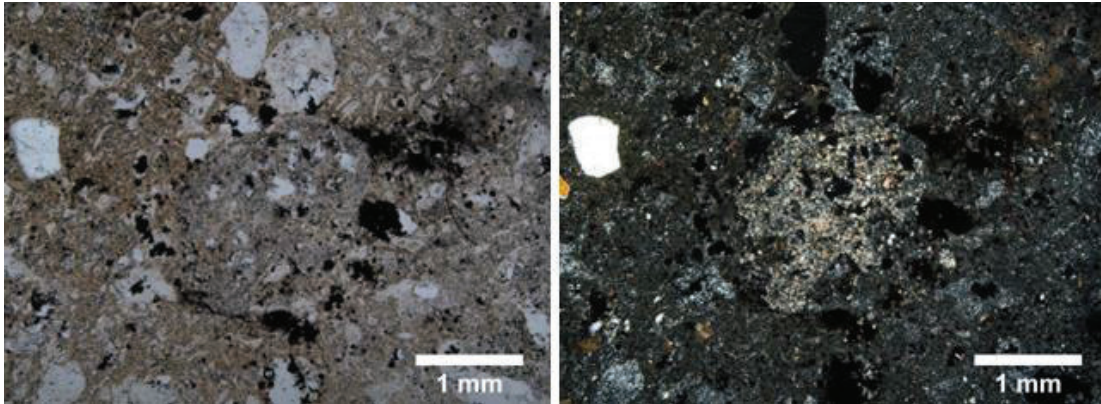
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 69                                     |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682501 Y=9591503 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Crema   |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                                    |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, líticos, óxidos de Fe, arcillas, matriz |

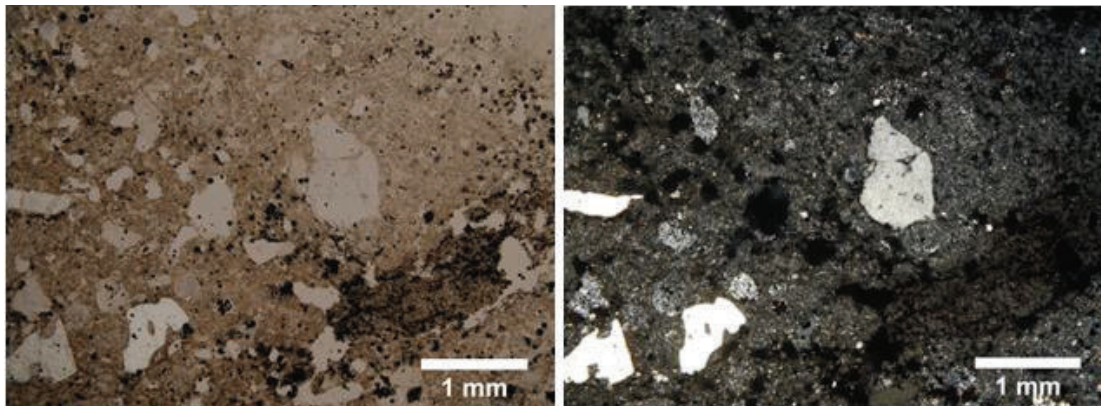
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 15                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario incoloros de forma subhedrales redondeados y tamaño grande, relieve bajo. Se encuentran dispersos en la lámina y también en los fragmentos líticos. |
| 3                               | Hematita  | Color roja, se encuentra dispersa en la lámina   |
| 65                              | Matriz  | Conformada por arcillas (30%) en forma de masas criptocristalinas y sílice (42%)   |
| 15                              | Lítics  | Forma subredondeada, de tamaño de 1,5 mm. En los líticos se distingue fragmentos pequeños de cuarzo primario.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta mayormente una matriz sílice-arcillosa, en un análisis de Terraspec se encontró que hay presencia de dickita, sin embargo no se puede observar muy bien en la lámina delgada dado su tamaño muy pequeño en la matriz. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba lítica dacítica con alteración argílica avanzada   |  |



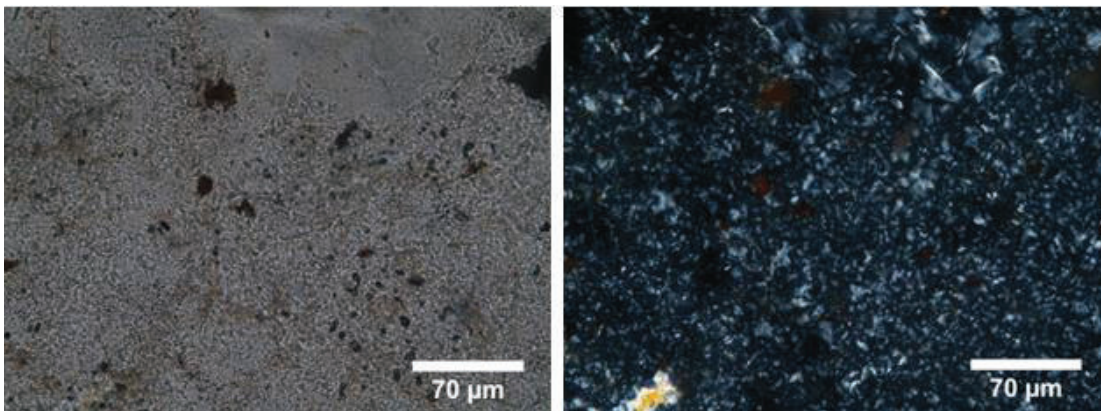




WM69 en el centro un lítico con fragmentos pequeños de cuarzo, a la izquierda un cristal de cuarzo primario 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM69 fragmentos cristalinos de cuarzo primario en matriz sílice-arcillosa 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM69 matriz sílicea 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

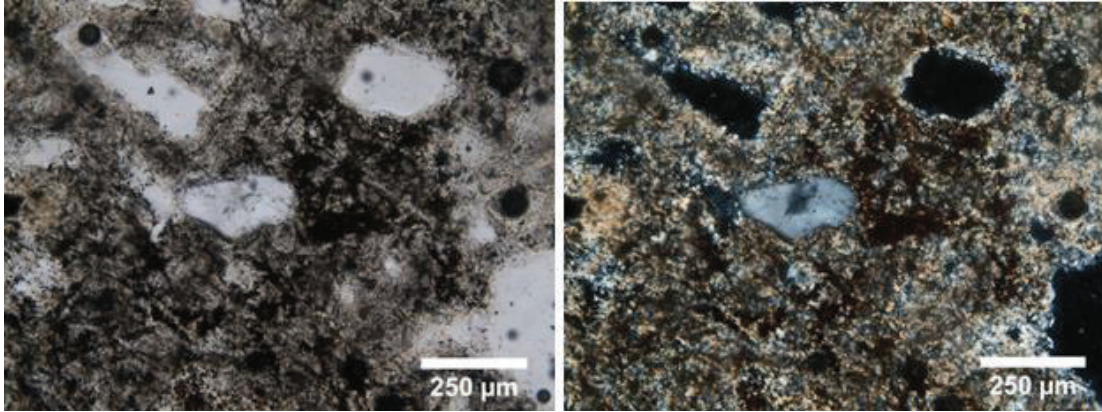
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 70                                     |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682427 Y=9591682 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Blanco-crema             |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica             |
| <b>COMPONENTES</b>              | Arcillas, cuarzo, matriz |

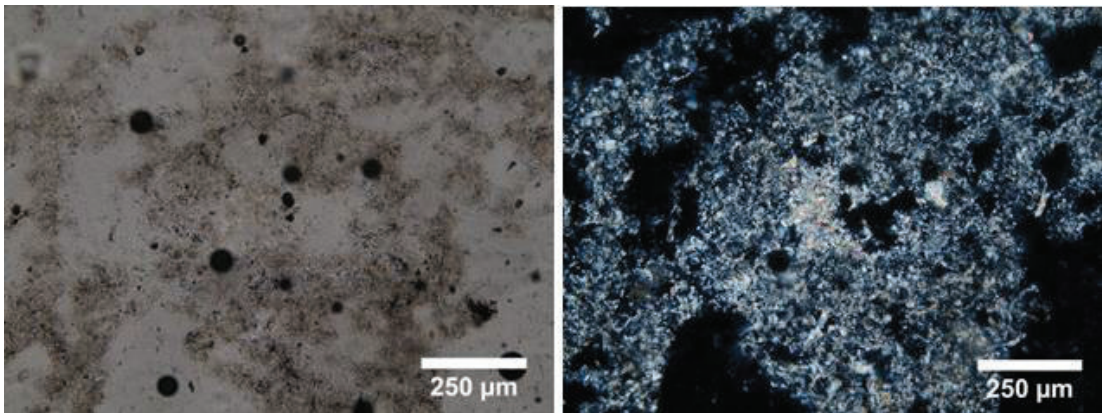
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 20                              | Illita  | Se encuentra de forma criptocristalina, es incolora, relieve bajo y birrefringencia fuerte.                                   |
| 5                               | Cuarzo  | Fragmentos cristalinos de cuarzo primario, incoloros subhedrales y relieve bajo, los cristales de cuarzo presentan fracturas. |
| 75                              | Matriz  | Formada por arcillas (35%) y sílice (40%)   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | En la lámina se ve una matriz sílicea-arcillosa, la arcilla presente ha sido determinada como illita con análisis de TerraSpec. Se trata de alteración argílica avanzada con abundante silicificación |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica silicificada   |   |



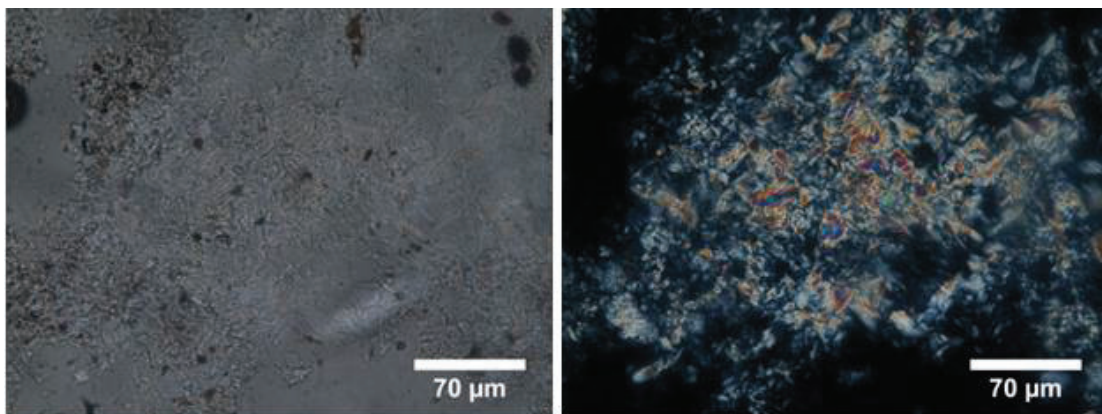




WM70 cristal de cuarzo primario en matriz silíceo-arcillosa 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM70 masas criptocristalinas de illita junto a silice 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM70 illita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

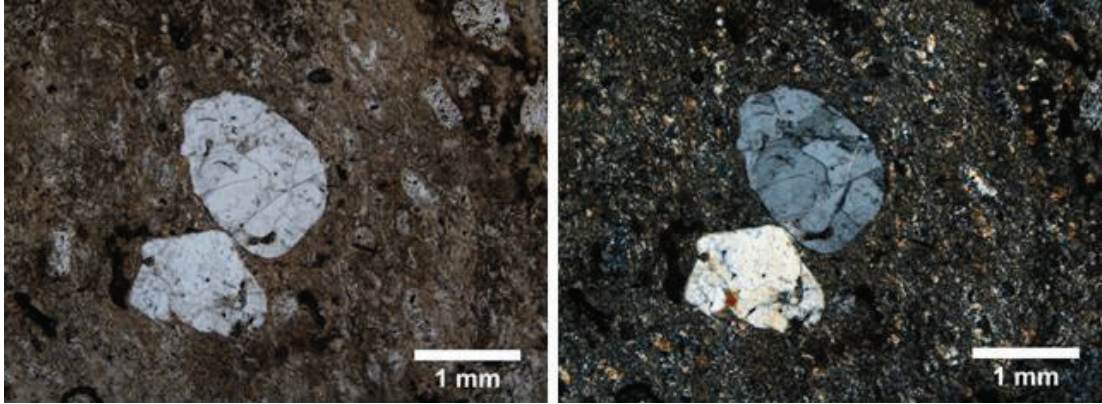
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 81                                     |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682391 Y=9591023 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Crema                                  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, arcillas, óxidos de Fe, matriz |

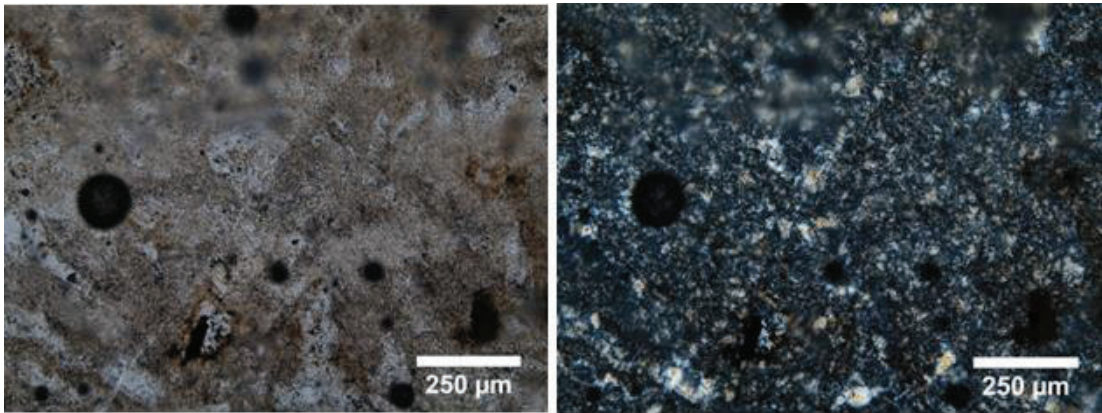
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 15                              | Cuarzo  | Cristales grandes de cuarzo primario, subredondeados, de tamaño 1-2 mm, con forma anhedral, relieve bajo, presenta fracturas. |
| 3                               | Hematita  | Color pardo oscuro, se encuentra diseminado en la lámina  |
| 82                              | Matriz  | Formada por cuarzo secundario microcristalino (37%) y arcillas (45%) en masas criptocristalinas dentro de la matriz           |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Con un análisis de TerraSpec a la muestra se determinó la presencia de kaolinita, pero no se la pudo ver en la lámina delgada, posiblemente está formando parte de la matriz. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |   |



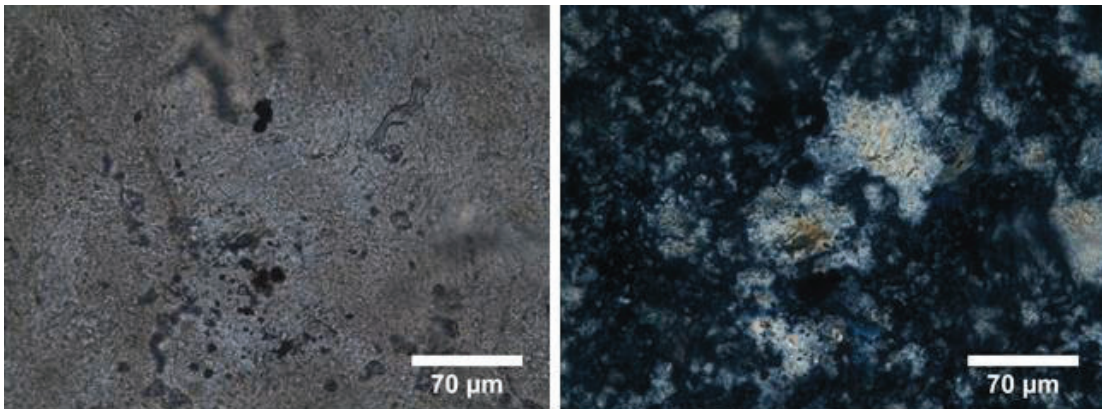




WM81 cristales fracturados de cuarzo primario en matriz arcillosa 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM81 matriz de cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino y arcillas 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM81 cuarzo secundario microcristalino en matriz 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

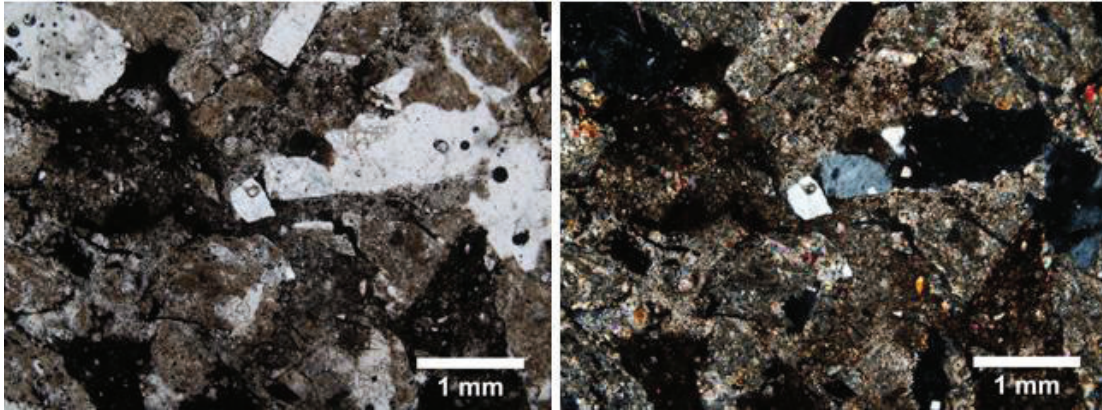
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 87                                     |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682520 Y=9590795 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                                       |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                                     |
| <b>COMPONENTES</b>              | Lífticos, arcillas, cuarzo, óxidos de Fe, matriz |

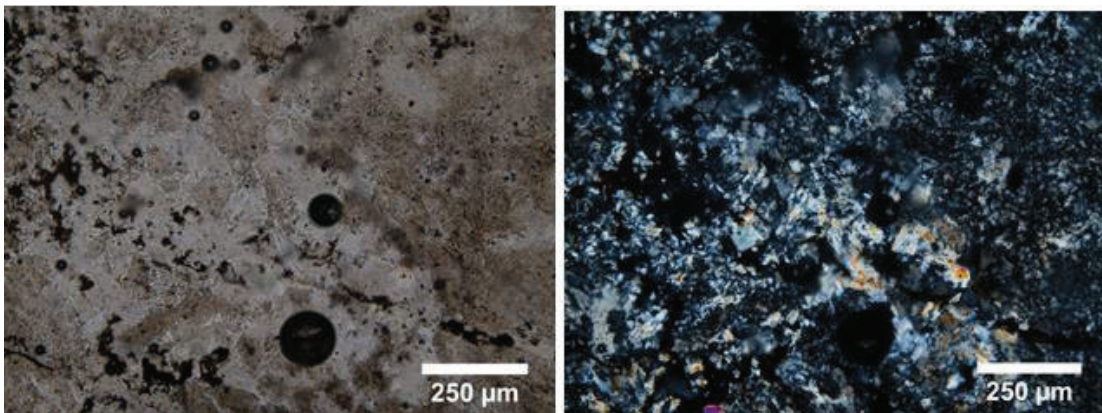
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 30                              | Lífticos  | Forma angulosa irregular, entre ellos se distinguen pequeños cristales de cuarzo. Los lífticos están rodeados por vacíos en la lámina, esto debido a que la mayor parte de la matriz arcillosa ha desaparecido durante la realización de la lámina delgada. |
| 15                              | Cuarzo  | Se ven algunos fragmentos de cuarzo primario de menos de 0.5 mm que están dispersos en la lámina, éstos presentan un relieve bajo y una forma anhedral.   |
| 15                              | Alunita   | Se encuentra diseminada entre el cuarzo hidrotermal microcristalino, es incolora, presenta birrefringencia moderada.  |
| 35                              | Matriz  | Conformada por algunas arcillas (15%) y cuarzo secundario microcristalino (20%) en masas que ocupan la mayor parte de la lámina.  |
| 5                               | Hematita  | Color rojo oscuro diseminando en ciertas partes de la lámina  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se ha determinado la presencia de alunita con ayuda de TerraSpec. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba líftica dacítica con alteración argílica avanzada            |   |



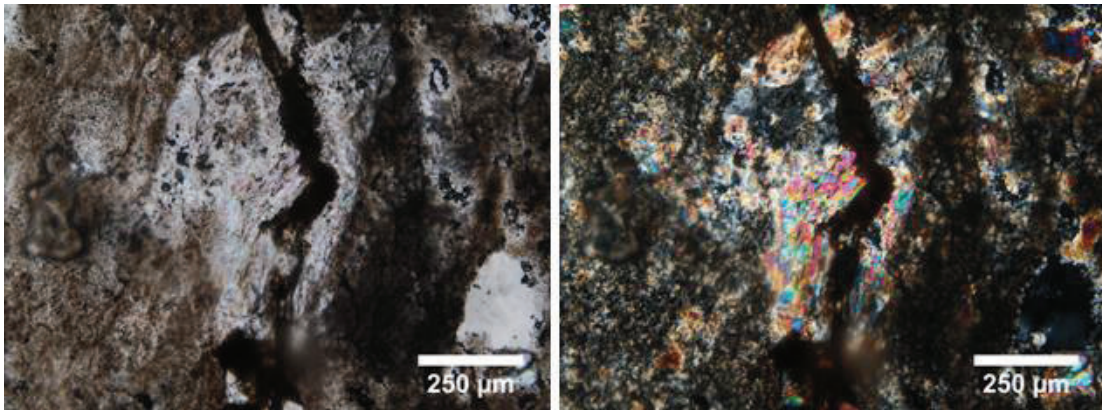




WM87 cristales de cuarzo primario y líticos en una matriz conformada por arcillas y cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM87 alunita dentro de matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM87 cristal de alunita atravesado por una fractura 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 92                                     |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682790 Y=9590759 PSAD56 Sector: Noreste |

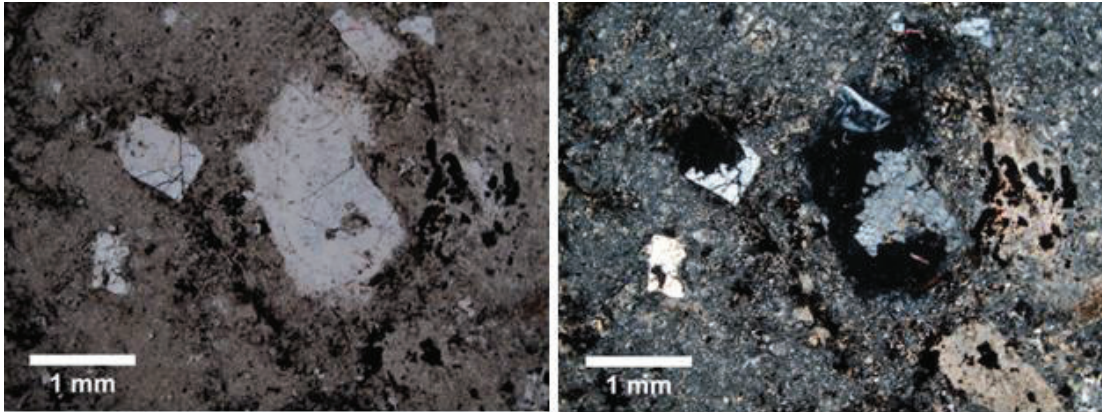
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                             |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, arcillas, óxidos de Fe, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 10                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario de forma subhedral, relieve bajo, grandes de hasta de 1 mm, fragmentados y dispersos en la matriz.                        |
| 15                              | Pirofilita  | Forma masas criptocristalinas con relieve moderado y fuerte birrefringencia. Se presenta en formas envolventes y también está diseminado en la matriz. |
| 5                               | Hematita  | Color café oscuro, se encuentra diseminada en la lámina y en las fracturas.  |
| 70                              | Matriz  | Formada por cuarzo secundario microcristalino (40%) y arcillas (30%).  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta arcillas tanto en cúmulos dispersos en la lámina como en la matriz, ésta ha sido analizada con TerraSpec dando como resultado pirofilita. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |  |

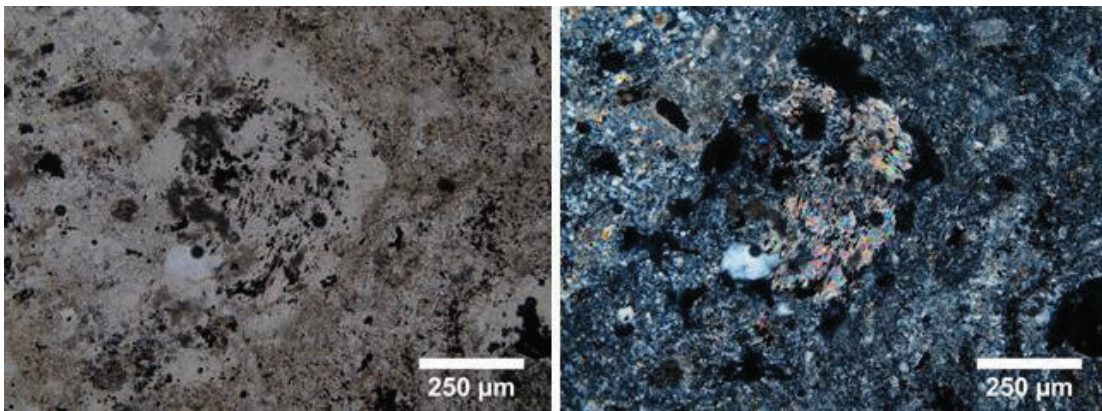


Muestra de mano

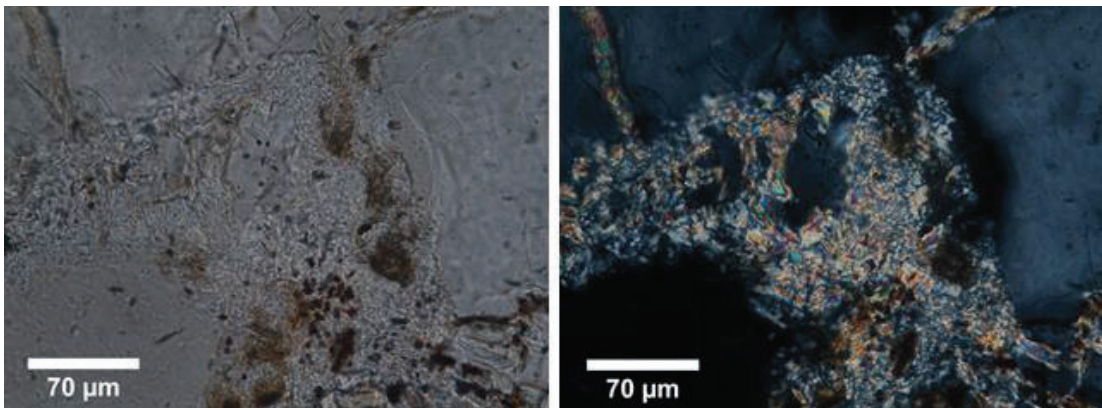




WM92 fragmentos de cuarzo primario fragmentados dentro de una matriz de arcillas y cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM92 masas criptocristalinas de pirofilita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM92 masas criptocristalinas de pirofilita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

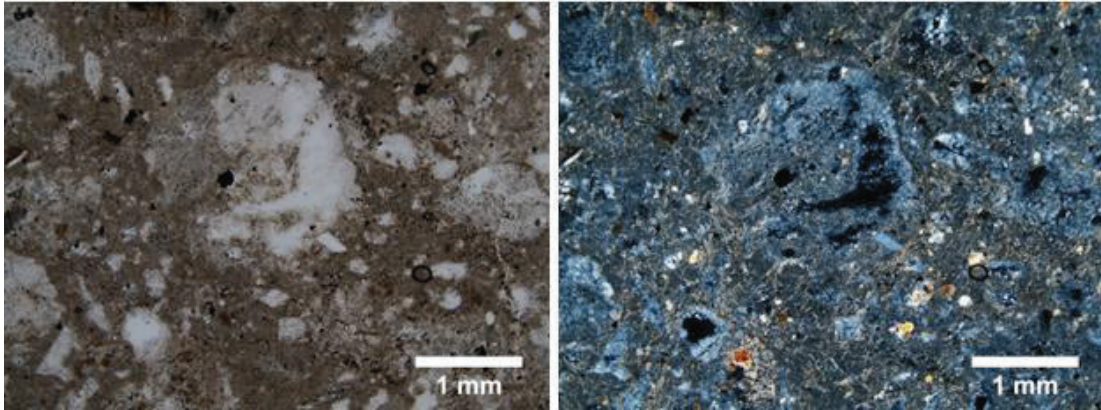
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 103                                    |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682423 Y=9590029 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro                                      |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                                    |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, arcillas, líticos, óxidos de Fe, matriz |

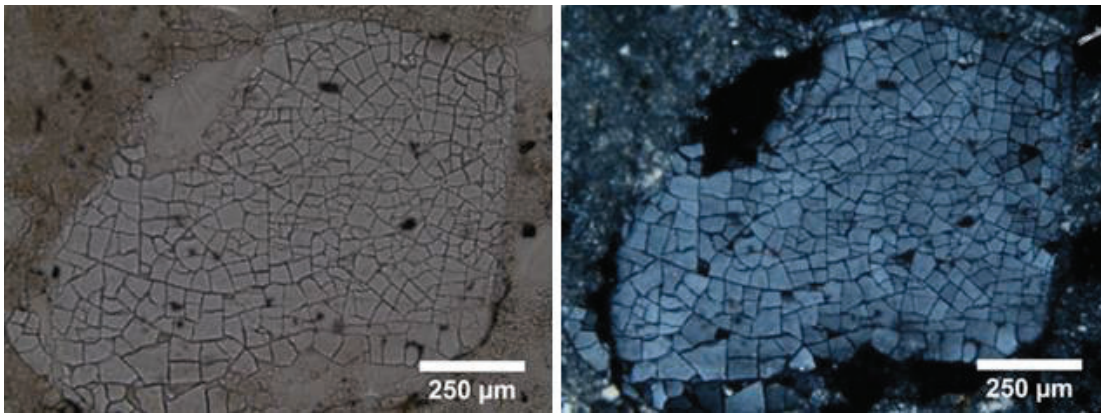
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 10                              | Cuarzo  | Cristales grandes de cuarzo primario de hasta 1,5 mm, diseminados en la lámina. Presentan fragmentación, forma anhedral, incoloros y de relieve bajo. |
| 15                              | Illita  | Se ven entre los cristales de cuarzo como masas criptocristalinas de relieve bajo, presentan birrefringencia fuerte.                                  |
| 57                              | Matriz  | Formada por arcillas (35%) y cuarzo secundario microcristalino (22%)  |
| 3                               | Hematita  | Color parda esparcida en algunas zonas de la lámina   |
| 15                              | Líticos   | De composición dacítica, con microcristales de cuarzo primario.   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Las arcillas están formando masas criptocristalinas en la matriz junto al cuarzo secundario, illita ha sido determinada como con análisis de TerraSpec. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba lítica dacítica con alteración argílica  |   |



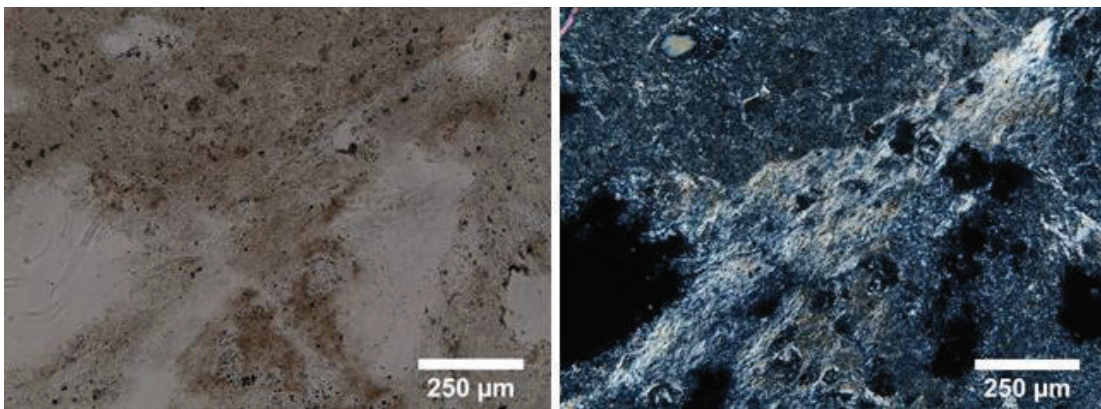




WM103 fragmento lítico de composición dacítica en matriz cuarzo-arcillosa 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM103 cristal grande de cuarzo primario fragmentado 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM103 illita en masas criptocristalinas 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

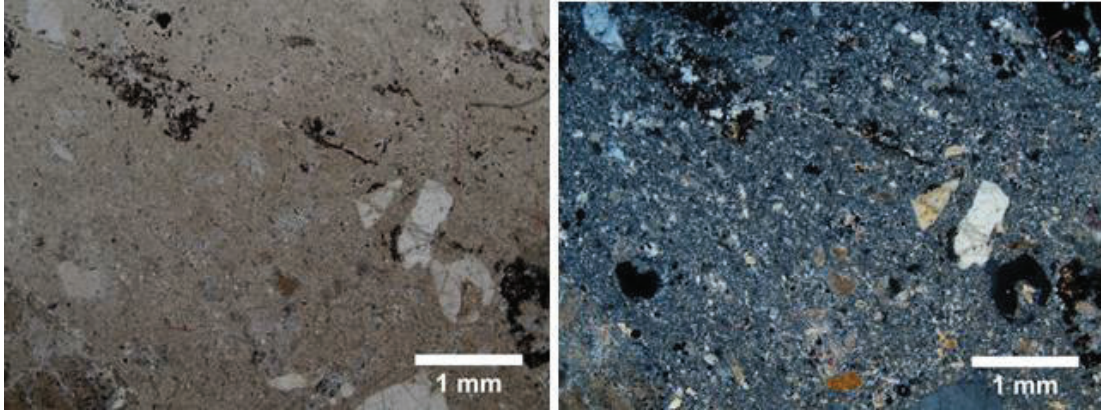
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 107                                    |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=682278 Y=9590016 PSAD56 Sector: Noreste |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Gris blanquecino                         |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                             |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, pirofilita, óxidos de Fe, matriz |

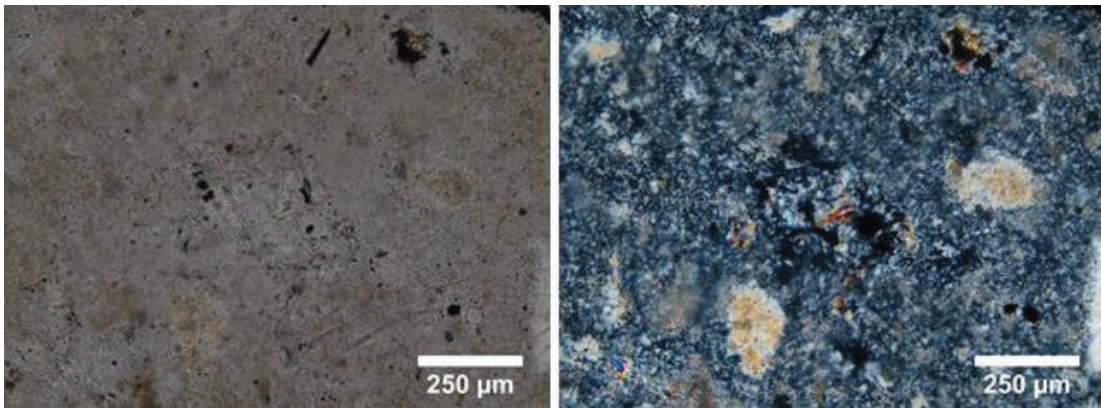
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 15                              | Cuarzo   | Cristales grades dispersos de cuarzo primario, tienen forma anhedral, están fragmentados y presentan un relieve bajo.  |
| 15                              | Alunita  | Es incolora, se encuentra diseminado entre el cuarzo microcristalino y en los vacíos, tiene forma tabular delgada en ciertas zonas de la lámina, pero la mayoría es microcristalina, presentan birrefringencia moderada con colores de interferencia azul y naranja. |
| 65                              | Matriz   | Formada por cuarzo secundario microcristalino (40%), arcillas (25%).   |
| 5                               | Hematita   | Color pardo, se presenta entre las fracturas de la muestra.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se determinó la presencia de alunita gracias a un análisis de TerraSpec. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada                |  |



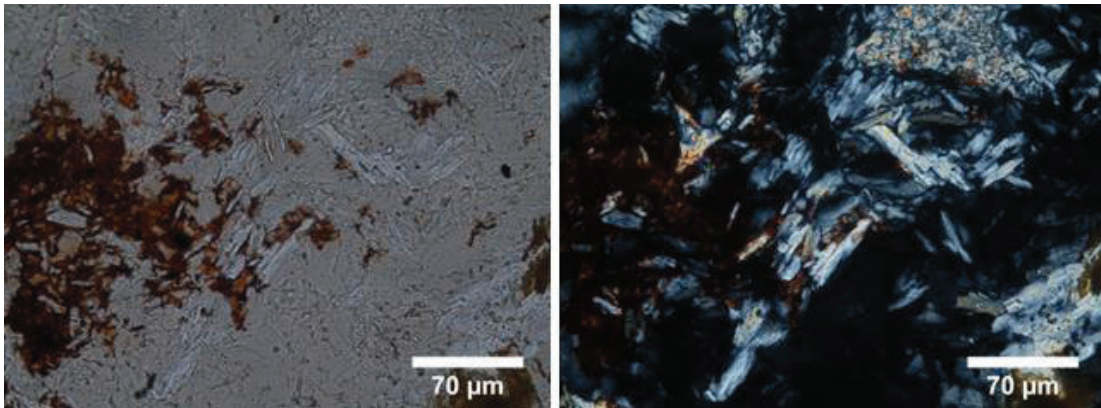




WM107 fragmentos de cuarzo primario fragmentado en la matriz conformada por cuarzo secundario microcristalino y arcillas 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM107 microcristales de alunita en el centro 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



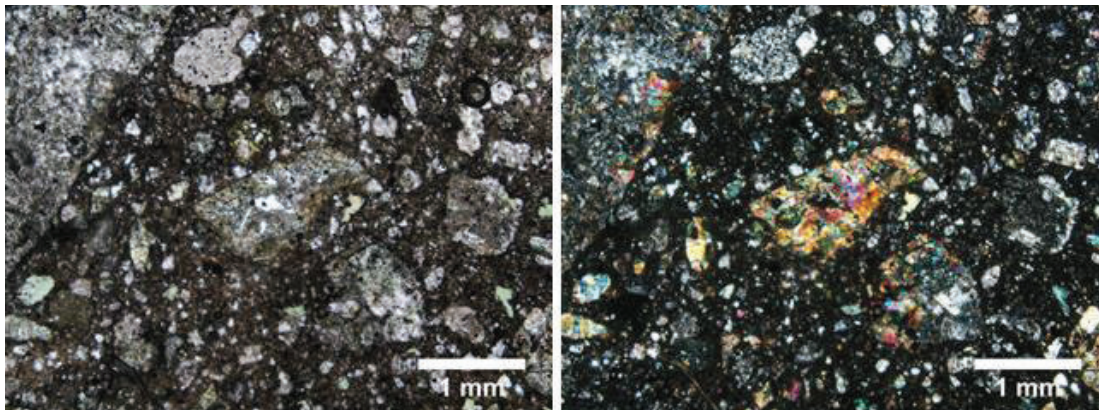
WM107 alunita en forma de cristales tabulares y en agregados junto a hematita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 110  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=680568 Y=9589756 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

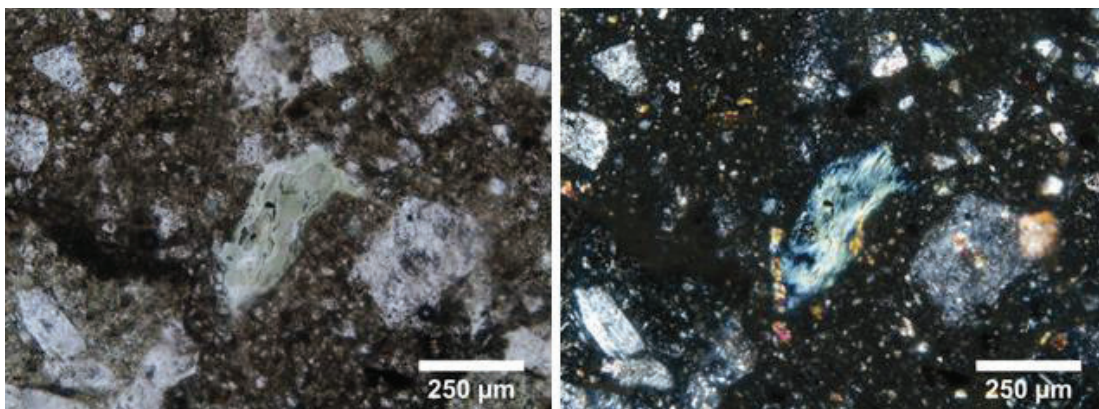
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris oscuro                                       |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                                      |
| <b>COMPONENTES</b>              | Magnetita, lfticos, clorita, plagioclasas, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |                |  |
|---------------------------------|----------------|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Cinerítica     |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |                |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b> | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 3                               | Anfiboles      | Relictos de minerales que se han alterado a clorita y epidota  |
| 5                               | Clorita        | Presenta relieve moderado, color verde pálido, forma tabular, débil birrefringencia.   |
| 3                               | Epidota        | Producto de alteración de anfíbol, piroxeno y plagioclasas cálcicas, presentan un color verde pálido, presenta pleocroísmo, relieve alto y fuerte birrefringencia.       |
| 3                               | Magnetita      | Opaca de color negra, forma euhedral   |
| 10                              | Lfticos        | Lfticos de composición andesítica, contienen clorita y plagioclasas alteradas a arcillas,  |
| 3                               | Hematita       | Se presenta en fracturas, con color pardo  |
| 58                              | Matriz         | Formada por cuarzo secundario microcristalino (38%) y arcillas (20%)   |
| 15                              | Plagioclasa    | Incolora, forma subhedral, relieve moderado, presenta macla polisintética, la mayoría esta alterada a arcillas   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            |                | La muestra presenta minerales típicos en rocas andesíticas, además de anfíboles alterados a clorita y epidota, mientras que las plagioclasas están alteradas a arcillas. |
| <b>NOMBRE</b>                   |                | Toba cristalina andesítica con algunos lfticos con alteración propilítica  |



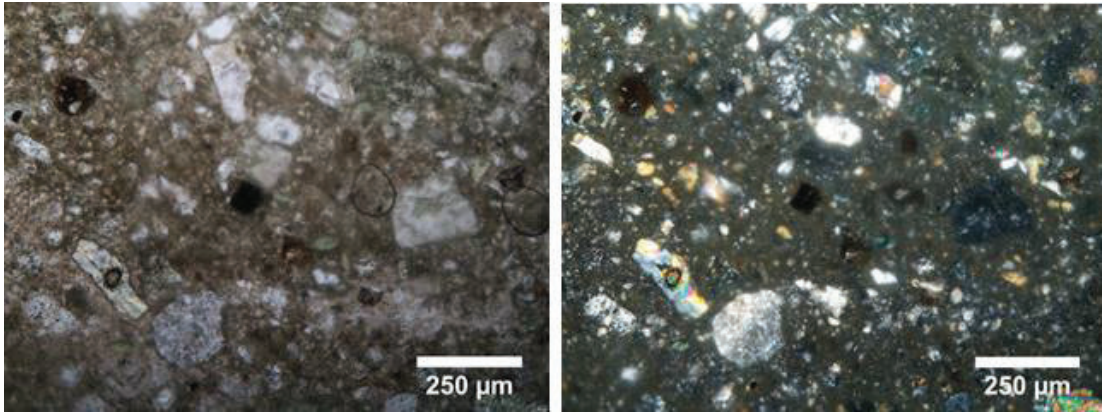


WM110 en el centro relicto de un cristal de anfíbol, el cual se encuentra alterado a epidota. Pequeños cristales alterados de plagioclasas en una matriz con cuarzo secundario microcristalino y arcillas 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

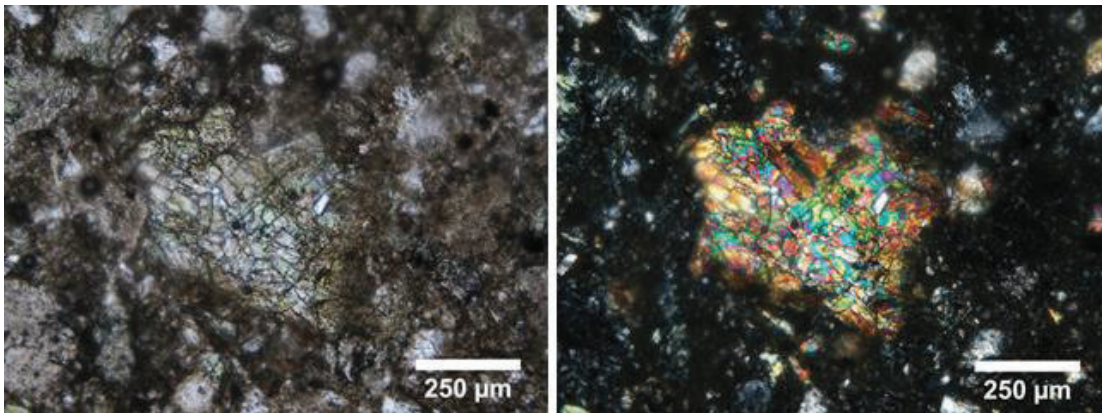


WM110 cristal de clorita en el centro, alrededor pequeños cristales de epidota, dentro de un a matriz de cuarzo secundario microcristalino y arcillas 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

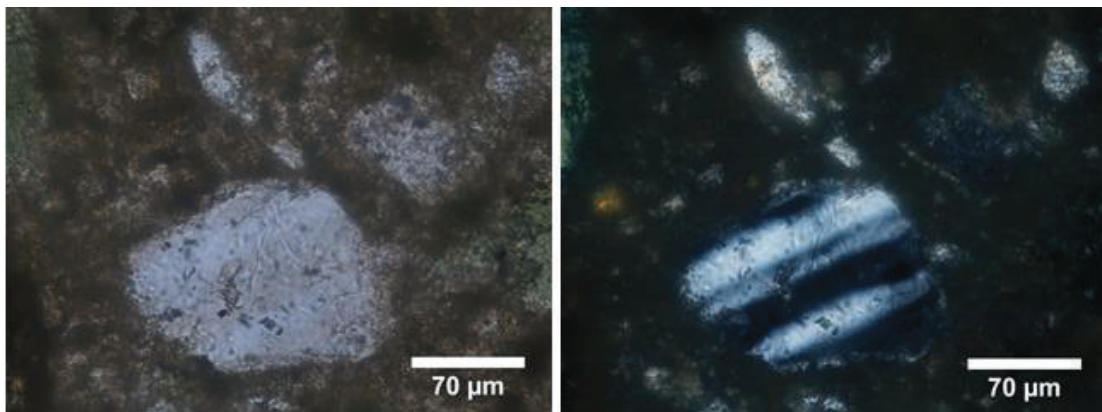




WM110 pequeño cristal opaco de magnetita color negro 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM110 relicto de piroxeno alterado a epidota 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM110 cristal pequeño de plagioclasa con macla polisintética 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



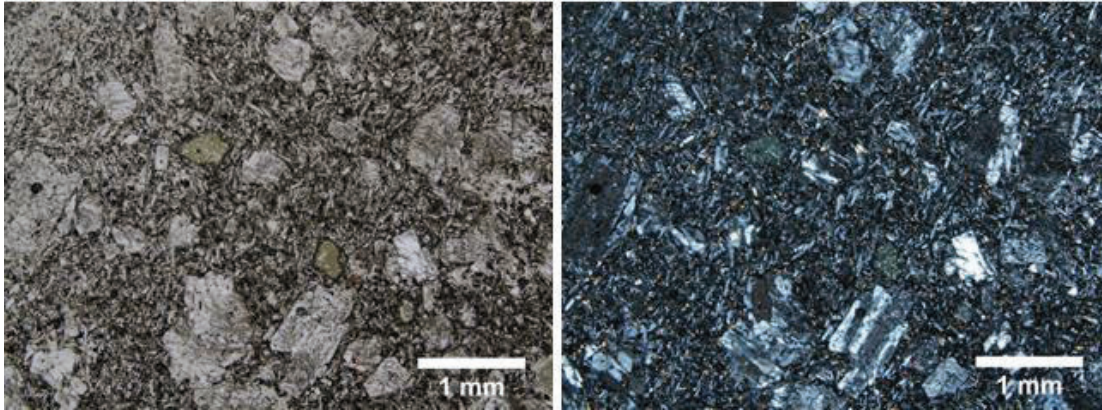
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 111   |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=678927 Y=9590368 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris verdoso  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfírica (cristales relativamente grandes denominados fenocristales en una matriz vítrea). |
| <b>COMPONENTES</b>              | Plagioclasas, magnetita, clorita, matriz  |

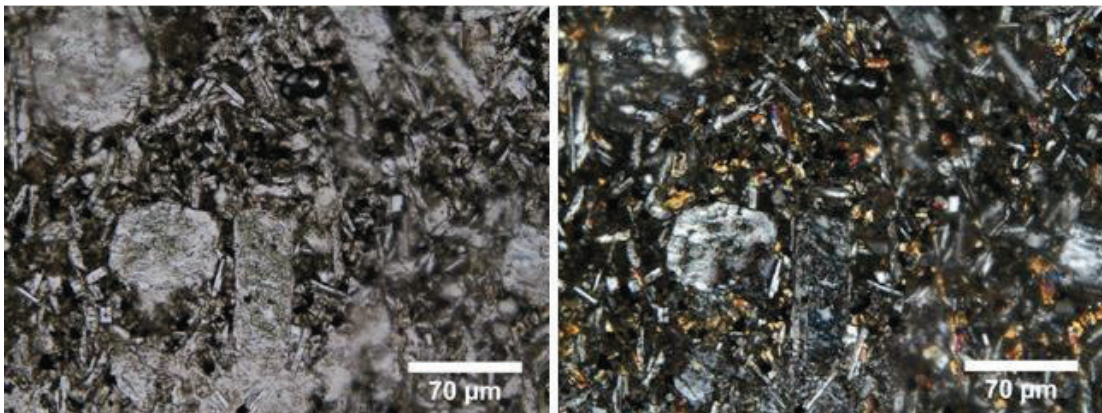
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfírica seriada (secuencia continua de tamaños de cristales desde la mesostasis hasta los fenocristales en una matriz vítrea). |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 35                              | Plagioclasa  | Cristales grandes dispersos de forma tabular anhedral, de relieve bajo, y débil birrefringencia, otros pequeños formando una matriz hipocristalina. Presentan alteración. |
| 10                              | Magnetita  | Es opaco con forma euhedral, se presenta de manera diseminada en la lámina.   |
| 20                              | Piroxeno   | Relictos, la mayor parte se está transformado a epidota.  |
| 35                              | Matriz   | Secuencia continua de cristales de tamaños desde mesostasis que contiene fenocristales de plagioclasas y minerales ferromagnesianos.                                      |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La roca presenta una alteración propilítica, en donde se ve una transformación de piroxenos a epidota.                           |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Andesita con alteración propilítica  |   |



Muestra de mano



WM 111 cristales de plagioclasa de diferentes tamaños, dentro de un matriz formada por una pasta vítrea, 2.5x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



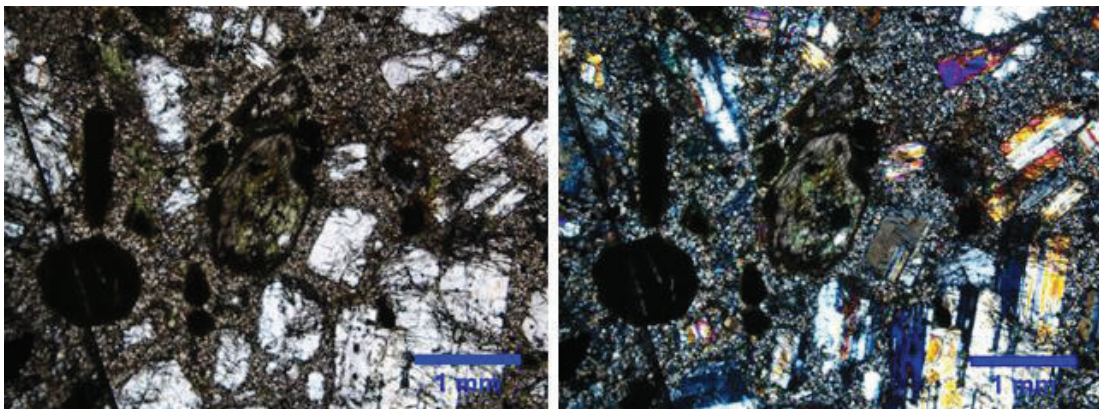
WM111 plagioclasas pequeñas y cristales pequeños de minerales ferromagnesianos (piroxenos) alterándose a epidota como fenocristales dentro de la matriz, también se ve magnetita, 40x (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 112   |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679326 Y=9590403 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

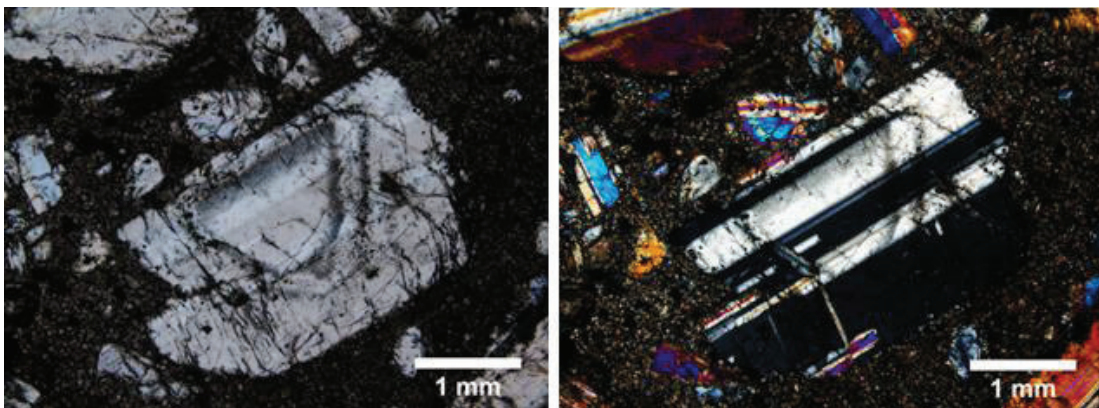
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris claro  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica (tipo de textura porfírica empleada para pórfidos, donde los fenocristales están en una matriz microcristalina) |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, plagioclasas, anfíboles, clorita, biotita, carbonato  |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica (tipo de textura porfírica empleada para pórfidos, donde los fenocristales están en una matriz microcristalina).   |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 25                              | Plagioclasas   | Cristales incoloros de forma euhedral, de relieve medio, y débil birrefringencia, presentan maclas polisintéticas  |
| 4                               | Biotita  | Casi totalmente alterada a clorita, pero se puede apreciar algunos cristales formando agregados tabulares de color pardo, y relieve moderado que presentan fuerte birrefringencia. |
| 10                              | Clorita  | Abunda como producto de alteración de las biotitas y anfíboles, presenta una coloración verde pálida con relieve moderado y birrefringencia débil.                                 |
| 2                               | Opacos   | Posiblemente óxidos que están diseminados en la lámina   |
| 14                              | Cuarzo   | Se ven algunos cristales primarios (magnético) fragmentados dispersos, son incoloros de forma subhedral y con relieve bajo   |
| 30                              | Matriz   | Conformado por cuarzo secundario (hidrotermal) microcristalino (28%), También hay la presencia de carbonato en algunas zonas (2%)  |
| 15                              | Anfíbol  | Se presenta como relicto, de color pardo, forma alargada con pleocroísmo y relieve alto, esta alterado a clorita.  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La lámina delgada esta gruesa, por lo cual presenta altos colores de interferencia especialmente a las plagioclasas. Presenta alteración de biotitas y anfíboles a cloritas, así como las plagioclasa a arcillas |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Cuarzodiorita con alteración propírica   |  |



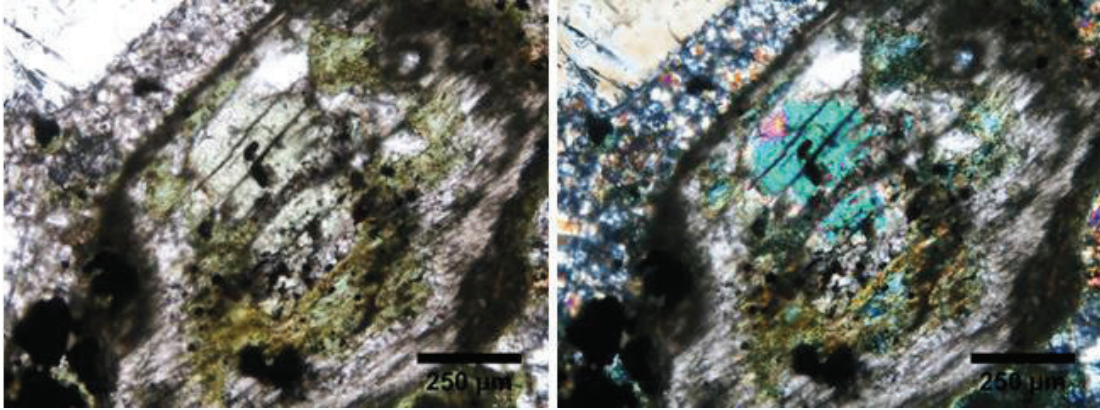


WM112 cristal de biotita alterada a clorita, rodeada por cristales de plagioclasa en una matriz de cuarzo secundario microcristalino 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

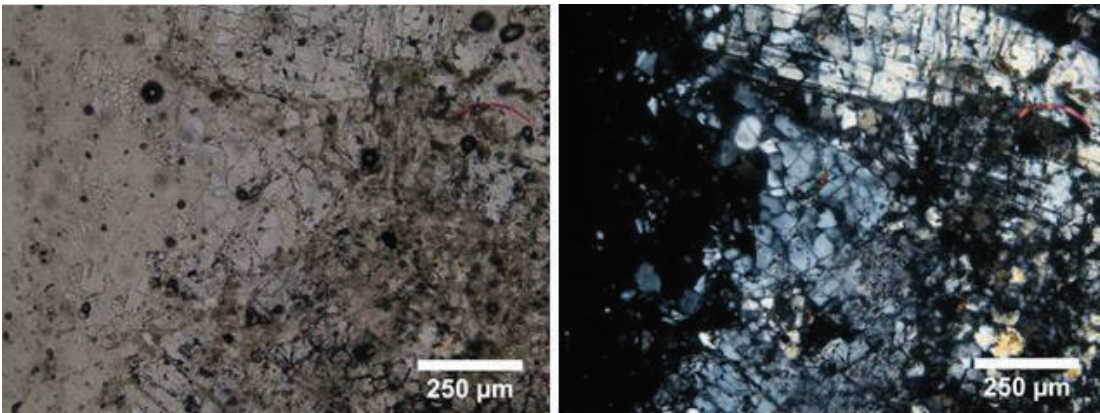


WM112 cristal de plagioclasa presentando una maclado tipo polisintético, en matriz de cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

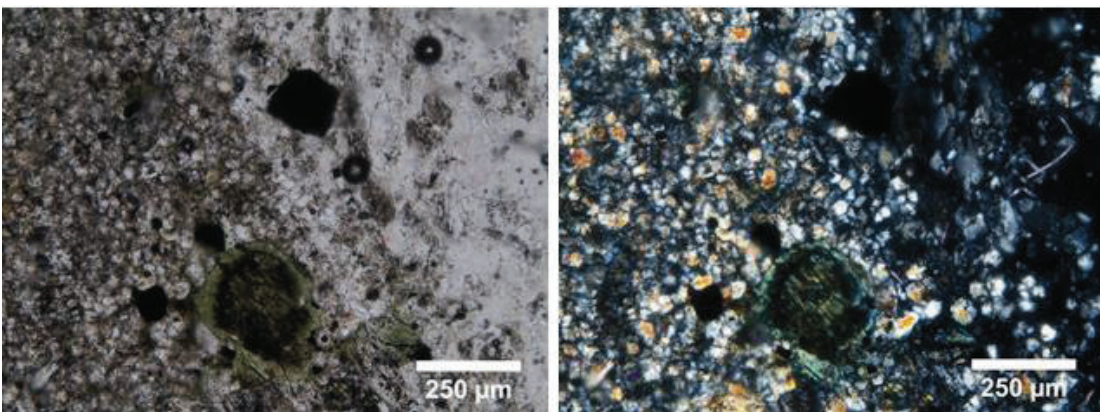




WM112 un cristal de biotita alterándose a clorita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM112 cristal de cuarzo primario fragmentado 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM112 en la parte superior mineral opaco con forma cúbica posiblemente sulfuro, en la parte inferior una biotita alterada a clorita dentro de una matriz de cuarzo secundario 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

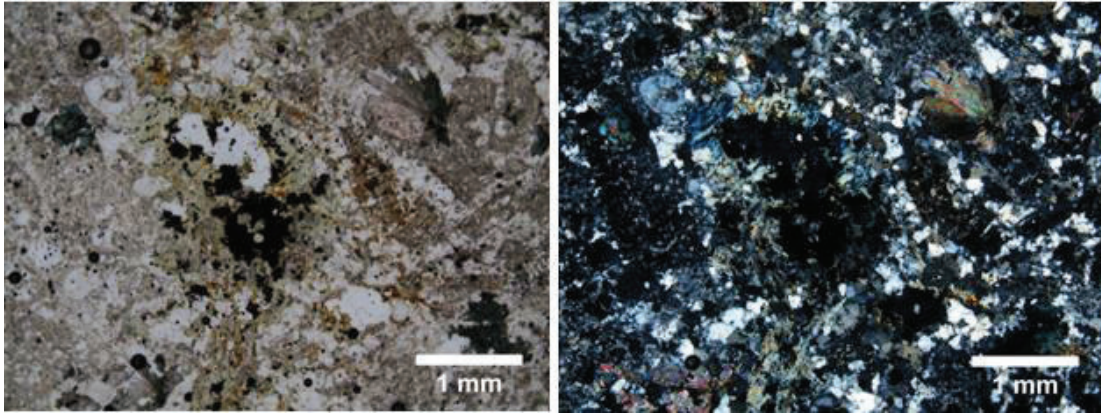
|                  |  |
|------------------|--|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 113   |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=679603 Y=9589820 PSAD56 Sector: Quebrada Soroche |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Blanco   |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Hornblenda, magnetita, biotita, clorita, turmalina, cuarzo, matriz |

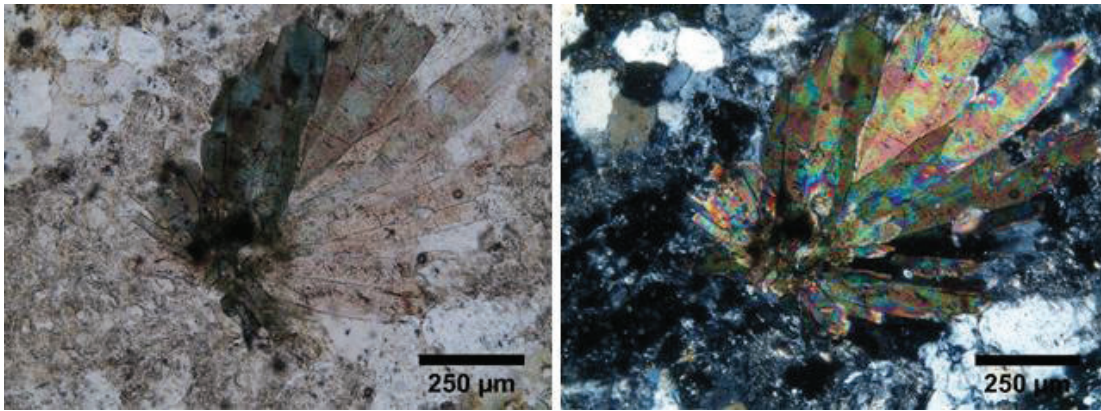
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 3                               | Magnetita  | Forma euhedral, color negro, diseminada en la lámina  |
| 10                              | Clorita  | Producto de alteración de biotita y anfíboles, se presenta como masa diseminada, color verde pálido y amarillo, con relieve moderado y birrefringencia débil. |
| 3                               | Turmalina  | Cristales tabulares orientados de una manera radial, es de color verde azulado, presenta pleocroísmo y relieve alto.  |
| 3                               | Hornblenda   | Relictos, han sufrido alteración a clorita  |
| 4                               | Biotita  | Relictos de cristales, alterados a clorita, color verde, relieve moderado y fuerte birrefringencia.   |
| 3                               | Epidota  | Color verde pálido, forma agregados, alto relieve, birrefringencia fuerte.  |
| 5                               | Cuarzo   | Se ven algunos cristales de cuarzo primario dispersos, son incoloros de forma subhedral y con relieve bajo  |
| 69                              | Matriz   | Agregados de cuarzo secundario microcristalino (40%) y arcillas (29%)   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta alteración propilítica con clorita y epidota como producto de alteración de los anfíboles y biotitas, en una matriz cuarzo-arcillosa. Cristales de turmalina posiblemente están asociados a alteración filica que fue sobreimpuesta por alteración propilítica |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración propilítica  |   |



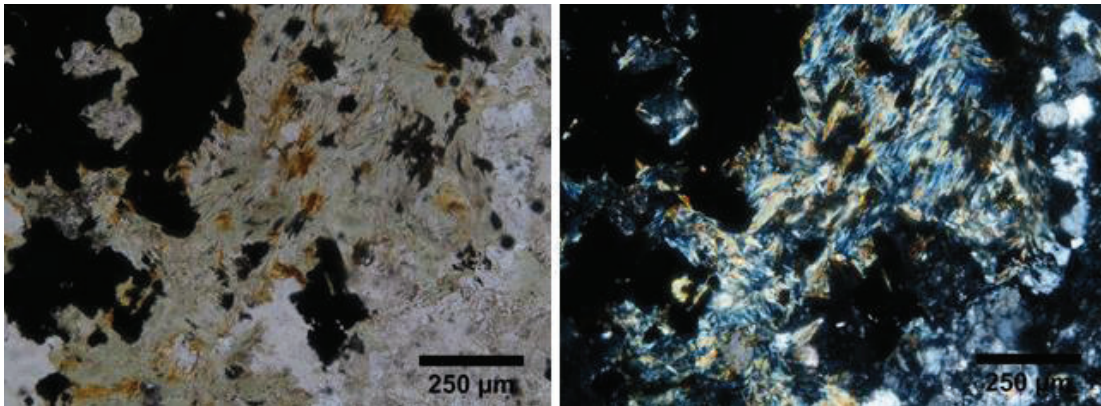




WM113 Turmalina en la parte superior derecha, clorita en la parte central inferior, y magnetita en el centro, dentro de una matriz de cuarzo secundario microcristalino 2,5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM113 cristales tabulares de turmalina dispuestos en forma radial 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM113 masa cristalina de clorita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

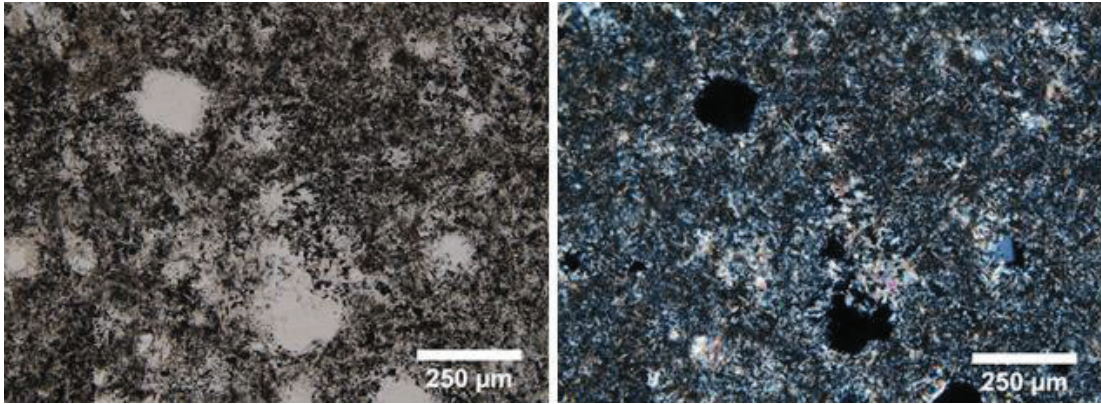
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 115  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=681063 Y=9589242 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Crema-Blanco                 |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                 |
| <b>COMPONENTES</b>              | óxidos de Fe, matriz silícea |

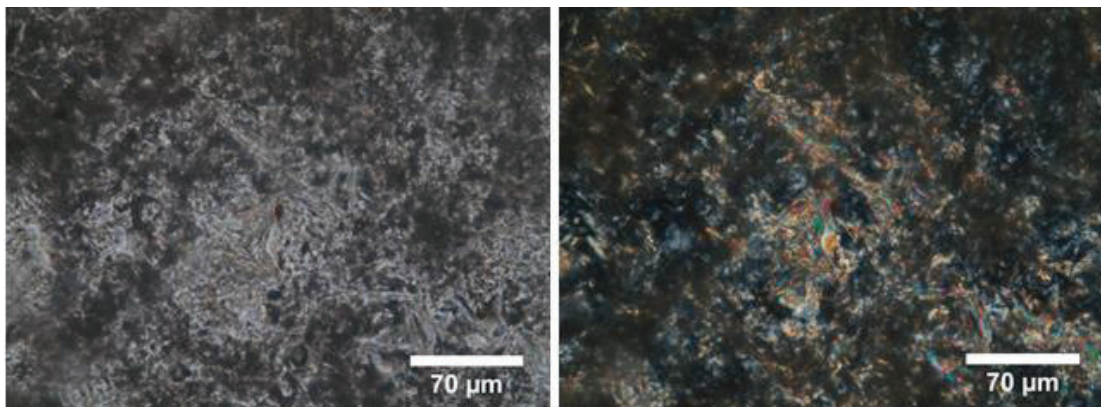
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 25                              | illita   | Son tabulares formando masas criptocristalinas, presenta relieve bajo, birrefringencia fuerte y extinción paralela. |
| 5                               | Hematita   | Color rojizo, forma agregados dispersos en la lámina.   |
| 70                              | Matriz   | Conformada por arcillas (50%), sílice (20%).  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra está formada principalmente por sílice y arcillas, debido a su pequeño tamaño los cristales de illita pueden ser confundidos con sericita sin embargo mediante análisis de Terraspec se determinó la presencia de illita. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina andesítica-dacítica con posible alteración argílica  |   |



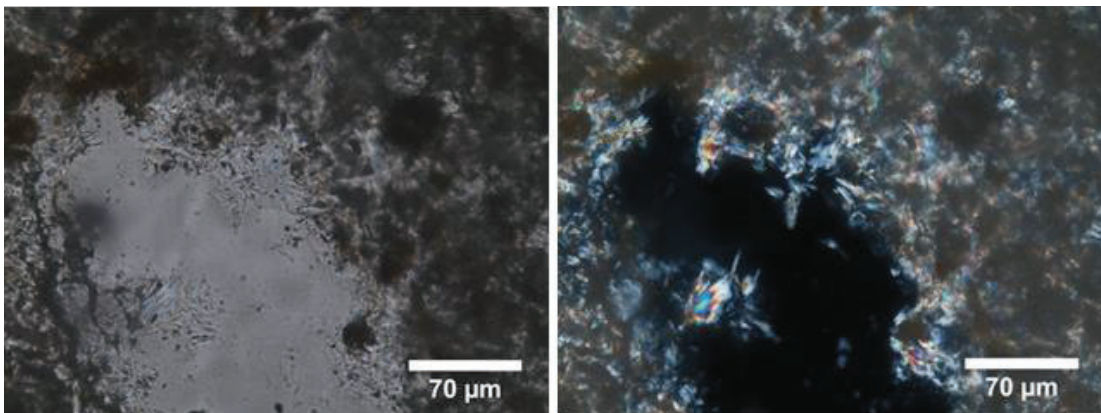




WM115 masas de illita junto a sílice 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM115 masas criptocristalinas de illita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM115 pequeñas masas de illita 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

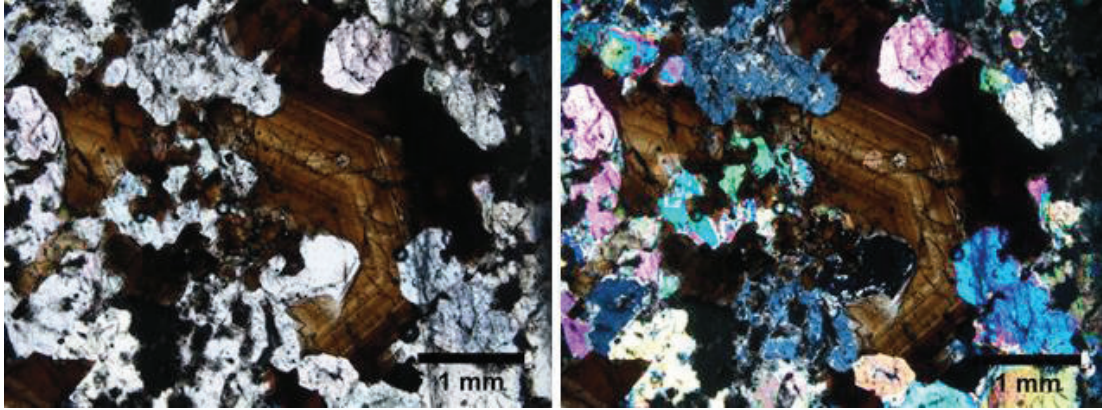
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 117  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=681090 Y=9588854 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Crema                                    |
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica                                |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, biotita, turmalina, óxidos de Fe |

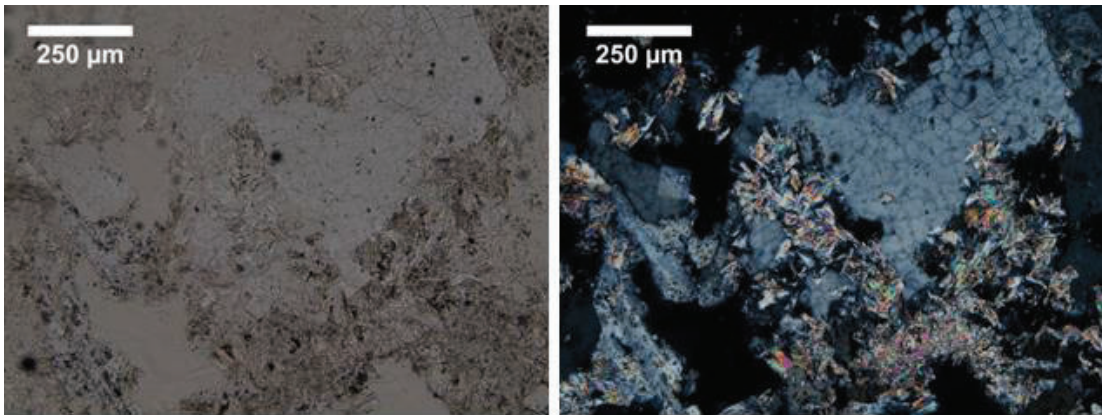
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 35                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario, incoloros con forma subhedral, relieve bajo, leve birrefringencia.  |
| 7                               | Illita  | Aparece como masas criptocristalinas, que están entre los cristales de cuarzo, es muy pequeña y casi no se la puede observar con el microscopio.                                  |
| 5                               | Turmalina   | Cristales grandes de coloración pardo-verdosa, presenta pleocroísmo, los cristales han sido cortados en forma transversal, razón por la cual no se ven de forma alargada.         |
| 12                              | Sericita  | Se ven pequeños cristales en forma de escamas alargadas incoloras con relieve bajo y con fuerte birrefringencia.  |
| 3                               | Opacos  | Posiblemente sulfuros, de forma euhedral, color negro.  |
| 38                              | Matriz  | Formada por cuarzo secundario microcristalino (28%) que presentan unos colores de interferencia altos debido a que la lámina está gruesa y arcillas (10%) dispersas en la lámina. |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se ha determinado la presencia de illita con ayuda de TerraSpec, además se ven algunos cristales grandes de turmalina dispersos en la roca. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Granodiorita con alteración filica  |   |



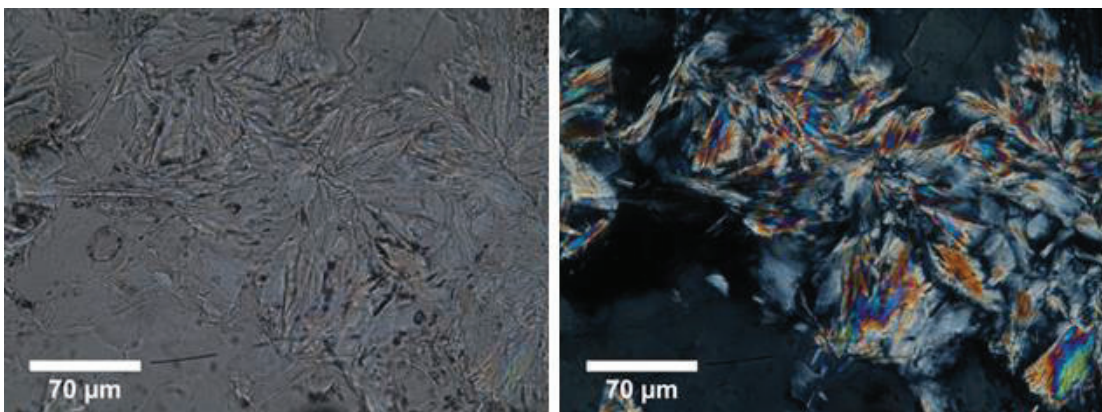




WM117 cristal de turmalina cortado de manera transversal, entre matriz de cuarzo secundario microcristalino (se puede notar zonación de la turmalina y un borde hexagonal) 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM117 sericita en forma de escamas alargadas junto a masas de illita y un cristal de cuarzo primario que se encuentra fragmentado 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM117 cristales de sericita con forma escamosa 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 119  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=681237 Y=9588566 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

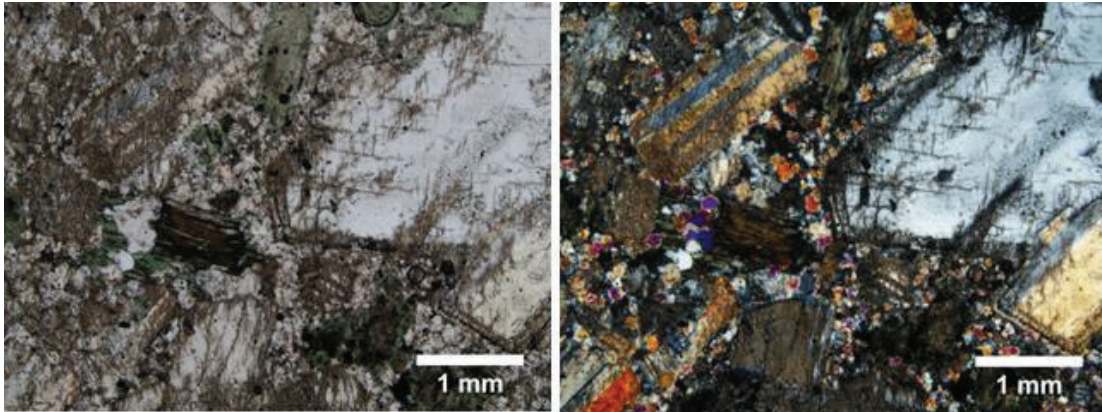
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |   |
|---------------------------------|---|
| <b>COLOR</b>                    | Gris  |
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Plagioclasa, hornblenda, clorita, carbonato, cuarzo |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Porfídica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 35                              | Plagioclasas   | Cristales euhedrales, presentan maclas polisintéticas, relieve moderado, algunas están un poco alteradas a arcillas.   |
| 20                              | Cuarzo   | Cristales de cuarzo primario, incoloros, relieve bajo, leve birrefringencia, forma subhedral.  |
| 28                              | Matriz   | Cuarzo secundario microcristalino (26%), incoloros y de forma subhedral. Carbonato (2%) disperso en algunas zonas la lámina.                                     |
| 3                               | Clorita  | Producto de alteración de biotitas y hornblendas, son de color verde-pardo, se presenta en forma de escamas tabulares, relieve moderado y birrefringencia débil. |
| 2                               | Opacos   | Posiblemente sulfuros diseminados en la lámina.  |
| 10                              | Biotita  | Relictos de minerales, se han transformado a clorita   |
| 2                               | Hornblenda   | Relictos de minerales que se han transformado a clorita  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Se trata de una roca intrusiva compuesta principalmente por plagioclasas y cuarzo, con algunos minerales ferromagnesianos alterados a clorita. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Granodiorita con alteración propilítica  |  |

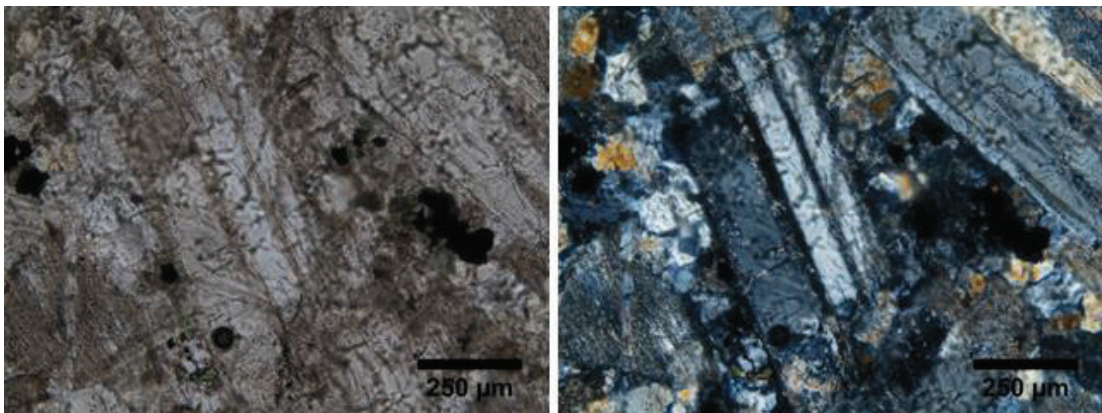


Muestra de mano

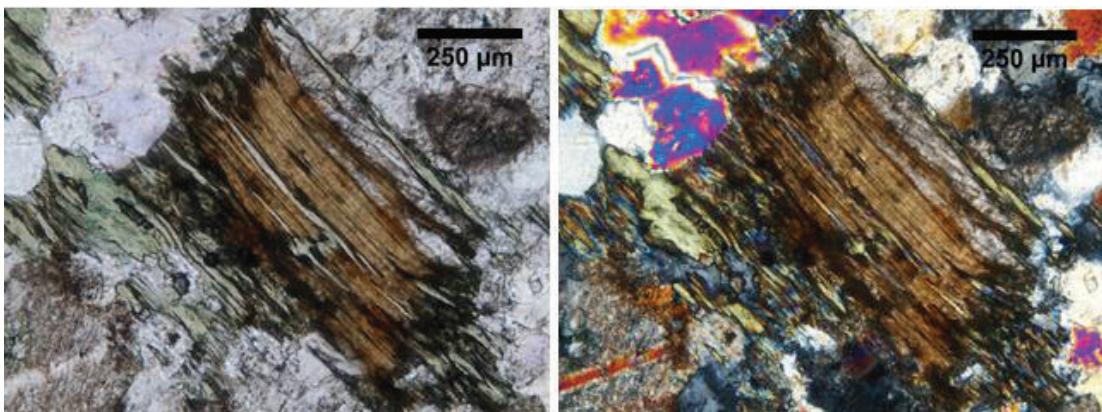




WM119 biotita alterándose a clorita en el centro, y cristales de plagioclasa entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM119 plagioclasa con macla polisintética rodeada por matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM119 biotita con bordes alterados a clorita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 122  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=680733 Y=9588380 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

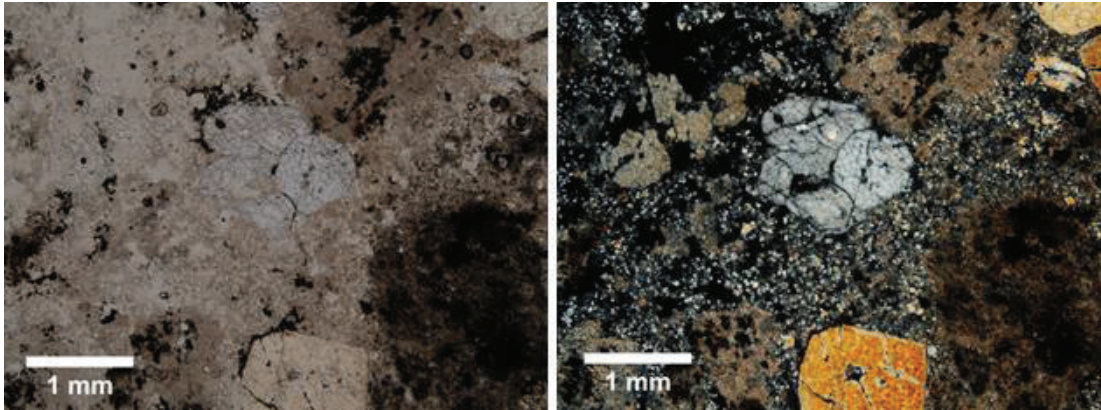
| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |  |
|---------------------------------|--|
| <b>COLOR</b>                    | Blanco grisáceo                        |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                           |
| <b>COMPONENTES</b>              | Cuarzo, óxidos de Fe, arcillas, matriz |

| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 15                              | Cuarzo  | Cristales de cuarzo primario fragmentados, forma subhedral, incoloros y de relieve bajo, hay cristales grandes (1 mm) y otros más pequeños dispersos en la lámina. |
| 5                               | Hematita  | Forma anhedral, color rojo-pardo, disperso en la lámina  |
| 80                              | Matriz  | Formada por cuarzo secundario microcristalino (35%), arcillas (45%)  |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La lámina presenta arcillas, las cuales no se han podido distinguir en el microscopio pero con ayuda del TerraSpec se ha determinado que se trata de kaolinita. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |  |

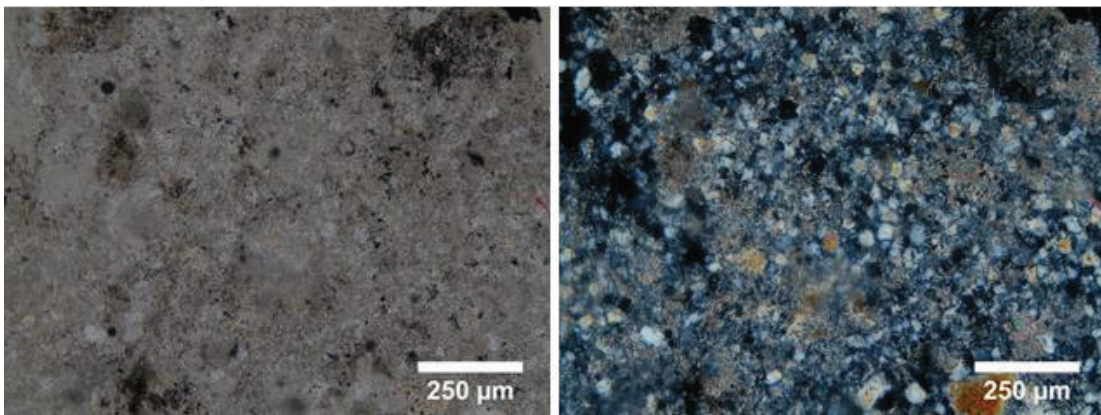


Muestra de mano

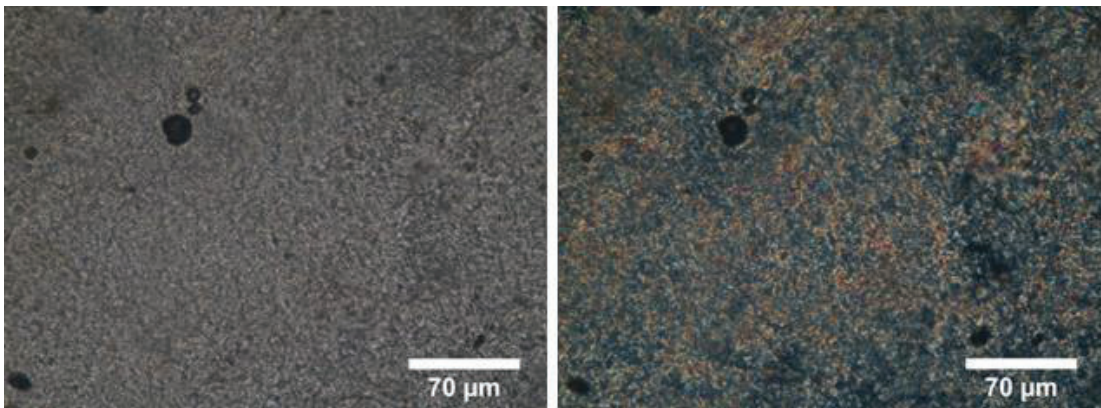




WM122 cristales de cuarzo primario fragmentados, en una matriz de arcillas y cuarzo secundario microcristalino 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM122 matriz conformada por cuarzo secundario microcristalino y arcillas 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM122 masas criptocristalinas de arcillas (posiblemente kaolinita) 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

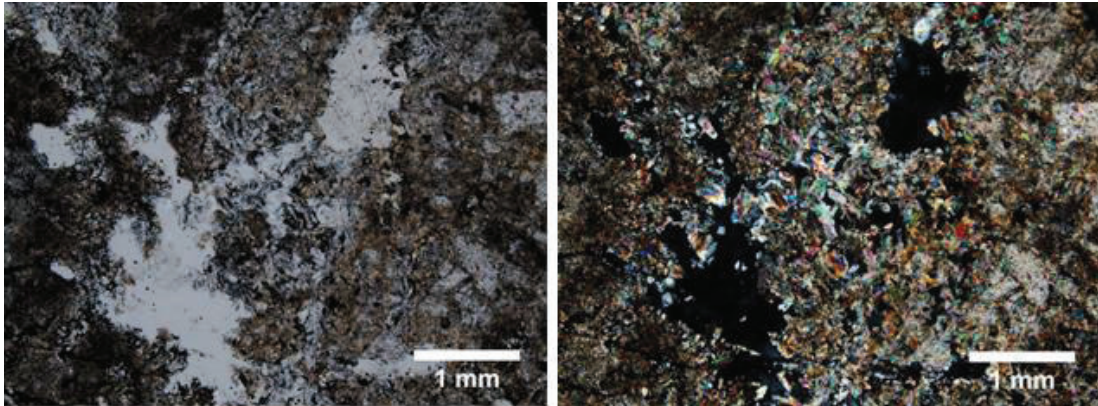
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 125  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=680576 Y=9588352 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Gris-blanco                   |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                  |
| <b>COMPONENTES</b>              | Óxidos de Fe, alunita, matriz |

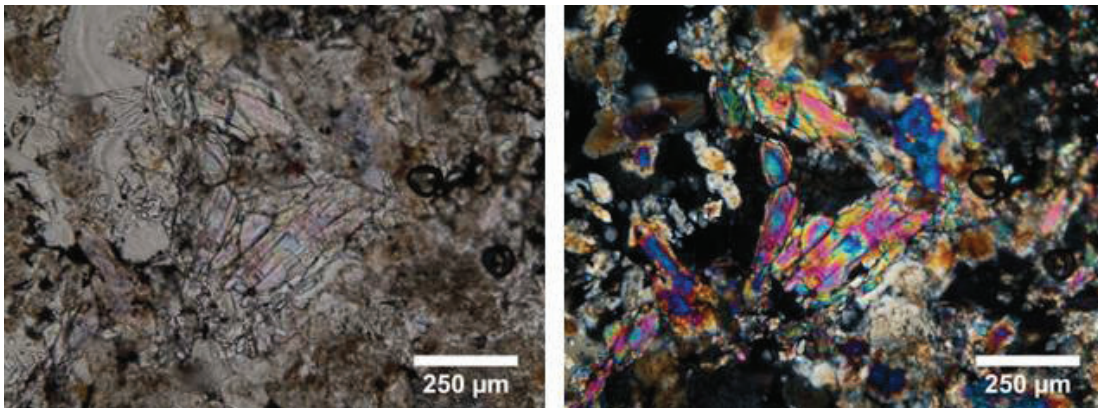
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica   |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |  |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>   | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 3                               | Hematita   | Color parda, se presenta en fracturas   |
| 37                              | Alunita  | Se presenta en agregados finos y también se ve en algunas zonas de la lámina como cristales con una forma alargada tabular, tiene relieve alto, es incolora y posee birrefringencia moderada. |
| 60                              | Matriz   | Formada por cuarzo secundario microcristalino con forma subhedral, incoloros, bajo relieve (35%), arcillas (25%).   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | Esta muestra presenta cristales de alunita y cuarzo, los cuales son representativos de alteración argílica avanzada. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada  |   |



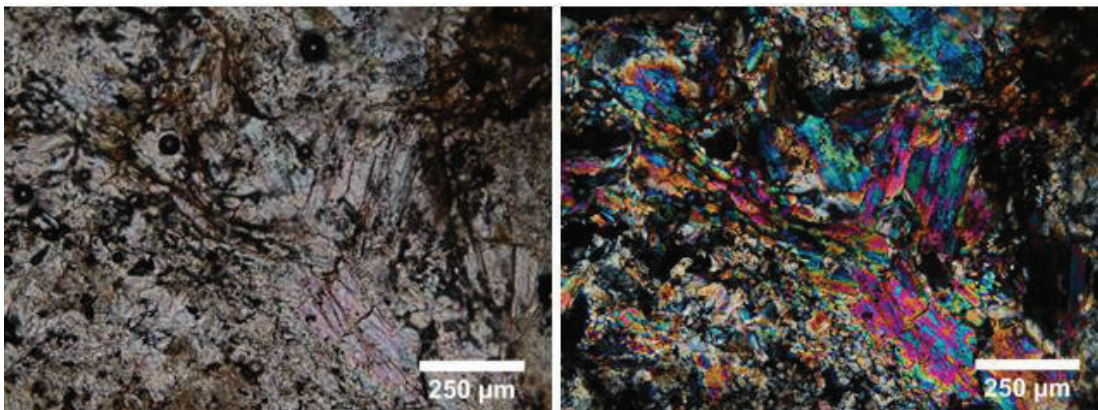




WM125 agregados finos de alunita en una matriz de cuarzo secundario microcristalino y arcillas 2.5X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM125 cristales tabulares de alunita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM125 cristales tabulares de alunita 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

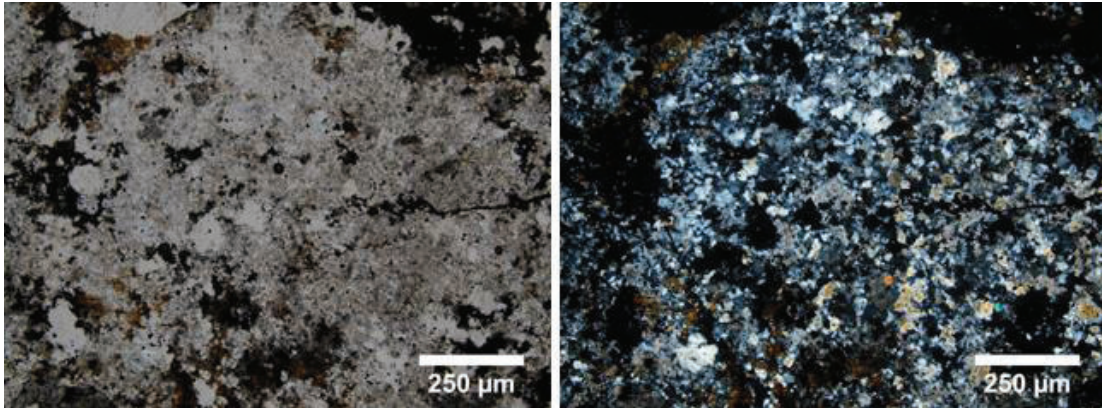
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 127  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=680454 Y=9588488 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Crema                          |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Óxidos de Fe, arcillas, matriz |

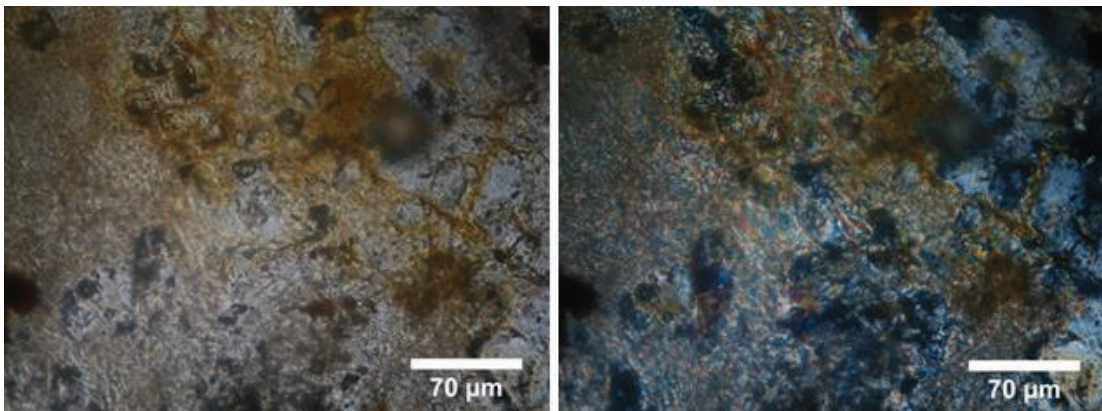
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |   |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |   |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>  |
| 5                               | Hematita  | Se encuentra dispersa en la lámina, es de color rojo-pardo                            |
| 55                              | Matriz  | Conformada por cuarzo secundario microcristalino de forma anhedral, y relieve bajo.   |
| 40                              | Arcillas  | Se presentan como masas criptocristalinas entre los cuarzos secundarios de la matriz. |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La muestra presenta una abundante cantidad de cuarzo secundario, y con análisis de TerraSpec se detectó dickita, sin embargo no se la ha podido identificar en la lámina delgada. |   |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |   |



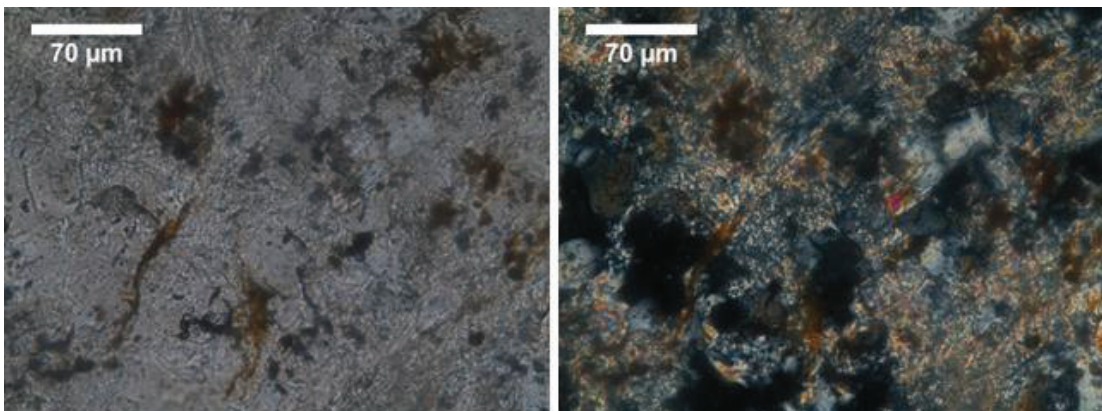




WM127 cuarzo secundario microcristalino y arcillas conformando la matriz 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM127 masas de arcillas criptocristalinas 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM127 masas criptocristalinas de arcillas (posiblemente dickita) 40X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).

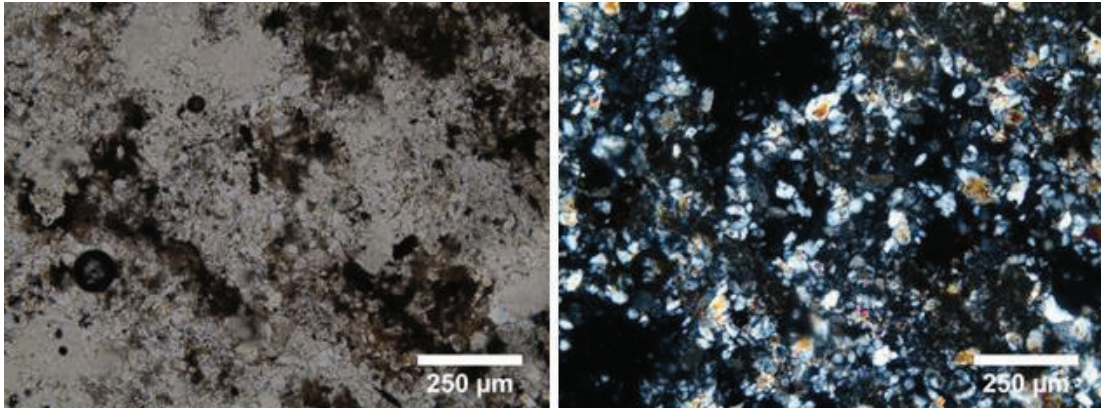
|                  |   |
|------------------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | WM 131  |
| <b>UBICACIÓN</b> | X=680320 Y=9588500 PSAD56 Sector: Quebrada Caña Brava |

| <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA</b> |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| <b>COLOR</b>                    | Blanco                         |
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica                   |
| <b>COMPONENTES</b>              | Óxidos de Fe, arcillas, matriz |

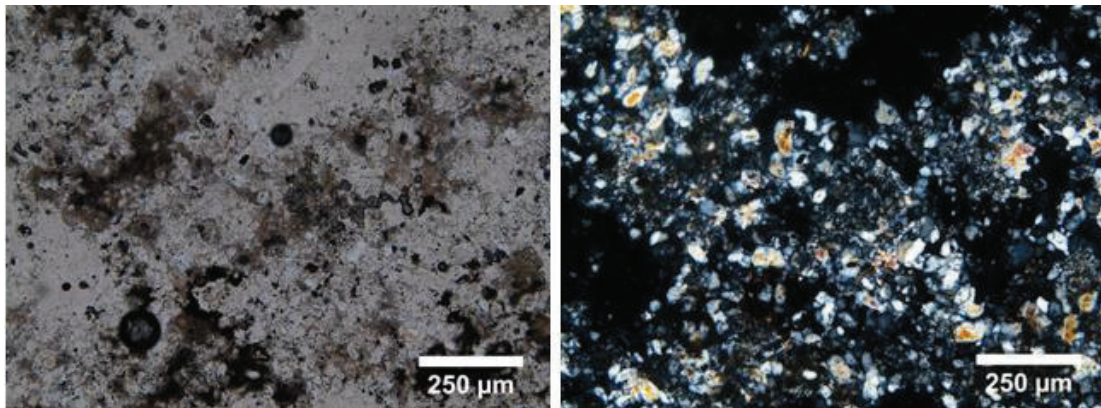
| <b>DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA</b> |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| <b>TEXTURA</b>                  | Piroclástica  |  |
| <b>COMPONENTES</b>              |   |  |
| <b>%</b>                        | <b>MINERAL</b>  | <b>CARACTERÍSTICAS</b>   |
| 35                              | Arcillas  | Masas criptocristalinas dispersas en la lámina, presentan débil birrefringencia, relieve bajo. |
| 62                              | Matriz  | Constituida por cuarzo secundario microcristalino de forma subhedral, incoloros, bajo relieve. |
| 3                               | Hematita  | Mineral opaco de coloración rojiza, forma anhedral   |
| <b>OBSERVACIONES</b>            | La lámina delgada esta gruesa, razón por la cual las arcillas no son muy distinguibles. Con análisis de TerraSpec de ha determinado la presencia de turmalina, sin embargo no se la logró identificar en el estudio de la lámina delgada. |  |
| <b>NOMBRE</b>                   | Toba cristalina dacítica con alteración argílica avanzada   |  |







WM131 arcillas entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).



WM131 arcillas entre matriz de cuarzo secundario microcristalino 10X (Izquierda: Nícoles Paralelos, Derecha: Nícoles Cruzados).