



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



Trabajo Final
***“Prospección Geológica-Minera en el
Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Dpto.
Belén, Prov. de Catamarca”***

Gimena Beatriz Agüero
M.U.N. N° 00522



Directora: Lic. Ernestina Trinidad Vergara
Co-Directora: Lic. Miriam Ysabel Cisternas

Junio 2025



ÍNDICE

RESUMEN	3
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	4
I.1. Generalidades.....	4
I.2. Objetivos	5
I.2.a. General.....	5
I.2.b. Específicos	5
I.3. Ubicación y Vías de Acceso.....	6
I.4. Estructura del Trabajo	8
CAPÍTULO II: MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO	10
II.1. Marco Geográfico.....	10
II.1.a. Clima	10
II.1.b. Suelos	10
II.1.c. Flora y Fauna	11
II.1.d. Orografía	11
II.1.e. Hidrografía.....	12
II.2. Marco Geológico	12
II.2.a. Tectónica y Metalogénesis.....	12
II.2.b. Geología Regional	13
II.2.c. Geología Local	14
II.2.d. Estructuras	15
II.2.e. Geomorfología.....	16
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	17
III.1 Estado actual del conocimiento - Antecedentes	17
III.2 Base teórica de la investigación - Depósitos Pórfido Cupríferos.....	18
III.2.a. Emplazamiento, Alteración y Mineralización Prógrada.....	19
III.2.b. Enfriamiento Progresivo y Mineralización Continua	21
III.2.c. Alteración Retrógrada	22
III.2.d. Apagado y Post Mineral	23
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA APLICADA	24
IV.1. Etapa I: Prospección preliminar (escala 1: 7.000.000 - 1:150.000)	27
IV.2. Etapa II: Prospección de reconocimiento (escalas 1:150.000-1:50.000).....	29
IV.3. Etapa III: Prospección de detalle (escala 1:30.000-1:10.000)	31
CAPÍTULO V: RESULTADOS ALCANZADOS	36
V.1. Análisis Tectónico - Estructural - Geológico Regional - Metalogénico (Etapa I).....	36
V.1.a. Tectónica	36
V.1.b. Estructuras.....	37
V.1.c. Geología Regional	39
V.1.d. Metalogénesis.....	40
V.1.e. Evaluación Etapa I.....	43
V.2. Análisis Litológico - Alteraciones - Estructuras - Geofísica - Geoquímica (Etapa II).....	43
V.2.a. Litología	43
V.2.b. Alteraciones Hidrotermales.....	46
V.2.c. Estructuras Regionales.....	49
V.2.d. Geofísica.....	51
V.2.e. Geoquímica.....	53
V.1.f. Evaluación Etapa II.....	56
V.3. Análisis Petrográfico - Calcográfico - Alteraciones Hidrotermales - Estructural (Etapa III).....	59
V.3.a. Sector Cerro La Lunareja	62
V.3.b. Sector Lomas del Medio	68
V.3.c. Sector Cerro Los Bayitos	76
V.3.d. Sector Cerro Bayo	83
V.3.e. Evaluación Etapa III.....	92
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
VI.1. Conclusiones	94
VI.2. Recomendaciones	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXO.....	103

RESUMEN

El presente trabajo final se realizó en el Complejo Volcánico Vicuña Pampa ubicado en el departamento Belén, Catamarca, cuya formación ocurrió durante los períodos Mioceno-Plioceno de la era Cenozoica y pertenece a la provincia geológica de Puna.

Su principal objetivo consistió en ejecutar una prospección geológica-minera en un ambiente favorable para la ocurrencia de yacimientos de tipo pórfido cuprífero (Cu-Au-Mo) mediante la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales LANDSAT 8 y ASTER, relevamiento de campo y análisis petrográfico – calcográfico, determinándose litologías, alteraciones, estructuras geológicas y anomalías espectrales de elementos polimetálicos (Cu-Au-Mo-Ag-Fe-Pb-Zn-Sn) y clusterizando áreas de interés con potencial geológico - minero.

La metodología de investigación incluyó tres etapas, diseñadas de manera estratégica desde un aspecto técnico, logístico y económico para la prospección de proyectos mineros. Se aplicó el conocimiento y criterio geológico en la toma de decisiones para la selección de áreas con potencial geológico-minero. Como ejes principales, se consideraron el modelo de depósito y las guías prospectivas, las cuales permitieron determinar la favorabilidad e influencia en la formación y localización, en espacio y tiempo, del modelo de depósito mineral por el que se prospectó la región. En cada una de las etapas se generó cartografía temática geológica.

En la Etapa I (1:7.000.000-1:150.000) se utilizaron como guías prospectivas a la tectónica, metalogénesis, estructuras y al ambiente geológico regional, el Complejo Volcánico Vicuña Pampa, como prospecto con potencial minero. En la Etapa II (1:150.000-1:50.000), la aplicación de las guías prospectivas litología, alteraciones hidrotermales, estructuras, geofísica y geoquímica, permitieron seleccionar cuatro sectores: 1) Cerro La Lunareja; 2) Lomas del Medio; 3) Cerro Los Bayitos 4) Cerro Bayo Brechas con Raíces. En la Etapa III (1:30.000-1:10.000), se corroboró la cartografía preliminar en el campo y se realizó un reconocimiento detallado de campo, que incluyó el muestreo de esquirlas de rocas destinadas al análisis microscópico, en los cuatro sectores seleccionados. Se elaboraron fichas técnicas con la descripción petrográfica y calcográfica de muestras macroscópicas y microscópicas.

El análisis petrográfico – calcográfico permitió identificar litología, alteraciones hidrotermales con la presencia de elementos económicos de interés como Au-Cu-Mo asociados a la paragénesis mineral de depósitos tipo pórfido cuprífero, lo que indica una prominente interacción con fluidos de origen magmático-hidrotermal.

Se concluye que el Complejo Volcánico Vicuña Pampa es un área con potencial económico geológico – minero muy alto donde confluyen factores genéticos geológicos que evidencian la presencia de depósitos tipo pórfidos cuprífero sobre el área, que amerita y justifica trabajos futuros de exploración.

Palabras Claves: prospección geológica-minera, clusters, potencial geológico minero.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1. Generalidades

El Complejo Volcánico Vicuña Pampa, se encuentra ubicado sobre la faja metalogenética Farallón Negro, caracterizada por la presencia de depósitos tipo pórfido cupríferos y epitermales polimetálicos de edad Mioceno-Plioceno (Cardo et al. 2015) en la cual se localizan tanto prospectos mineros (Agua Rica, Cerro Atajo, Los Viscos, Proyecto Vernacua, Co. Toronado, La Hoyada, Los Sandones, Las Papas), como proyectos en explotación (Capillitas, Farallón Negro) y otros en etapa de cierre de su etapa productiva (Bajo El Durazno y Bajo de la Alumbreira).

Si bien existen estudios e investigaciones a nivel regional sobre las condiciones geológicas favorables para la formación de yacimientos minerales en el área de estudio, no se realizaron trabajos de prospección geológica-minera, a escala de detalle, que permitan conocer su potencial minero. Es probable que el Complejo Volcánico Vicuña Pampa contenga manifestaciones metalíferas ligadas al vulcanismo, litologías receptivas - portadores a los fluidos mineralizantes y cuerpos mineralizados en profundidad.

El área de estudio presenta limitaciones desde un aspecto geográfico y climático ya que se ubica en una región con clima desfavorable, y carece de infraestructura, los cuales son aspectos cruciales a la hora de emprender una prospección geológica – minera donde deben evaluarse diversas condiciones técnicas, económicas y logísticas.

La metalogénesis en esta región, desde el Mioceno medio hasta la actualidad, se encuentra asociada a la subducción horizontal. Álvarez et al. (2014), propusieron que la subducción de la cresta asísmica de Copiapó pudo haber controlado el borde N-E de la losa plana chileno-pampeana, debido a una mayor flotabilidad, de manera similar al control que ejerce la cresta Juan Fernández en la geometría de la losa plana más al S.

Rosenbaum et al. (2005), reportaron un vínculo espacio-temporal entre la subducción de la cordillera Juan Fernández en Chile Central y la intensa actividad metalogénica en esta región desde el Mioceno medio y también a los cambios laterales en la distribución espacio-temporal de los dominios metalogénicos en el área. Por lo tanto, Mahlburg Kay & Mpodozis (2001), expresaron que los principales distritos minerales de los Andes centrales del Mioceno (entre 22 ° y 34 ° S) comparten características tectónicas y magmáticas comunes que apuntan a un modelo para su formación sobre una zona de subducción poco profunda o durante el empinamiento inicial de una antigua zona de subducción plana.

Cunningham et al. (2008) agrupan genéticamente a proyectos de Argentina como Agua Rica, Bajo de Agua Tapada, Bajo de la Alumbreira, Bajo San Lucas, Bajo El Durazno, Filo Colorado y Nevados de Famatina; junto con los proyectos de Chile como Paramillos Norte, Paramillos Sur, El Teniente y Los Bronces/Rio Blanco; de la época metalogenética Mioceno temprano – Plioceno, en un tramo donde la geología es favorable para la ocurrencia de depósitos minerales no descubiertos, de manera que la probabilidad de que un depósito esté fuera del área delimitada es insignificante.

El Complejo Volcánico Vicuña Pampa está emplazado dentro del tramo metalogénico descrito anteriormente, denominado franja metalogénica Farallón Negro (Cardo et al. 2015) ubicado estratégicamente alrededor de prospectos mineros avanzados y proyectos mineros ya explotados como son los del Complejo Volcánico Farallón Negro. Forma parte de la Zona Volcánica Central de los Andes y se ubica en el margen SE de la meseta de la Puna; pertenece

a la provincia geológica de la Puna (Ramos V. A., 2017) y su emplazamiento ocurrió durante los periodos Mioceno-Plioceno (Rosello, 1983). Integra la región de la Puna Austral y se localiza en la Faja Eruptiva Oriental, continuidad del arco Famatiniano de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales, de edad Ordovícica (Ramos & Coira, 2008).

Se puede correlacionar regionalmente al área de estudio con otras comarcas de las Sierras Pampeanas, tales como Agua de Dionisio y Capillitas, que González Bonorino (1950) vincula con las tobas y brechas volcánicas del Araucanense (Rosello, 1983).

Además, Zappettini & Gozálvez (2021) realizaron una evaluación cuantitativa del potencial de recursos minerales (no combustibles) de Argentina empleando el programa de simulación EMINERS (Economic Mineral Resource Simulator) (Root et al., 1992), desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y utilizado también por Cunningham et al., (2008); donde estimaron que la faja metalogenética Farallón Negro posee de recursos no descubiertos una media de 17.000.000 t de cobre, 410.000 t de molibdeno, 410 t de oro, 5.600 t de plata y 3.300 Mt de mena.

Este trabajo se llevó a cabo, con el fin de cumplimentar con la reglamentación vigente, para la obtención del título de grado de la carrera Licenciatura en Geología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, bajo la hipótesis de que la zona posee cierto potencial exploratorio aún no definido por la literatura geológica, lo cual constituirá un gran aporte científico y técnico.

Se investigó la geología del área de estudio, determinando los eventos relevantes de mineralización de un ambiente supergénico y su fase portadora de elementos metálicos en las vetas, las litologías favorables alojantes. También se estimaron las condiciones óptimas de las vetas para su manifestación en extensión y profundidad, con el fin de considerarlas en una etapa posterior de perforación del yacimiento en cuestión. Además, se evaluó su aplicabilidad como criterios de identificación en otros depósitos.

I.2. Objetivos

I.2.a. General

Realizar una prospección geológica-minera en el Complejo Volcánico Vicuña Pampa, departamento Belén, provincia de Catamarca, aplicando técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales LANDSAT 8 y ASTER, relevamiento de campo y análisis petrográfico – calcográfico, determinándose litologías, alteraciones, estructuras geológicas y anomalías espectrales de elementos polimetálicos (Cu-Au-Mo-Ag-Fe-Pb-Zn-Sn) a fin de clusterizar áreas con potencial geológico – minero para futuras exploraciones.

I.2.b. Específicos

- Recopilar y analizar antecedentes bibliográficos relacionados al área.
- Generar cartografía topográfica del área de estudio, mediante Modelo de Elevación Digital (DEM) ALOS PALSAR usando el software ARCGIS, a escala 1:100.000.
- Procesar imágenes satelitales LANDSAT 8 y ASTER mediante el uso del software ENVI, empleando técnicas de realces tales como combinación de bandas en RGB, cociente de bandas, cociente de bandas en RGB, índices espectrales y filtros, que permitan identificar estructuras geológicas, litologías y/o alteraciones.

- Confeccionar cartografía geológica temática preliminar sobre la base de imágenes procesadas, a través del software ARCGIS, versión 10.4 a escala 1:200.000 y 1:100.000 para estructuras geológicas y litologías, en tanto que, para cuerpos geológicos con anomalías espectrales y para blancos mineralizados, se utilizaron rangos de escalas comprendidos 1:50.000 a 1:10.000.
- Integrar la información geofísica, geoquímica, metalogenética existente con la cartografía geológica preliminar elaborada, mediante el uso del software ARCGIS.
- Realizar el control de campo de la cartografía elaborada, verificando estructuras geológicas, litologías y alteraciones.
- Efectuar el relevamiento superficial de campo expeditivo de información geológica a detalle, empleando el método ANACONDA.
- Ejecutar un muestreo superficial de unidades geológicas que evidencien anomalías espectrales y de los blancos mineralizados, para el análisis petrográfico y calcográfico correspondiente.
- Determinar la composición petrográfica y mineralógica, de las unidades geológicas muestreadas, a través de análisis de cortes delgados y calcográficos.
- Generar la cartografía geológica final aplicando los ajustes y controles de campo realizados.
- Identificar áreas con potencial geológico – minero.

I.3. Ubicación y Vías de Acceso

El área de estudio, se encuentra ubicada en el departamento Belén, provincia de Catamarca, República Argentina, a una altura entre 3.500 a 4.500 m.s.n.m. Abarca un área de 1.048 km² y está comprendida entre las coordenadas geográficas indicadas en la Tabla 1. Fig. 1.

Vértices	Latitud	Longitud
1	26° 43' 12,00" S	67° 06' 36,00" O
2	26° 43' 12,00" S	66° 49' 48,00" O
3	27° 03' 36,00" S	66° 49' 48,00" O
4	27° 03' 36,00" S	67° 06' 36,00" O

Tabla 1. Coordenadas del Área de estudio.

Para acceder al área de estudio (Fig. 2), desde San Fernando del Valle de Catamarca, se transita por Ruta Nacional N° 38 hasta la localidad de Chumbicha, luego se empalma con Ruta Nacional N° 60, cruzando la Quebrada de la Cebila, se continua hacia las localidades de Villa Mazan, Aimogasta y Alpasinche (provincia de La Rioja), para desviar por la Ruta Nacional N° 40 en Cerro Negro hacia las localidades de Londres y Belén. Se prosigue hacia el N, pasando las localidades de Puerta de San José, La Ciénaga, San Fernando y El Eje. El acceso al área de estudio puede realizarse desde el sur, siguiendo la Ruta Provincial N° 137, o desde el norte, por la Ruta Provincial N° 43.

La alternativa por el S implica recorrer 32,7 Km, pasando por las localidades de Puerta de Corral Quemado y Corral Quemado, hasta llegar a Culampajá. Desde allí es necesario transitar 7,19 Km por una huella minera en mal estado de conservación, con vehículo 4 x 4 hasta Minas de Culampajá. Finalmente, se continúa 7,38 Km por una huella, a pie o a lomo de mula, hasta llegar al sector S del área de estudio.

La alternativa por el N, es transitar 87,4 km por Ruta Provincial N° 43, hasta acceder por una huella de 8,44 km hacia el S y continuar por un camino de cornisa de 5,56 km inseguro para vehículo 4 x 4 hasta llegar al bajo del sector N del área de estudio.

También se puede arribar desde Laguna Blanca, recorriendo un camino de 17 km hacia el S hasta empalmar con Ruta Provincial N° 43 y recorrer 13,2 km hacia el O hasta llegar a la huella donde se ingresa hacia el bajo del sector N del área de estudio. Por último, desde El Peñón transitando por Ruta Provincial N° 43, se puede acceder recorriendo 51,3 km hacia el S hasta llegar a la huella donde se ingresa hacia el bajo del sector N del área de estudio.



Fig.1. Ubicación del Área de Estudio. Imagen tomada de Google Earth.



Fig. 2. Vías de Acceso. Imagen tomada de Google Earth.

I.4. Estructura del Trabajo

El presente trabajo ha sido estructurado en los siguientes capítulos:

Capítulo I - Introducción: Se exponen las generalidades del proyecto, su importancia, alcance, objetivos, ubicación, vías de accesos al sector de estudio, estructura y organización del trabajo.

Capítulo II - Marco Geográfico y Geológico: Incluye el marco geográfico compuesto por el clima, flora, fauna, hidrología y fisiografía. El marco geológico comprende la tectónica, estratigrafía, estructuras y geomorfología.

Capítulo III - Marco Teórico: Describe el estado actual del conocimiento del problema planteado, antecedentes y base teórica de la investigación.

Capítulo IV - Metodología Aplicada: Engloba la organización y descripción de los procedimientos y materiales empleados para realizar las tareas; 1) en la etapa de Gabinete I se describen el reconocimiento que se realizó en el área, la teledetección y fotointerpretación geológica digital, la localización de blancos preliminares y la generación de cartografía



preliminar; 2) en la etapa de Campo se detalla el procedimiento para corroborar los blancos preliminares, el de mapeo y muestreo; 3) en la etapa de Laboratorio se describe el procedimiento empleado para la descripción de muestras petrográficas macroscópicas y la metodología empleada para la realización y descripción de cortes petrográficos y calcográficos; y por último en la etapa de Gabinete II se especifica el procedimiento para definir áreas con potencial y generación de cartografía final.

Capítulo V – Resultados Alcanzados: Contiene la cartografía topográfica elaborada a escala 1:100.000 con el Modelo de Elevación Digital (DEM) ALOS PALSAR, el procesamiento de imágenes satelitales ASTER y LANDSAT 8 con el fin de resaltar las características geológicas; la cartografía geológica a escala 1: 200.000 y 1:100.000 para estructuras geológicas, litologías, cuerpos geológicos con anomalías espectrales y blancos mineralizados; la cartografía final integrando los criterios aplicados, determinando áreas con potencial minero. También se presenta una descripción macroscópica - microscópica de las muestras recolectadas y fichas técnicas de cuatro de las mismas, seleccionadas como representativas de cada sector analizado.

Capítulo VI – Conclusiones y Recomendaciones: Puntualiza las conclusiones del trabajo, resaltando el potencial geológico-minero y se plantean algunas recomendaciones.

Por último, se enumeran las referencias bibliográficas y se adjunta Anexo con las fichas técnicas del resto de las muestras que no fueron incluidas en el Capítulo V.



CAPÍTULO II: MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

II.1. Marco Geográfico

II.1.a. Clima

Según Sauzuk (2012), la zona de estudio posee un clima Árido Puneño. Se distingue por ser un desierto seco y frío, de características desfavorables, con veranos frescos a templados e inviernos muy rigurosos.

La norma IRAM 11.603:2012 incluye una clasificación bioambiental de todo el país basándose en la distribución de las temperaturas medias anuales, que varía en función de la latitud y altitud. Para la provincia de Catamarca, dicha norma considera una distribución de temperaturas en franjas aproximadamente paralelas a los meridianos, que abarcan la totalidad del espectro térmico (las seis franjas), desde “muy cálido” en el E hasta “muy frío” en el O cordillerano. Según este esquema, el área de estudio se ubica en la zona IV Templada – Frio, subzona IVa – de montaña, caracterizada por veranos poco rigurosos y temperaturas máximas promedio que rara vez son mayores que 30° C. Los inviernos son fríos, con valores medios comprendidos entre 4° C y 8° C, y las mínimas medias alcanzan muchas veces valores menores que 0 °C.

Las precipitaciones pluviales ocurren principalmente en la época estival (entre diciembre y marzo) y son favorecidas por los vientos provenientes del NO y no superan los 100 mm anuales, mientras que, durante el invierno, los vientos provenientes del O son secos. Las precipitaciones sólidas tienen lugar preferentemente en la época invernal, avanzando de O a E y de S a N. Las heladas son comunes durante todo el año.

La temperatura media anual es inferior a 18° C, con frecuentes registros debajo de este valor, se registran fuertes contrastes diarios debido a las variaciones de altura del relieve y la intensidad de los vientos, que regulan la humedad ambiente, influyendo directamente en la sequedad del aire. En invierno, las temperaturas pueden descender por debajo de -15°C.

II.1.b. Suelos

De manera general, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, utilizó la clasificación Soil Taxonomy (Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, 1975) y determinó en el área de estudio dos tipos de suelos. Uno de ellos del orden entisoles; de cadenas montañosa, cerros y colinas en tierras bajas, con sus principales suelos de roca terriorrientes líticos, y el otro del orden aridisoles, de piedemonte y conos aluviales en tierras bajas, con sus principales suelos paleargides típicos (Cruzate et al., 2006).

Los suelos de las partes serranas son por lo general muy poco desarrollados y están sobre un substrato rocoso, en donde el material húmico está pobremente representado o no lo está; hay escasas excepciones en las ciénagas o en lugares donde los ríos se ensanchan, (suelos aluviales) (Rosello, 1983).

En las porciones deprimidas de la parte central o periférica del Complejo Volcánico Vicuña Pampa se observa un suelo pedregoso (regosólico), constituido por rodados con diferentes grados de redondemientos o angulosos de tamaño variado y de composición petrográfica heterogénea fundamentalmente volcánica, donde siempre predomina el material del substrato. (Rosello, 1983; Turner, 1973).

En lugares donde hay acumulaciones eólicas y médanos, se observa un suelo no desarrollado (regosólico) integrado por arenas sueltas ligeramente deleznable (Rosello, 1983; Turner, 1973) y en las partes bajas se localiza un suelo salino, que presenta costras de sal en torno a cuerpos evaporíticos (Rosello, 1983).

En torno a las vegas o ciénagas y sobre sedimentos eólicos con una actividad biológica mayor, los horizontes húmicos eólicos de moderado desarrollo sostienen a una nutrida vegetación arbustiva, la que constituye el pobre sustento de los escasos animales de la región (Rosello, 1983).

II.1.c. Flora y Fauna

La vegetación de la comarca es de tipo xerófilo, predomina un arbustal abierto los que, son dominantes en estas comunidades, que se instalan entre los 3100-3200 a 3500-3700 m.s.n.m. Las especies predominantes son: *aloesia deserticola* (*acantholippia deserticola*, *ricarica*), *fabiana densa* (*tolilla*), *acantholippia punensis* (*chijua*) y *adesmia horridiuscula* (*añagua*), *junelia seriphioides* (*rosita*); *senecio subulatus* y *s. filaginoides* y *ephedra breana* (*pingo* o *tramontana*) (Carilla et al., 2018; Morláns, 1995). Entre las plantas herbáceas (anuales y perennes) que acompañan a esta comunidad arbustiva, predominan los géneros *hoffmanseggia*, *evolvulus*, *astragalus*, *portulaca*, *gomphrena*, *ranunculus*, *trichocline*, etc.; y pueden encontrarse algunas gramíneas como *panicum chloroleucum* (*jaboncillo*), *pennisetum chilense* (*esporal*) y *bouteloua simplex* (*peludilla*) (Morláns, 1995).

En los faldeos pedregosos se encuentran algunas especies diferentes, como *cassia hoockeriana*, *gochnatia glutinosa*, *fabiana denudata*, *proustia ilicifolia* y *cactáceas* en *cojín* (*tephrocactus atacamensis*) o *columnares* (*trichocereus poco*). Especies aromáticas, como *salvia gilliessii* y *satureja parvifolia* (*muña*) son menos frecuentes, quizás por ser más perseguidas por el hombre ya que ambas forman parte de la farmacopea popular; en áreas salinas son frecuentes *distichlis humilis*, *atriplex microphylla* (*cachiyuyo*) *baccharis caespitosa*, *anthobryum triandrum* (*yaretilla*), entre otras (Morláns, 1995).

La fauna incluye mamíferos como, orden carnívoro: gato andino, gato del pajonal, puma, zorro colorado, hurón menor, zorrino; orden artiodactyla: vicuña, guanaco, alpaca y llama; orden cingulata: quirquincho chico; orden didelphimorphia: marmosa pálida o enana; orden rodentia: tuco-tuco andino o tojo; *chozchori*, *lauchas colilarga* *puneña*, *ratón de vientre blanco*, *chinchillón* o *vizcacha*, *chinchilla*; orden chiroptera: vampiro común, murciélago orejón oscuro, murciélaguito amarillento, murciélago marrón, moloso común; y un grupo numeroso de aves con características tan diversas como *suris*, *flamencos*, *patos*, *jilgueros*, *catas*, *cóndores*, etc. (Perovic et al., 2018).

II.1.d. Orografía

En el ángulo noroccidental de la comarca se destacan dos cordones de superficies redondeadas y disposición general NNE denominados Cerros Peirique y Bordo de la Laguna Colorada; en la porción austral la comarca presenta valles dispuestos aproximadamente N-S; controlados por grandes fracturas que avanzan siguiendo la pendiente regional SSE del escalón erosivo puneño (Rosello, 1983; Turner, 1973).

Desde un punto de vista regional la comarca se emplaza sobre la unión del extremo occidental de la Sierra de Chango Real (de disposición ENE), con el septentrional de la Sierra

de Fiambalá (de rumbo general NNE) y con el austral del Nevado de la Laguna Blanca cuya disposición es meridional (Rosello, 1983; Turner, 1973).

Entre ambos sectores, se levantan en forma semicircular las estribaciones que constituyen al Complejo Volcánico Vicuña Pampa. Las mayores altitudes están representadas por las cumbres que marcan las culminaciones de los flancos y definen una gran divisoria de aguas, en sentido horario; comenzando desde el S, estos cerros son: Sierra de Altohuasi (4.400 m s.n.m.); Cerro Negro (al O de Culampajá: 4.500 m s.n.m.); Cerro Ampato; Alto de los Peñoneros con los Cerros Rosillo, Azul y Chiquerito; Cerro Morado, con el Cerro la Cumbre, Morro El Águila, Morro Ciénaga Grande y Morro Esquina Negra; y finalmente, el Cerro Médano Blanco (4.721 m s.n.m.) que demarca el borde oriental del Complejo Volcánico Vicuña Pampa mientras que en su interior se destacan los Cerros La Lunareja (4.000 m s.n.m.) y Bayo que se yerguen al O de la llanura de Vicuña Pampa (Rosello, 1983; Turner, 1973).

II.1.e. Hidrografía

En función de sus característicos diseños de drenaje, que son reflejo de la orografía descrita, Rosello (1983) reconoce tres sectores bien diferenciados:

1.- Sector del escalón puneño donde los cursos son de diseño dendrítico, aunque conservan un marcado paralelismo que se ajusta a la pendiente regional hacia el SE. El principal colector del área es el río Vicuña Pampa. Por fuera de la comarca estudiada este río a medida que va discurriendo se conoce como de La Cuesta, del Cajón, Corral Quemado finalmente, como río San Fernando cuando desemboca en el río Belén, poco después de atravesar la Ruta Nacional N° 40.

2.- Sector interno del Complejo Volcánico Vicuña Pampa donde adquiere una típica disposición centrípeta cuyo centro se localiza en el Campo de Vicuña Pampa, lugar en donde se insumen las aguas y que luego vuelven a adquirir expresión superficial aguas abajo de El Ojo, dando origen al río Vicuña Pampa. La totalidad de estos cursos son efímeros y de corto recorrido.

3.- Sector periférico al Complejo Volcánico Vicuña Pampa que aparece en forma de gran semicírculo, desde sus cumbres hasta las amplias planicies circundantes. El diseño es típicamente centrífugo o divergente a partir de las máximas elevaciones volcánicas y está integrado por numerosos cursos cortos, efímeros y escasamente delineados en la topografía.

La divisoria de aguas entre el sector periférico del Complejo Volcánico Vicuña Pampa y el escalón puneño establece una diferenciación geográfica entre dos ambientes: el de la Puna, caracterizado por un drenaje endorreico, y el de las Sierras Pampeanas, que presenta un drenaje dendrítico.

II.2. Marco Geológico

II.2.a. Tectónica y Metalogénesis

Un factor clave en la ocurrencia de episodios metalogénicos durante la subducción progresiva de Sudamérica, está relacionado con las heterogeneidades batimétricas dentro de la placa oceánica en subducción (Araya Jaraquemada, 2015; Rosenbaum et al., 2005).

Desde el Mioceno medio hasta la actualidad, Alvarez et al. (2014), infieren un vínculo entre la subducción de la cordillera de Copiapó en el N de Chile y NO de Argentina, con la

intensa actividad metalogénica en esta región, mientras que Rosenbaum et al. (2005), reportaron un vínculo espacio-temporal entre la subducción de la cordillera Juan Fernández en Chile Central y la intensa actividad metalogénica en esta región como así también a los cambios laterales en la distribución espacio-temporal de los dominios metalogénicos en el área.

Los Andes Centrales, constituye uno de los cinturones orogénicos más ricos del mundo por su contenido en metales. Conforman las principales reservas geológicas de antimonio, bismuto, boro, cobre, estaño, indio, yodo, litio, plomo, molibdeno, renio, plata, tungsteno y zinc y varios yacimientos de clase mundial de estos metales (Zappettini, 2017).

La mayor diversidad metalogénica ocurrió en el Cenozoico. Se destacan en el área los pórfidos de Cu-Mo(-Au) de Taca Taca, Bajo de la Alumbrera, Agua Rica; depósitos de Au epitermal asociados con vulcanismo félsico de Pairique, mineralización de estaño de tipo boliviano de Pirquitas; mineralización polimetálica Pb –Ag –Zn de Pan de Azúcar, Concordia, Antofalla y El Queva. También sobresalen los depósitos evaporíticos portadores de Li-K-B (salares del Hombre Muerto, Rincón, Cauchari, Olaroz y Sal de Vida) y depósitos boratíferos alojados en sedimentitas de Tincalayu, Loma Blanca y Sijes (Chernicoff et al., 2002; Zappettini, 2017).

II.2.b. Geología Regional

El área de estudio se encuentra en la provincia geológica de la Puna (Leanza, 1958; Turner J., 1970), definida originalmente como Puna de Atacama por Brackebusch (1883), fue posteriormente denominada simplemente como Puna por Bonarelli (1913) y Keidel (1927) (Alonso, 2000; Ramos V. A., 2017).

La historia pre-mesozoica del zócalo andino central no es bien conocida, con teorías para su ensamblaje que van desde la acreción del terreno hasta la evolución intracratónica (Coira et al., 1982; Bahlburg & Breikreuz, 1991; Bahlburg & Hervé, 1997; Ramos, 1999). Se sugirió que los diversos elementos que componen el basamento actual en la región de la Puna fueron conectados por primera vez durante la orogenia Panamericana del Proterozoico tardío (700-600 Ma) (Chernicoff et al., 2002).

Entre el Neoproterozoico y el Cámbrico temprano, la evolución geodinámica del sector Puneño situado al N del lineamiento Valle Ancho (28° S), inició con la colisión que dio lugar a la orogenia Pampeana (Ramos, 1988) la cual habría sido generada por la acreción del terreno Arequipa-Antofalla 600–520 Ma (Chernicoff et al., 2002; Ramos, 1999; Rapela et al., 2001).

Una segunda fase orogénica, el ciclo Famatiniano (Coira et al., 1982; Ramos, 2015), afectó a la región a mediados del Ordovícico-Carbonífero temprano (Ramos, 1999) que dio lugar a la Faja Eruptiva Occidental de La Puna (Coira et al., 1999; Bahlburg & Breikreuz, 1991; Bahlburg y Hervé, 1997) y a la Faja Eruptiva Oriental de La Puna (Coira et al., 1999; Méndez et al., 1973; Mon, 1979).

Los movimientos de la fase Chanica produjeron el levantamiento de la Protocordillera Oriental al E del Arco Puneño, con lo cual dio comienzo al ciclo Gondwanico (Ramos 1988, 1999) relacionado con una pequeña colisión entre el terreno de Mejillonia y el margen de Gondwana durante el Pérmico tardío-Triásico temprano. Estos hechos apuntan a un ciclo de subducción plana en los tiempos del Pérmico temprano, seguido de un empujamiento de la losa y el consiguiente colapso orogénico entre el Pérmico tardío y el Triásico temprano (Ramos, 1997; Ramos & Folguera, 2009).

El ciclo Andino de subducción de la placa del Pacífico, debajo del margen Occidental de Gondwana se habría iniciado con una primera etapa extensiva desde Jurásico-Cretácico inferior (Coira et al., 1982). Otros autores sostienen que podría haber comenzado en el Triásico o incluso en el Carbonífero tardío (Bahlburg y Hervé, 1997) y una segunda etapa compresional desde el Cretácico superior al Reciente (Camus, 2003; Santana et al., 2013) que puede ser subdividida en dos estadios diferentes con características propias: un subciclo Paleógeno, que alcanza su máxima expresión con los movimientos Incaicos y un subciclo Neógeno con sus movimientos principales asociados a los movimientos Quechuas en el sentido de Ramos et al. (1988) y Ramos (1999).

La sedimentación Neógena-Cuaternaria en la Puna produjo depósitos fluviales y lacustres (incluidos los evaporíticos) dentro de cuencas intermontanas cerradas, comúnmente controladas estructuralmente (Allmendinger et al., 1997; Alonso et al., 1992) y el vulcanismo que estalló durante el Mioceno en la Cordillera Occidental continuó esporádicamente en el Cuaternario (Chernicoff et al., 2002).

II.2.c. Geología Local

A diferencia de Turner (1962), Rosello (1983), propuso y definió al basamento o zócalo prevolcánico del Precámbrico-Ordovícico como Grupo Cachiñán, donde todas las unidades que lo componen evidencian variables signos de cataclasis cohesiva que las modifican, al punto de permitir el reconocimiento de un conjunto de rocas miloníticas dentro de las entidades eruptivas.

Está compuesto por las unidades sedimentarias y ectiníticas de la Formación Loma Corral (Ávila & Lazarte, 2012; García et al., 1981; Lazarte, 1992; Turner, 1962), por las sedimentitas carbonáticas Formación Totorillas y por los cuerpos eruptivos asociados a éstas como el Cuerpo La Cuesta (García et al., 1981; Rosello, 1983). Entre las ectinitas se encuentra como unidad de transición la Formación Famabalasto (Penck 1914; Rosello 1983; Turner, 1962) constituida por micacitas inyectadas y/o embrequitadas, y las facies eruptiva, pegmatítica y cataclástica de la Formación Chango Real (Aceñolaza & Toselli, 1981; Baldi & Blasco, 1975; Caminos, 1972, 1979; Fernández Lima et al. 1955; González Bonorino, 1950; Méndez et al., 1973; Lazarte, 1992; Turner, 1962, 1972, 1973), intruida por granitos de tipo mesozonal del Granito La Cuesta (Aceñolaza & Toselli, 1981; García et al., 1981; González Bonorino, 1950) del Carbónico. Durante el Cretácico se produce la intrusión de otro granito, pero de tipo epizonal de la Formación Papachacra (García et al., 1981, 1982; Lazarte et al. 2006; Lazarte 2008, 2019; Rosello & García, 1984).

Desde el Mioceno se inicia la edificación del Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Rosello (1983) lo divide en tres entidades, que en sentido cronológico son: la Asociación Volcánica inferior del Mioceno donde se reconocen rocas fundamentalmente piroclásticas; la Formación Chucolay del Mioceno-Plioceno integrada por brechas y aglomerados volcano sedimentarios; y la Asociación Volcánica superior del Plioceno, compuesto por basandesita, basaltos oliviníticos y de color oliva grisáceo. Atravesando a las dos primeras se localizan diques andesíticos y en el centro de la caldera asoman cuerpos hipabisales básicos de afiliación plutónica, además de diques y cuerpos de composición ácida, conformando las raíces del Complejo.

En cambio, Guzmán et al. (2017a) reconocen dos ciclos de formación del edificio volcánico principal con sus respectivas unidades. El primer y principal ciclo se divide en dos

etapas de construcción. La primera etapa está dominada por Flujos de Lava inferior, de escombros e hiperconcentrados de la Sucesión Epiclástica de Cerro Morado; y los tapones y cuellos del Complejo de Raíz. La segunda etapa, integrada por tefras y brechas Nacimientos, monomicticas La Cumbre y flujos de composición traquiandesitas - traquidacitas y basálticos Flujos de lava superior.

Por último, el segundo ciclo, posiblemente de edad tardía del Mioceno, se encuentra el Cerro Bayo Brecha integrado por brechas monomícticas de composición traquiandesitas y andesita.

Por último, el relleno Moderno del Cuaternario, incluye a los sedimentos pobremente consolidados de niveles aterrizados del Pleistoceno y del Holoceno, a los no consolidados, diferenciados en sedimentos coluvio – aluviales, playas salinas - evaporitas, eólicos y de planicies aluviales (Rosello, 1983).

II.2.d. Estructuras

En la zona del Altiplano-Puna y áreas adyacentes se destacan fallas regionales que se disponen con trayectorias principales N-S, NO-SE y NE-SO (Mon 1979, Allmendinger et al. 1982, Salfity 1985, Riller & Oncken, 2003). Parecen haber tenido antecedentes en el basamento del Paleozoico (Chernicoff et al., 2002) relacionadas con la localización del volcanismo en coincidencia aproximada con zonas de fallas vinculadas a las intersecciones de estas estructuras mayores (Guzmán et al., 2017c; Grosse et al., 2017; Petrinovic et al., 2017).

La arquitectura estructural pre-cenozoica del basamento de la Puna está dominada por la zona de sutura con tendencia NNE entre los terrenos Arequipa Antofalla y Pampia (aproximadamente definido por el límite occidental del afloramiento de rocas Precámbricas); y por corrimientos de rumbo N-S que en algunos casos fueron reactivados a partir de estructuras Paleozoicas y/o Cretácicas (Guzmán et al, 2017c; Seggiaro et al. 2014).

Este basamento estructural se reactivó durante el Cenozoico y formó un elemento clave en la delimitación de bloques levantados y cuencas intermontanas. Importantes lineamientos transversales de tendencia NO y NE que atraviesan la Puna y se extienden desde el O de Chile también parecen haberse originado en el Paleozoico (Allmendinger et al., 1982; Chernicoff et al., 2002; Salfity, 1985).

Localmente, Rosello (1983), agrupa a fracturas según sus edades relativas con respecto al emplazamiento del Complejo Volcánico: 1) Fracturas anteriores o prevolcánicas: se generaron a partir de removilizaciones de fracturas mucho más antiguas en el basamento. Regionalmente el fallamiento responde a compresiones corticales tangenciales y atraviesa la comarca con rumbos comprendidos entre N 10° O y N 20° O; 2) Fracturas simultáneas o sinvolcánicas que se relacionan con el colapso de la superestructura constituida por la Asociación Volcánica inferior, y el diseño estructural presenta dos juegos conjugados, uno N 35° E - N 20° E y el otro NS-N 25° O, esencialmente extensivo; y por último, 3) Fracturas posteriores o post-volcánicas que afectaron a todas las unidades del Complejo Volcánico Vicuña Pampa, pudieron estar involucrados los sedimentos no consolidados del Relleno Moderno y consta de dos juegos de fracturas de rumbos N 40° E y NS, donde carece de estilo propio.

II.2.e. Geomorfología

El volcanismo Cenozoico comienza en la Puna en el Oligoceno-Mioceno inferior y continúa hasta la actualidad, con gran profusión durante el Mioceno superior-Plioceno. Este proceso ha cubierto más de la mitad de la superficie total de la Puna y ha sido responsable de muchas de sus características geológicas pasadas y geomorfológicas actuales (Milana & Kröhlting, 2017; Petrinovic et al., 2017).

La mayoría de las calderas andinas han colapsado en etapas tempranas de la erupción, generando columnas eruptivas densas y de baja altura que formaron flujos piroclásticos casi rasantes; son escasos los ejemplos de calderas que estuvieron precedidas por erupciones plinianas (Guzmán et al., 2017c).

El Complejo Volcánico Vicuña Pampa (CVVP), ubicado en el margen SE del Altiplano-Puna meseta y originalmente considerada como una caldera colapsada (Rosselló, 1980,1983; Viramonte y Petrinovic, 1990), se interpretó recientemente como un macizo volcánico de 30 km de ancho que sufrió intensa degradación (Guzmán et al., 2017a).

A pesar de la morfología tipo caldera del complejo volcánico Vicuña Pampa, no se evidencia la presencia de fallas anulares, depósitos sustanciales de flujo piroclástico (que no sean depósitos de flujo de bloques y cenizas de pequeño volumen), ni brechas de colapso, elementos esperados en el caso de una caldera colapsada. Por lo tanto, no hay evidencia que apoye la hipótesis de que la depresión central se originó por el colapso de una caldera. La ocurrencia de flujos de bloques y cenizas indica la existencia de domos (Guzmán et al., 2017a;2017b).

Cabe destacar que varios centros volcánicos, anteriormente interpretados como calderas de colapso, han sido posteriormente reinterpretados y desvinculados de tal origen, por ejemplo, Ramadas (Tait et al. 2009), Farallón Negro (Seggiaro et al. 2014) o Vicuña Pampa (Guzmán et al. 2017a;2017b).

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

III.1 Estado actual del conocimiento - Antecedentes

El área de estudio no cuenta con trabajos publicados sobre metalogenia o prospección geológico-minera, ni existen antecedentes de inversiones realizadas por empresas nacionales e internacionales, ni perforaciones en la zona.

Entre los trabajos de síntesis que atañen a la comarca se conocen los de Turner (1972), Caminos (1972, 1979), Turner & Méndez (1979), de Alba (1979), Aceñolaza & Toselli (1981) quienes realizaron un extenso trabajo de integración de la geología del NO argentino.

Rosello (1980) consideró como pertenecientes a un mismo Complejo Volcánico a las rocas extrusivas y piroclásticas cenozoicas de la presente región. Finalmente, en 1983, en su tesis doctoral define al nuevo y extenso complejo volcánico como Vicuña Pampa, descubierto por él, donde ubica con precisión el límite entre las Provincias Geológicas de Puna y Sierras Pampeanas, ya que en aquellas comarcas inhóspitas y casi inaccesibles del NO de la Provincia de Catamarca este dato era muy inseguro, lo cual se traducía en un sensible vacío en el conocimiento de la Geología Regional Argentina.

En relación a informes mineros no se conocen trabajos específicos en el área de estudio, pero sí de lugares cercanos; los de Angelelli (1950), Ávila et al. (1999); Ávila & Lazarte, 2012; Cervi (1947), Fernández Lima et al. (1955), Ricci et al., 1983 y Martínez et al. (2016) que estudiaron el Distrito Aurífero Culampajá; los De la Iglesia & Givré (1955) y Aspilueta (1961) que analizaron la mina de wolframio El Aragonés, ubicada sobre el límite austral de la comarca. Auriemma (1974) relevó el sector sudoriental del área entre los ríos Vicuña Pampa y El Bolsón, poniendo énfasis en sus posibilidades económicas y García et al. (1982) describió un novedoso depósito tipo greisen de magnetita, fluorita y minerales de berilio y wolframio al que denominaron Tiburcio, emplazado a pocos kilómetros al SE de La Cuesta.

Zappettini & Gozálvez (2021) efectuaron una evaluación cuantitativa del potencial de recursos minerales (no combustibles) de Argentina empleando el programa de simulación EMINERS (Economic Mineral Resource Simulator) (Root et al., 1992), desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y utilizado también por Cunningham et al. (2008). Los resultados de la evaluación indican que la faja metalogenética Farallón Negro posee recursos no descubiertos, con una estimación media de 17.000.000 t de cobre, 410.000 t de molibdeno, 410 t de oro, 5.600 t de plata y 3.300 Mt de mena.

Con base en estos datos, se espera la existencia de áreas sin descubrir, aún con potencial geológico-minero por prospectar que pueden contener manifestaciones metalíferas ligadas al vulcanismo, que existan litologías portadoras de fluidos mineralizadores y que haya evidencias de cuerpos mineralizados en profundidad.

Si bien existen estudios e investigaciones a nivel regional sobre las condiciones geológicas favorables para la formación de yacimientos minerales en la región, aún no se realizaron trabajos de prospección geológica-minera a escalas más detalladas, que permitan reconocer el potencial minero en áreas menos exploradas.

III.2 Base teórica de la investigación - Depósitos Pórfido Cupríferos

Los depósitos pórfido cuprífero pueden alcanzar hasta más de 100 Mt con bajo a moderado grado de mineralización de cobre (0.3-2.0 % promedio) comúnmente diseminado, en brecha o en vetas relacionadas a intrusiones porfídicas graníticas. Son además el tipo de yacimiento más abundante e importante relacionado a este commodity (Cu) invirtiéndose en su investigación y entendimiento más que cualquier otro tipo de yacimiento (Sillitoe, 2010; Singer et al., 2002). Suelen estar asociados a arcos magmáticos y a los cinturones orogénicos alcanzando rangos de decenas a cientos e incluso miles de kilómetros de manera paralela o subparalela a éstos (Sillitoe, 2010; Coocke et al., 2005) y se localizan en tres estilos de estructuras principales en entornos de arco posterior relacionados con la subducción (Corbett, 1994, 2012; Corbett & Leach, 1998) como las estructuras de arco paralelo, estructuras normales de arco y fracturas conjugadas (Corbett 2018, 2019).

Ciertas rocas muestran preferencias por metales específicos. En el caso de los pórfidos cupríferos, la litología favorable se observa en diques y rocas graníticas de texturas porfídicas; en zonas de brechas con fragmentos angulares con presencia de sulfuros, en rocas intrusivas como granitos, granodioritas, tonalitas, monzonitas cuarcíferas, dioritas; en rocas subvolcánicas como stocks dioríticos - granodioríticos con textura porfídica; y en rocas volcánicas, tales como dacitas.

En el centro más profundo del sistema pórfido cuprífero la geometría de la zona de mineralización depende en general de la forma del stock de vetas o diques junto con la posible influencia tardía del emplazamiento de algún intrusivo porfídico que modifique o aporte cierto grado de mineralización. Bajo estas influencias y sin considerar sobre imposiciones de alteraciones y eventos que modifiquen la geometría se plantea de manera general una forma y disposición elíptica-cilíndrica emplazada de manera vertical (Sillitoe, 2000, 2010).

Como los diques y stock comúnmente no sobrepasan el diámetro de 1 Km, la geometría elíptica-cilíndrica en sentido horizontal no supera este valor, y considerando los datos obtenidos por explotaciones mineras y sondeos profundos, se estima una extensión vertical entre 2 a >4 Km, pero existen excepciones, como es el sistema porfídico de Chuquicamata, en Chile, cuya prolongación vertical alcanza los 14 Km (Sillitoe 2000, 2010). Vale destacar que estas geometrías no tienen una relación directa, proporcionalmente hablando, con el contenido de cobre presente.

Cuando hay sobreimposiciones de eventos de alteración y mineralización puede considerarse que el sistema ha sufrido un proceso llamado “telescópico, produciéndose una modificación de la uniformidad en el tamaño y distribución de las zonas de alteración y mineralización (Sillitoe 2000, 2010) y que suele variar de depósito en depósito de acuerdo a una distribución litológica en particular. Un sistema sin proceso de sobreimposición (Sillitoe 2000, 2010), presenta las alteraciones distribuidas verticalmente bien uniformes y acotadas. La zona de alteración y mineralización típicamente afecta varios kilómetros cúbicos de roca; en promedio se alteran aproximadamente 9 Km² y 1,25 Km² de roca respectivamente (Singer et al., 2002).

Los depósitos de pórfido Cu-Au se desarrollan mediante una serie compleja de etapas o eventos de sobreimpresión de emplazamiento de intrusión, alteración hidrotermal y mineralización. Cada sistema puede presentar diferentes grados de desarrollo de estos procesos, lo que genera grandes variaciones entre los depósitos individuales (Corbett, 2018, 2019). Las etapas (Corbett 2018, 2019) son (Fig. 3):

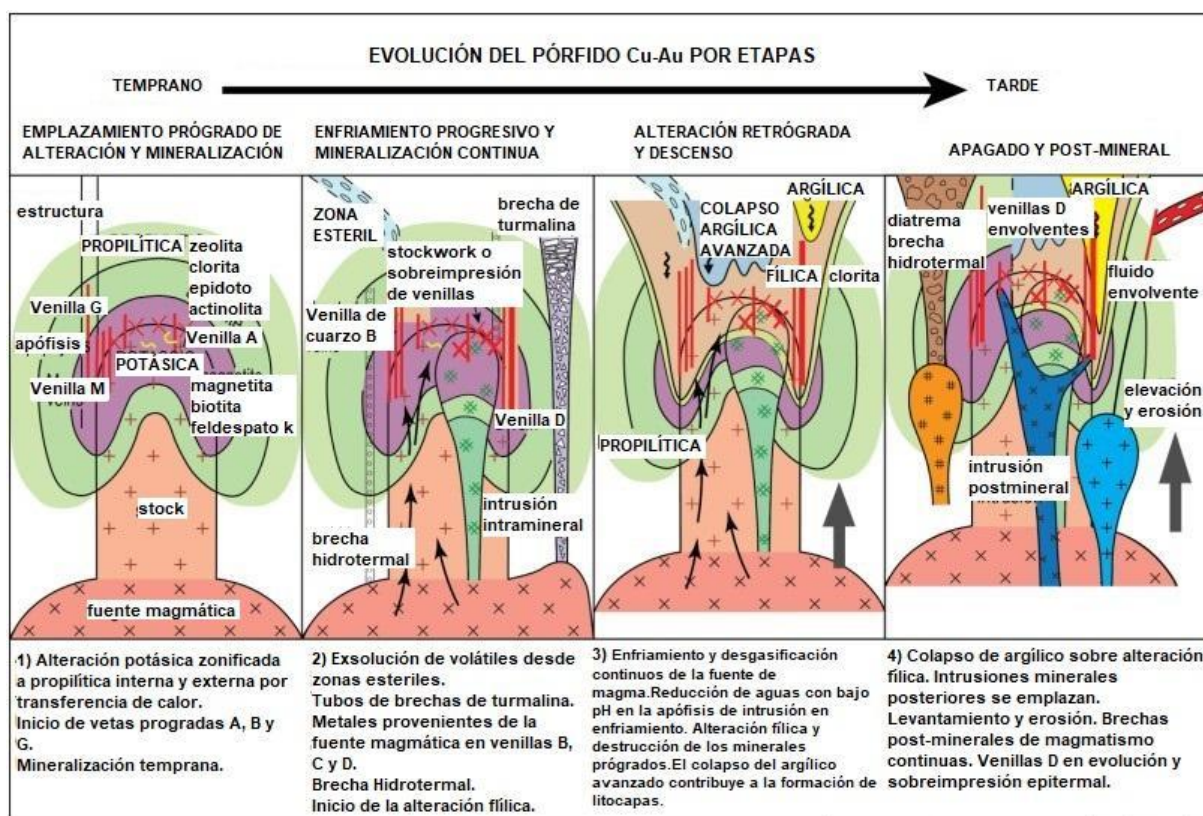


Fig. 3. Modelo por etapas para el desarrollo de pórfido modificado de Corbett (2018, 2019). Etapas: 1) Emplazamiento, alteración y mineralización prograda, 2) Enfriamiento progresivo y mineralización continua, 3) Alteración retrógrada y descenso, 4) Apagado y post-mineral.

III.2.a. Emplazamiento, Alteración y Mineralización Prógrada

Los cambios en las condiciones tectónicas, a menudo evidenciados por la cinemática de las venillas como episodios transitorios de extensión dentro de entornos generales de arco de compresión, pueden actuar como desencadenantes para iniciar el emplazamiento contundente, rápido y ascendente de apófisis de pórfido verticalmente atenuadas sobre cuerpos fuente de magma más profundos (Corbett & Leach, 1998; Corbett, 2018).

La alteración hidrotermal progresiva desarrollada dentro de la apófisis de la intrusión de enfriamiento se divide en zonas desde un sector centro-profundo del pórfido hacia el exterior hasta las rocas de la pared huésped. En la alteración potásica (Alt-K) más interna, se encuentra una combinación variable de magnetita (Mag), sílice (Si), feldespato (Fs), biotita secundaria (Bt), albita (Ab), anhidrita (Anh), pirita (Py), calcopirita (Ccp) y bornita (Bn), lo que genera una firma geofísica de un cuerpo magnético, resistivo y moderadamente cargable.

La Alt-K está caracterizada por la presencia de stock de vetillas ricas en cuarzo tipo A, B y transición AB. Las primeras venillas A estériles y de alta temperatura se desarrollan dentro del magma en enfriamiento, por lo que presentan una forma contorsionada y desmembrada, el cuarzo (Qtz) es vítreo y granular y pueden estar bandeadas por intrusión de Mag y/o Py en bandas de color gris (Gustafson & Hunt 1975). El inicio de la mineralización del pórfido se representa más comúnmente por el desarrollo de venillas masivas de cuarzo lineales estilo A, con bordes de calcopirita-bornita diseminados, fracturados y con alteración prógrada.



Las venillas tipo B (Gustafson & Hunt 1975), son venillas planares de Qtz que presentan una sutura central de Ccp o Bn, sobreimprimen las venas A y M con orillos de alteración prógrada o retrógrada y, por lo tanto, se extienden a ambos lados de la división progrado-retrogrado.

Además, las venillas EDM (Rusk et al. 2008), caracterizadas por Bt (localmente retrógrada a clorita) hasta una grieta central, que puede albergar Anh y Ccp mineralizada (con Py) se extienden hacia el borde, también se forman temprano, posiblemente en asociación con la alteración potásica.

De manera simultánea a la Alt-K, ocurre la alteración calco sódica (Alt Ca-Na) (Carten, 1986) en zonas más altas o marginales. Generalmente, esta alteración es estéril y se presenta como remanente dentro de la alteración potásica. Usualmente ubicada en lo profundo, aunque es posible encontrar desarrollos a lo largo de los costados o bajo del sistema porfídico. La asociación mineralógica característica es: anfíbol (Anp) actinolita y hornblenda, albita u oligoclasa, dióxido, con venillas monominerales Tipo M (Clark y Arancibia 1995) con Mag y Qtz vítreo y granular. Son comunes las venillas de Qtz-Mag $\pm$ Anf.

Las venillas tipo A pueden evolucionar hacia venillas tipo M, que albergan la mayoría de los sulfuros depositados posteriormente durante la reapertura de las laminaciones. En consecuencia, es posible que algunos depósitos de pórfido alberguen vetas M estériles.

La magnetita hidrotermal ocupa del 3 al 10 % del volumen de la Alt-K. Se encuentra como venillas con Qtz (tipo A) y sin Qtz (tipo M), como agrupamientos irregulares, como granos diseminados y como agregados de granos. Precede y acompaña la introducción de sulfuros que contienen Cu. Hay una estrecha relación entre el contenido de Mag y Au (directamente proporcional). Algunas zonas del núcleo están desprovistas de Py. La Bn se localiza en las zonas profundas del pórfido, en las zonas centrales de la Alt-K. En depósitos porfíricos que contienen Mo, la molibdenita se presenta como venillas monominerales, en venillas tardías de Qtz (tipo B) y como escamas diseminadas.

Las venillas G se distinguen de las venillas M, ya que la pared de roca alberga vetas que contienen magnetita masiva con combinaciones adicionales de cuarzo, hematita, pirita, calcopirita y bornita. Estas venillas, alojadas en la pared de roca proporcionan vectores hacia intrusiones de pórfido ciego, mientras que los bordes de alteración prógrada y las variaciones en su mineralogía permiten diferenciarlas de las venillas D retrógradas posteriores.

Los depósitos de pórfido ricos en oro (comúnmente oxidados y de alta temperatura) se desarrollan donde la bornita predomina sobre la calcopirita en las vetas A y M, ya que la bornita contiene una mayor concentración de Au en comparación con la calcopirita, especialmente a temperaturas más elevadas.

Estos tres estilos de venillas pueden desarrollarse como stockworks multidireccionales, especialmente debido a múltiples eventos de venillas asociados con intrusiones de pórfido sobreimpreso, o formar vetas laminadas paralelas capaces, en entornos estructurales dilatantes, de transportar fluidos minerales a distancias considerables de la fuente de intrusión hacia las rocas de la pared suprayacente.

Como la mayor parte de la mineralización se encuentra dentro de la alteración potásica, la zonación mineral de la pared de roca que se gradúa desde afuera hacia la alteración prógrada interna (actinolita, epidota, calcita ($\uparrow T^\circ$)) y luego propilítica externa (clorita, hematita, carbonato ($\downarrow T^\circ$)) la epidota disminuye progresivamente y da paso a una transición hacia clorita y pirita, las cuales, con o sin alteración sericitica, constituyen los halos piríticos

en zonas mineralizadas con cobre (Cu) y oro (Au) proporciona un vector importante hacia las intrusiones ciegas de pórfido.

La alteración propilítica se ubica en la parte marginal del sistema, en los halos más externos, está confinada a la roca de caja y se genera al mismo tiempo que la Alt Ca - Na - K y se caracteriza por hidratación, carbonatación, oxidación y/o sulfuración. Además, se distingue por la presencia de minerales hidratados, sin requerir un tipo específico de venilla.

III.2.b. Enfriamiento Progresivo y Mineralización Continua

La desgasificación inicial de la intrusión del pórfido puede permitir que una columna de volátiles magmáticos calientes se expulse de la intrusión y evolucione para formar fluidos fuertemente ácidos durante la despresurización y el enfriamiento asociados con el ascenso a entornos corticales elevados.

La interacción de estos fluidos de bajo pH con las rocas de la pared proporciona zonas estériles de alteración argílica avanzada (Alt-AA) de la roca de la pared zonificada que generalmente se desarrolla arriba y marginalmente a muchos depósitos de pórfido temprano en la secuencia paragenética (Corbett & Leach, 1998; Corbett, 2008, 2018).

La alteración argílica avanzada se manifiesta en forma de parches sobre la alteración sericitica y propilítica, por encima de los stocks. Se hospeda en las partes volcánicas de los sistemas porfíricos donde constituyen extensas lithocaps gruesas de aproximadamente 1 km. La asociación mineral es: Qtz, Alu, Pirofilita, Diáspora, Dickita y Caolinita. Cerca del piso de las zonas de Alt-AA predominan pirofilita y dickita sobre Qtz y Alu. En este sector enargita ± luzonita reemplazan a los sulfuros de Fe y, si están presentes, se localizan en fracturas.

Estas características resistivas y topográficamente obvias comúnmente están más controladas estructuralmente en profundidad y litológicamente en niveles más altos de la corteza, y son esencialmente estériles de Cu-Au a menos que sean cortadas por fallas posteriores o eventos epitermales de alta sulfuración. Son elementos importantes de las características "fuera del pórfido" que se utilizan como vector hacia las intrusiones ciegas.

Los magmas que contienen boro pueden elevarse a entornos corticales elevados y hacer erupción para formar cuerpos de brecha "a partir de pórfido". En estos cuerpos, los clastos de brecha son indicativos de colapso posterior a la liberación de volátiles. Posteriormente, el espacio abierto se rellena con sulfuros tardíos, acompañados de ganga de cuarzo y turmalina.

Si bien se espera que el magma asociado con la apófisis del pórfido (polifásico) contenga una cantidad considerable de metal depositado tras el enfriamiento inicial, gran parte de la mineralización de Cu-Au dentro de mejores depósitos de pórfido de Cu-Au se ha derivado del enfriamiento de la fuente magmática en profundidad, comúnmente transportada a entornos corticales elevados dentro de vetas de cuarzo laminadas dilatantes.

Las venillas C con predominio de calcopirita representan fuentes importantes de mineralización de sulfuro en etapa tardía como fracturas/vetas, llenando el espacio abierto central dentro de vetas de cuarzo de estilo B anteriores y las separaciones de vetas M laminadas. Se interpreta que estos sulfuros se derivan de la fuente de magma desgasificada en profundidad.

Las brechas hidrotermales de etapa tardía, caracterizados por la presencia de clastos redondeados molidos durante la propulsión hacia arriba de las estructuras mediante la desgasificación de volátiles magmáticos, depósitos de pórfido transversales y las rocas de la

pared suprayacentes, son cortados por venillas D donde ambas explotan las mismas estructuras, ya que es probable que ambas se hayan derivado de la fuente magmática en profundidad.

III.2.c. Alteración Retrógrada

Los volátiles magmáticos al enfriarse se oxidan para formar fluidos de bajo pH que reaccionan con las rocas de la pared para producir una alteración argílica retrógrada, argílica y fílica retrógrada.

La alteración fílica, desarrollada en condiciones de pH moderadamente bajo (7-4,5) en un rango de temperatura considerable $>250\text{ }^{\circ}\text{C}$, se caracteriza principalmente por sericita-pirita con adiciones variables de sílice, carbonato (típicamente siderita), anhidrita y clorita, esta última comúnmente como pseudomorfos de minerales máficos, que pasa a sericita con alteración más intensa. Incluyen venillas tipo B, C y D que se fusionan localmente; alteración generalizada como una progresión prógrada de enfriamiento y mineralización, así como una sobreimpresión colapsante tras una alteración prógrada anterior.

El proceso de reducción, evidente en los sistemas geotérmicos magmáticos (Corbett & Leach, 1998), ayuda a explicar el establecimiento de la alteración fílica en la porción superior del ambiente de pórfido y la sobreimpresión de colapso tras la alteración prógrada, que se desarrolla mejor dentro de fallas y porciones permeables del entorno de pórfido, como los márgenes de intrusión. En consecuencia, la alteración fílica muestra una forma de diente molar en la parte superior de la intrusión (Corbett & Leach, 1998).

Los fluidos que contienen Cu y Au casi neutros continúan ventilándose desde la fuente magmática caliente que se enfría en las profundidades hacia la apófisis suprayacente y se mezclan con las aguas oxidantes de bajo pH que colapsan y son responsables de la alteración fílica, para promover la deposición de metales de alto grado. Aquí, se espera que la alteración fílica contenga bornita clasificada hacia afuera a calcopirita a medida que los fluidos se han enfriado y neutralizado como lo describen Pollard et al. (2017).

A medida que el pH disminuye, una mayor alteración fílica también puede contener núcleos de alteración argílica avanzada zonal, que pueden extenderse lateralmente dentro de rocas hospedantes permeables. Aquí, los minerales de Cu con un estado de sulfuración más alto pueden incluir calcosina y covelina que pasan a enargita en condiciones de pH más bajo.

A medida que las aguas meteóricas ingresan al ambiente de pórfido, el enfriamiento y la neutralización de las aguas de bajo pH responsables del desarrollo de la alteración fílica promueven el desarrollo de la alteración argílica en los márgenes exteriores de la alteración fílica, dominada por clorita con dickita de mayor temperatura que pasa a caolinita de menor temperatura y luego illita en condiciones más neutrales. De manera similar, con la ayuda de la entrada de aguas meteóricas, la alteración argílica en etapas posteriores puede imprimirse sobre la alteración fílica anterior como alteración fílica-argílica, denominada SCC (sericita-arcilla-clorita) o clorita-sericita por algunos investigadores.

La alteración fílica se caracteriza por la destrucción de la magnetita secundaria generada durante la alteración potásica, para proporcionar regiones de respuesta magnética irregular y sutil. La abundante presencia de pirita genera anomalías de cargabilidad por polarización inducida con resistividad variable. Sin embargo, esta alteración fílica en colapso no necesita estar directamente asociada con la mineralización de Cu-Au, especialmente si las intersecciones de perforación permanecen en las rocas de la pared suprayacente.

III.2.d. Apagado y Post Mineral

El levantamiento y la erosión continua son una parte integral del proceso del pórfido que puede proporcionar un desencadenante importante para el emplazamiento de intrusiones de pórfido en su conjunto, o intrusiones intraminerales y postminerales individuales.

La mineralización epitermal a nivel de la corteza menos profunda se concentra comúnmente en sistemas de pórfidos anteriores de niveles profundos elevados por estructuras como sobreimpresiones epitermales en pórfidos anteriores.

Las venillas D (Gustafson & Hunt, 1975) representan el evento final de venillas dominadas por combinaciones de cuarzo, pirita, calcopirita, carbonato, anhidrita y bornita local con bordes de alteración de sericita-pirita, cortan intrusiones de pórfido mineralizado y se extienden distancias considerables dentro de las rocas de la pared, por lo que los exploradores las utilizan como vectores para la mineralización. Las venas D portadoras de Mo forman parte del halo marginal de la anomalía de Mo, utilizado para vectorizar intrusiones de pórfido ciego.

En el ambiente de la pared de roca son discernibles clases de vetas D, las de baja sulfuración son equivalentes al sulfuro de cuarzo epitermal (profundo) Au $\pm$ Mineralización de Cu (Corbett & Leach, 1998; Corbett 2008, 2018, 2019) y puede evolucionar al estilo Au de metal base carbonato con aumentos en galena, esfalerita y carbonato (comúnmente rodocrosita), y las de alta sulfuración se caracterizan por la presencia de calcosina, covelina y enargita hipógenas (dependiendo del estado de sulfuración) y bordes de alteración argílica avanzada (alunita, pirofilita, dickita).

Los fluidos magmáticos enriquecidos casi neutros, calientes y reducidos, se ventilan desde la fuente de magma en profundidad y durante el ascenso a niveles de la corteza más altos se despresurizan y se enfrían para exsolver los volátiles (SO₂ en particular) y así progresivamente adquieren un carácter de pH más bajo, para depositar minerales de mayor sulfuración dentro de vetas marginales a la fuente magmática y localmente al pórfido. En los niveles de la corteza epitermal, los fluidos oxidantes ácidos calientes también pueden formar depósitos epitermales de Au de alta sulfuración o enfriarse y neutralizarse por la reacción de la roca de la pared para depositar conjuntos de minerales de menor sulfuración en zonas.

La alteración argílica (caolinita-clorita-pirita $\pm$ illita) continúa sobreimprimiendo los sistemas de pórfido dominados por la alteración potásico-propilítica durante el enfriamiento final variando a zeolitas más neutras (laumontita) y carbonato, particularmente en zonas de fractura y falla. El yeso se forma mediante hidrólisis de anhidrita predominantemente en las porciones superiores de los sistemas de pórfido en enfriamiento y promueve la expansión de la roca en las minas.

La meteorización supergénica de sulfuros dentro de depósitos de pórfido, como aquellos con abundante alteración fílica o argílica avanzada con alto contenido de pirita, genera aguas subterráneas de bajo pH. Este proceso facilita el desarrollo de capas superficiales lixiviadas dominadas por sílice, arcilla y óxidos de hierro y de las cuales se pueden extraer Cu y Au supergénico removilizado.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA APLICADA

La metodología empleada se enfocó en la prospección geológica-minera de depósitos porfídicos de Cu ($\pm$ Mo $\pm$ Au) y en la paragénesis de minerales metalíferos con mayor valor económico como calcopirita, molibdenita, y pirita con oro y cobre nativo; y de menor valor económico como bornita, magnetita, hematita, rutilo, cubanita, pirrotina, enargita, galena, esfalerita, tetraedrita, calcosina, digenita, covellina, cuprita, delafossita, jarosita, goethita.

La metodología, de elaboración propia, conformada por tres etapas, se basó en aspectos técnicos, logísticos y económicos de la prospección de proyectos mineros aplicándose el conocimiento y criterios geológicos en la toma de decisiones para la selección de áreas con potencial geológico-minero. El modelo del depósito y las guías prospectivas utilizadas constituyen el eje principal de la metodología para la selección de áreas con potencial geológico-minero en cada etapa.

Cada guía prospectiva fue valorada y clasificada de acuerdo a su favorabilidad e influencia en la formación y localización en espacio y tiempo del depósito mineral por el que se prospectó en la región. Se clasificaron cuatro clases: 1) muy favorable, 2) favorable 3) poco favorable y 4) muy poco favorable. Cada clase recibió una puntuación según la cantidad de guías prospectivas presentes, para estimar su potencial en 4 categorías: 1) alto potencial, 2) medio potencial, 3) bajo potencial y 4) muy bajo potencial (Tabla 2).

Clasificación de Guías Prospectivas	Puntuación de Guías Prospectivas	Puntuación Total de Guías por Etapas			Puntuación Total de Etapas	Porcentaje de Favorabilidad de Áreas	Clasificación de Áreas
		I	II	III			
Muy Favorable	10	40	50	30	120	100 %	Alto potencial
Favorable	7	28	35	21	84	70 %	Medio Potencial
Poco Favorable	3	12	15	9	36	30 %	Bajo Potencial
Muy poco favorable	1	4	5	3	12	10 %	Muy Bajo Potencial

Tabla 2. Clasificación de guías prospectivas con puntuación y clasificación de área de etapa I (4 guías), etapa II (5 guías) y etapa III (3 guías) (Elaboración Propia).

Cuanto más guías prospectivas favorables a muy favorables se superpongan en una misma área delimitada por polígonos, existen más probabilidades que contengan el depósito prospectado.

La integración y presencia favorable de estas guías prospectivas superpuestas permitió jerarquizar, sectorizar o "clusterizar" áreas con potencial minero geológico en cada etapa, construyendo así mapas de potencial o factibilidad.

A medida que se reducía la superficie seleccionada en cada etapa y al trabajar con escalas más detalladas, se definieron polígonos de menor tamaño, pero con mayores perspectivas de éxito en la detección de minerales de interés. En estas áreas, distintos métodos coinciden en señalar que poseen el mayor potencial para la detección de áreas con interés geológico-minero, target o metalotecto del depósito prospectado o asociación mineral.

Como resultado, se elaboraron mapas de favorabilidad o potencialidad minera ajustados a esa escala.

En la Fig. 4, se esquematizan las actividades llevadas a cabo en cada una de las etapas prospectivas.

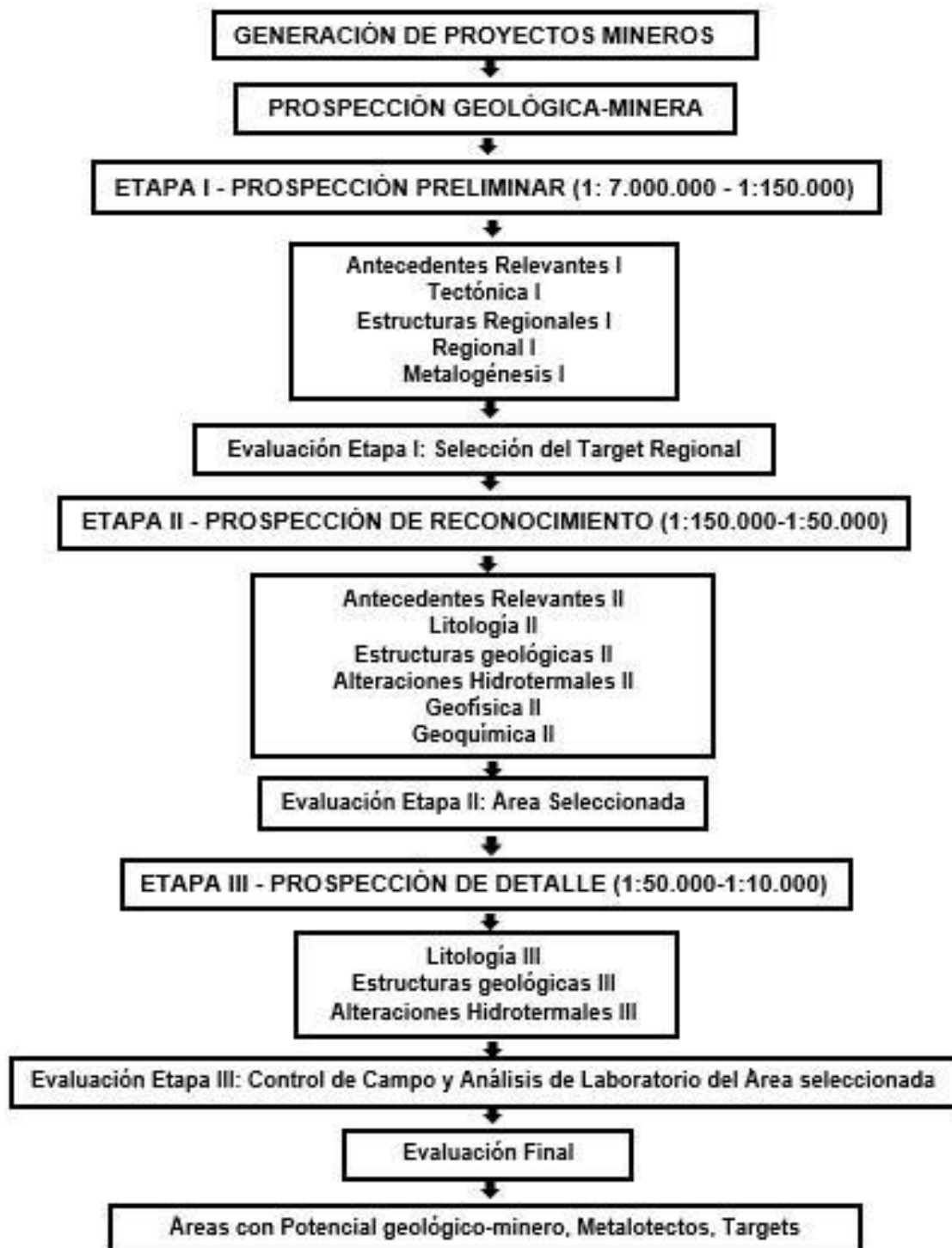


Fig. 4. Gráfico de Metodología Aplicada (Elaboración Propia).

En la Etapa I (1:7.000.000-1:150.000) se utilizaron como guías prospectivas a la tectónica, metalogénesis, estructuras y al ambiente geológico regional; al finalizar se realizó



la evaluación de las guías prospectivas del área seleccionada con potencial a escala 1:150.000.

En la Etapa II (1:150.000-1:50.000) se analizaron con mayor detalle las guías prospectivas litología, alteraciones hidrotermales, estructuras, geofísica y geoquímica, al finalizar esta etapa se hizo una evaluación de las guías prospectivas del área seleccionada a escala 1:50.000.

Durante las Etapas I y II se elaboró cartografía geológica preliminar de cada guía prospectiva analizada y clasificando su potencial.

Las evaluaciones fueron importantes y determinantes, para la toma de decisiones en la continuidad de los trabajos de campo y de laboratorio (los cuales requirieron inversión económica) disminuyendo el propio riesgo de la prospección minera.

Posteriormente en la Etapa III (1:50.000-1:10.000), se verificó la cartografía preliminar en el campo, se continuó con tareas de laboratorio y gabinete sobre el área seleccionado como target regional con potencial prospectivo favorable de las Etapas I y II. Se evaluó la favorabilidad de las guías prospectivas aplicadas en esta etapa: litología, alteraciones hidrotermales y estructuras, y finalmente se elaboró la cartografía definitiva de las áreas con potencial geológico-minero.

Al concluir las tres etapas, se realizó una evaluación final, donde se comprobó la favorabilidad geológica del modelo de depósito mineral prospectado en la zona seleccionada, y se elaboraron conclusiones del trabajo, enfatizando el nivel de conocimiento obtenido.

La metodología empleada incorporó el uso del programa ARCGIS 10.4, que constituye un Sistema de Información Geográfica (GIS), herramienta muy útil para la integración, visualización, análisis, organización y modelización de los datos espaciales, en un único sistema de referencia, permitiendo una mejor comprensión de los parámetros y guías de prospección del área de estudio, tanto en términos de tiempo como de espacio.

La información derivada de los análisis de asociación entre mapas potenciales que se obtuvieron en las diferentes etapas de cada guía prospectiva, permitió la toma de decisiones para la selección de áreas en la búsqueda de prospectos mineros.

La información utilizada, producida por organismos oficiales nacionales e internacionales es gratuita, confiable y de libre acceso.

Los datos provenientes de sensores remotos que se usaron en el trabajo fueron las imágenes satelitales LANDSAT 8, ASTER y el Modelo de Elevación Digital DEM ALOS PALSAR.

Las imágenes satelitales LANDSAT 8 se obtuvieron del navegador Libra (Development Seed & Astro Digital) por medio de la descarga libre del producto desde la página oficial <https://libra.developmentseed.org/>. Las imágenes satelitales ASTER se descargaron de la plataforma Earth Explorer USGS del Servicio Geológico de los Estados Unidos desde la página oficial <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

El modelo de elevación digital ALOS PALSAR se consiguió del navegador ASF-Alaska Satellite Facility (University of Alaska Fairbanks), desde la página oficial <https://search.asf.alaska.edu/>.

Las imágenes satelitales fueron sometidas a un preprocesamiento y procesamiento para su correcta utilización, mediante el software ENVI versión 5.3, aplicando módulos específicos, desarrollado por IDL (<https://www.qisandbeers.com/envi-procesado-imagenes-satelite/>).

El preprocesamiento digital consistió en la manipulación inicial de los datos crudos, con la finalidad de llevar a cabo las correcciones y tratamientos que se realiza previamente a la información espacial. Esto permitió preparar las imágenes y obtener un dominio óptico adecuado, acorde a los objetivos del procesamiento.

Las correcciones aplicadas fueron las de radiancia y atmosféricas. Las imágenes utilizadas se encuentran ortorrectificadas y georreferenciadas (https://lpdaac.usgs.gov/products/ast_l1tv003/).

Con los datos ya calibrados, se modificó el tamaño del pixel en las imágenes para mejor resolución y se ejecutó el procesamiento digital que consistió en la aplicación de métodos de análisis visual o digital de acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo y a las características de los datos que se han preparado en el pre-procesamiento, con el fin de mejorar la visualización aplicando técnicas de realces, tanto temporales como permanentes.

Posteriormente, los datos rasters y vectoriales fueron tratados y analizados adecuadamente para generar información cartográfica mediante el software ARCGIS versión 10.4.

Los datos geofísicos y geoquímicos, se descargaron de manera libre y gratuita desde el repositorio del Servicio Geológico Minero Argentino (<https://repositorio.segemar.gov.ar>).

La información geofísica corresponde al levantamiento aerogeofísico (magnetometría y espectrometría de rayos gamma) efectuado en el marco del proyecto Programa de Apoyo al Sector Minero Argentino (PASMA) del Bloque Salta – Catamarca, siguiendo las especificaciones técnicas fijadas por SEGEMAR.

La información geoquímica regional pertenece a la contribución técnica compilada con datos de Cu, Pb, Zn y de análisis multielemento (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, K, La, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb y Zn), de la fracción < malla 80 de sedimentos de corriente a escala 1:500.000.

Las muestras fueron recolectadas durante el año 2000 como parte del programa de la Carta Geoquímica de la República Argentina del SEGEMAR y de una selección de muestras de archivo, producidas por los levantamientos regionales desarrollados por el Plan NOA I de Prospección Geológico-Minero, área Tucumán - Catamarca - Santiago del Estero.

IV.1. Etapa I: Prospección preliminar (escala 1: 7.000.000 - 1:150.000)

La Etapa I, consistió en una prospección preliminar de gabinete a una escala de trabajo mayor a 1:150.000, entre 1: 7.000.000 - 1:150.000 con el objetivo de seleccionar áreas de interés o targets, y corroborar su potencial por medio de guías prospectivas.

Se analizaron en primer lugar, antecedentes relevantes, ambiente tectónico y metalogenético, continuando con el estudio de las estructuras geológicas regionales (para la localización de zonas favorables para la mineralización), la descripción litológica, la detección de anomalías espectrales y, por último, los datos geofísicos - geoquímicos disponibles.

Se realizó el análisis crítico de tesis de grado y postgrado, libros específicos, sitios de internet, publicaciones de revistas de congresos y del repositorio del SEGEMAR.

En esta etapa, se clasificaron y evaluaron como guías prospectivas, a la Tectónica (Véase Tabla 3), Metalogénesis (Véase Tabla 4), Estructuras (Véase Tabla 5) y Ambiente Geológico Regional (Véase Tabla 6) con la fotointerpretación digital y análisis geológico, con sus respectivas tablas.

Guía Prospectiva: Tectónica I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Zonas de bordes convergentes; Arcos magmáticos compresionales, Arcos o Trasarco con ángulos altos, Arcos magmáticos compresionales ortogonales con ángulos bajos; cambios de compresión ortogonal (compresión a extensión) a oblicua (transpresión y transtensión) (extensión oblicua)	10
		Favorable	Zonas de subducción continental como en arcos de islas intraoceánicas	7
		Poco Favorable	Rift trasarco, rift	3
		Muy Poco Favorable	Otras zonas, divergentes, extensión tras arco, cratón	1

Tabla 3. Clasificación de la guía prospectiva Tectónica de la etapa I de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

Guía Prospectiva: Metalogénesis I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Áreas sobre provincias o franjas metalogénicas, minas explotadas y agotadas, proyectos en producción, en exploración avanzados y/o en explotación actual; sub-franjas, trends de minas, clusters de minas o distritos mineros; prospectos o áreas anómalas.	10
		Favorable	Áreas sobre provincias o franjas metalogénicas, metalotectos con prospectos aún en exploración, sin yacimientos descubiertos.	7
		Poco Favorable	Áreas con proyectos de exploración, con prospectos o anómalas.	3
		Muy Poco Favorable	Áreas sin minas explotadas, agotadas, sin proyectos en producción, ni exploración	1

Tabla 4. Clasificación de la guía prospectiva Metalogénesis de la etapa I de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

Guía Prospectiva: Estructuras I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Fracturas - Lineamientos conjugadas; con antecedente importantes	10
		Favorable	Estructuras de arco paralelo o acreción , estructuras normales de arco	7
		Poco Favorable	Otras estructuras, diaclasas, pliegues	3
		Muy Poco Favorable	Sin estructuras, sin control estructural	1

Tabla 5. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la etapa I de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

Guía Prospectiva: Geología Regional I				
Etapa	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapa I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Historia, procesos y ambiente geológico factibles para la formación de depósitos prospectados con antecedentes.	10
		Favorable	Historia, procesos y ambiente geológico factibles para la formación de depósitos prospectados sin antecedentes.	7
		Poco Favorable	Historia, procesos, ambiente geológico no factibles para la formación de depósitos prospectados.	3
		Muy Poco Favorable	Sin condiciones geológicas para la formación de depósitos mineralizados, ni antecedentes	1

Tabla 6. Clasificación de la guía prospectiva Geología Regional de la etapa I de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

IV.2. Etapa II: Prospección de reconocimiento (escalas 1:150.000-1:50.000)

En esta etapa, la prospección se desarrolló con la evaluación y clasificación de las guías prospectivas litología, alteraciones hidrotermales, estructuras, geofísica y geoquímica, en el área de interés seleccionada de la etapa I, a escalas entre 1:150.000-1:50.000.

Se ejecutó un reconocimiento más profundo del área y se logró obtener mayor información, con el que se disminuyó el riesgo antes de ir al campo y se verificó el área con la información procesada previamente.

Se generó un segundo análisis de antecedentes relevantes a escala más detallada que el de la primera etapa, además incluyó el estudio y fotointerpretación digital de litologías y anomalías espectrales por medio del preprocesamiento y procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT 8 y ASTER, y de estructuras geológicas con el uso de DEM ALOS PALSAR.

Para la identificación de litologías favorables se utilizó la hoja geológica de Laguna Blanca (Turner J. C., 1962), además del procesamiento digital de imágenes satelitales LANDSAT 8 donde se aplicó la combinación de bandas RGB, tabla 7.

Por último, los datos geofísicos y geoquímicos se obtuvieron de la Hoja 2766-I de Santa María (Chernicoff & Vargas, 1999).

Guía Prospectiva: Litología II				
Etapa	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapa II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Rocas ígneas serie alcalina, calco-alcalina, intrusivas de texturas porfídicas; zonas de brechas con fragmentos angulares, diques de brechas, basamento metamórfico	10
		Favorable	Rocas graníticas de texturas porfídicas	7
		Poco Favorable	Rocas metamórficas	3
		Muy Poco Favorable	Rocas sedimentarias, carbonatadas, orgánicas	1

Tabla 7. Clasificación de la guía prospectiva Litología de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

La detección de alteraciones hidrotermales se realizó sobre la base del análisis de imágenes satelitales LANDSAT 8 y ASTER L1, identificándose anomalías espectrales de alteraciones hidrotermales de arcillas y óxidos, por medio del procesamiento digital tales como la combinación de bandas RGB, índices espectrales y cociente de bandas, cociente RGB o Ratio de Bandas (Véase Tabla 8).

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Zonas con la presencia de la mayoría de alteraciones típicas sea potásica, sericitica, argílica, propilítica, calco-sódica	10
		Favorable	Zonas con algunas alteraciones del modelo como indicador	7
		Poco Favorable	Zonas con otras alteraciones, greisenización, albitización considerando el modelo como indicador	3
		Muy Poco Favorable	Zonas sin alteraciones	1

Tabla 8. Clasificación de la guía prospectiva Alteración Hidrotermal de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

El análisis de estructuras geológicas continuo con el procesamiento del DEM en el cual se aplicaron filtros digitales de paso bajo y alto, para la identificación de estructuras y lineamientos, los cuales permitieron aislar componentes de interés, identificando líneas que resaltan los cambios geométricos en una dirección determinada y bordes que muestren cambios fuertes en los valores de píxeles, definiéndolos y enfatizándolos (Véase Tabla 9).

Guía Prospectiva: Estructuras II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Estructuras expansiva dilatantes; diseños de pared colgante, fallas lítricas; fallas y diques syn-genéticos; stockwork, cruce de estructuras; fallas normales, suturas, cizallas; cambios cinemáticos	10
		Favorable	Fallas; cruce de fallas.	7
		Poco Favorable	Otras estructuras, fallas de empuje diaclasas, pliegues.	3
		Muy Poco Favorable	Sin estructuras, sin control estructural.	1

Tabla 9. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

El análisis geofísico de cartas geofísicas aeromagnéticas y de los perfiles geofísicos; posibilitó la identificación en superficie de anomalías y lineamientos magnéticos con la posible existencia de un cuerpo mineralizado para la selección y detección del área (Véase Tabla 10).

Guía Prospectiva: Geofísica II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Anomalías magnéticas con altos valores 100 nT con lineamientos magnéticos	10
		Favorable	Anomalías magnéticas con valores superiores a 60 nT con lineamientos magnéticos	7
		Poco Favorable	Valores normales igual o menores a 60 nT, sin anomalías magnéticas	3
		Muy Poco Favorable	Sin anomalías magnéticas, sin lineamientos magnéticos	1

Tabla 10. Clasificación de la guía prospectiva Geofísica de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

En las cartas geoquímicas se observó y detectó la presencia de los elementos principales (Cu, Au, Mo) como indicadores directos (no se consideraron otros elementos indicadores) y se interpretaron cualitativamente los valores de percentiles de cada elemento, con el propósito de seleccionar ventanas o zonas anómalas con posibilidades de contener procesos mineralizantes (Véase Tabla 11).

Guía Prospectiva: Geoquímica II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Presencia de elementos principales (Cu, Au, Mo) con valores altos agrupados en percentiles.	10
		Favorable	Presencia de elementos principales (Cu, Au, Mo) con valores intermedios agrupados en percentiles	7
		Poco Favorable	Presencia de elementos principales (Cu, Au, Mo) o de algunos elementos con valores bajos agrupados en percentiles	3
		Muy Poco Favorable	Sin presencia de elementos principales	1

Tabla 11. Clasificación de la guía prospectiva Geoquímica de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

IV.3. Etapa III: Prospección de detalle (escala 1:30.000-1:10.000)

En esta etapa, se trabajó a una escala menor a 1:50.000, entre 1:30.000-1:10.000 para la verificación del potencial establecido del área específica que se seleccionó en la etapa II. Se ejecutaron trabajos de campo y de laboratorio.

Se evaluó la favorabilidad de litología, alteraciones hidrotermales y estructuras como guías prospectivas y se concluyó con la última etapa de gabinete.

El control de campo de la cartografía obtenida en la etapa II, se efectuó de acuerdo a la accesibilidad del área y los recursos económicos disponibles, de manera estratégica, verificándose estructuras geológicas, litologías, mineralizaciones y alteraciones, mediante la observación de las características macroscópicas y morfológicas de los afloramientos y el muestreo de esquirlas, para su posterior análisis de laboratorio (Fig. 5a).

El acceso al área se realizó de N a S por una huella poco marcada, delimitada con ayuda del GPS. El levantamiento de datos se llevó a cabo de manera estratégica, avanzando desde sur a norte, ingresando por las quebradas.

Se aplicó la técnica de mapeo ANACONDA, (Einaudi, 1997), que consiste en la medición directa de las características geológicas (estructuras, litologías, contactos, alteraciones, mineralizaciones) en el campo y se recolectaron 20 muestras en total con un peso aproximado de 2,5 kilos cada una.

El muestreo superficial mediante canaletas se realizó perpendicular a las estructuras mineralizadas y en puntos sobre afloramientos, de manera estratégica y selectiva en zonas de interés preestablecidas, como blancos de acuerdo a las anomalías espectrales que se identificaron (Fig. 5b).

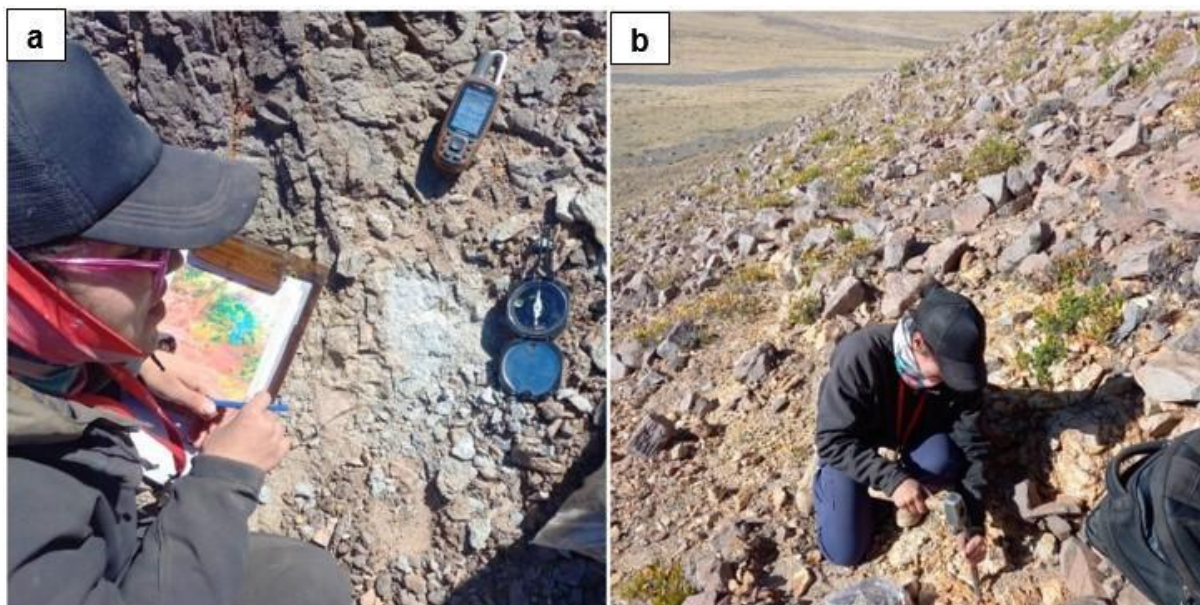


Fig. 5. a) Levantamiento de datos en campo. b) Extracción de muestras.

El análisis estructural consistió en verificar la presencia in situ de estructuras, el tipo, estilo e influencia en el área (Véase Tabla 12).

Guía Prospectiva: Estructuras III				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000 - 1:10.000	Muy Favorable	Estructuras tectónicas expansivas; fallas y diques singenéticos; stockwork, cruceros de estructuras; venilleo mineralizados	10
		Favorable	Stockwork y diques mineralizados, cruce de estructuras	7
		Poco Favorable	Diques	3
		Muy Poco Favorable	Diaclasas, pliegues, sin control estructural	1

Tabla 12. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

Para el análisis y estudio petrográfico, calcográfico y reconocimiento de alteraciones hidrotermales, se llevaron a cabo, trabajos de laboratorio que incluyeron análisis macroscópico y microscópico de las 19 muestras recolectadas.

En el Laboratorio de Mineralogía y Petrología de la carrera Lic. en Geología (Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCA), se realizó la observación y descripción de las muestras macroscópicas teniendo en cuenta tipo de roca, color, textura, estructura, composición mineralógica, susceptibilidad magnética, tipo de alteración hidrotermal o meteórica.

Se ejecutaron 19 cortes delgados doble pulido espejo para el análisis petrográfico y calcográfico, realizados en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), dependiente, Unidad Ejecutora (UE) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) (Fig. 6a).

Los cortes obtenidos fueron analizados, en el Laboratorio de Geología y Petrología de la carrera Lic. en Geología (Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCA), mediante el uso del microscopio de luz ortoscópica para las descripciones mineralógicas - petrográficas y toma de fotos.

Durante el análisis, se consideraron los siguientes aspectos: textura general de la muestra, minerales esenciales, accesorios y secundarios, tipo de alteración que afecta a las muestras analizadas. Se describió cada mineral observado, el hábito, en que se manifiesta, sus asociaciones y todas las características ópticas-mineralógicas para su posterior clasificación (Véase Tabla 13).

Para definir la composición de cada litología, se determinó el porcentaje de los minerales esenciales de una roca, correspondientes a Q: Cuarzo, A: Feldespato potásico, P: Plagioclasas, las cuales se representaron en el diagrama triangular de Streckeisen.

Con los mismos cortes doble pulido espejo, se realizó el estudio calcográfico como pasantía de investigación en el Dpto. de Geología de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales (FCFMyN) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), el cual consistió en la identificación, caracterización y estudio de las diversas especies minerales metalíferas. Se utilizaron dos microscopios hexaocular de marca Leica DMRXP y Zeiss, y una lupa binocular Leica (Fig. 6b).

Se analizaron y distinguieron minerales metalogénicos mediante luz reflejada en los cortes procedentes de zonas de alteraciones hidrotermal, de estructuras, de venilleo y se empleó microscopía óptica de reflexión, lo que facilitó la obtención de datos semi-cuantitativos de especies de interés económico. También se determinaron las relaciones texturales entre las diversas especies minerales, permitiendo establecer su secuencia temporal de depositación.

El estudio se ejecutó mediante comparación con hojas patrones de reconocimiento de minerales opacos de la Cátedra de Geología de Yacimientos Minerales de la UNSL, teniendo en cuenta sus propiedades ópticas diagnósticas, tales como: color, pleocroísmo, anisotropía, reflejos internos y asociación paragenética.

La descripción de cada muestra y de las especies minerales identificadas se desarrolló de forma sistémica: Primero, la observación fue a nicols paralelos para reconocer su hábito, color, pleocroísmo, reflectividad y relación textural. Luego, a nicols cruzados, se observaron reflejos internos y anisotropía.

Se efectuó la toma de microfotografías de todas las muestras, registrando su textura representativa y minerales diferenciados, la escala gradada, el objetivo utilizado y el número de fotografía.

Se revisó el análisis petrográfico de muestras macroscópicas y microscópicas para reconocer especies minerales, sus relaciones texturales y descartar posibles errores de identificación.



Figura 6.a) Selección de caras en muestras para la elaboración de cortes delgados en el Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA) de la provincia de Córdoba. **b)** Observación de muestras macroscópicas con lupa binocular Leica en el Laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales (FCFMyN) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL).

Guía Prospectiva: Litología III				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000 - 1:10.000	Muy Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina - calcoalcalina - shoshonítica, textura porfídica; brechas; roca de caja basamento metamórfico o rígido	10
		Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina - calcoalcalina - shoshonítica, textura porfídica	7
		Poco Favorable	Roca ígnea de serie toleítica-transicional portadora de mineralización	3
		Muy Poco Favorable	Rocas sedimentarias o metamórfica portadora de mineralización	1

Tabla 13. Clasificación de la guía prospectiva Litología de la etapa III de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

Se compararon las descripciones petrográficas verificando la información previa e integrando los datos petrográficos y calcográficos recopilados para el reconocimiento y descripción de alteraciones hidrotermales, detallando composición y tipo de venas (Véase Tabla 14).

Además, se utilizó una lupa binocular Leica para lograr una mejor observación textural de algunos cortes delgados, especialmente de brechas y muestras macros con minerales metalogénicos a efectos de su clasificación.

Se generaron fichas descriptivas para las muestras macroscópicas y los cortes delgados con nicoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NC). Estas fichas fueron utilizadas como soporte al momento de realizar los análisis petrográficos y calcográficos (Véase ANEXO).

Por último, se realizó la evaluación final de las tres etapas, para obtener como resultado la clasificación y favorabilidad final del área seleccionada.

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales III				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000 - 1:10.000	Muy Favorable	Todas las alteraciones presentes potásica, calco-sódica, fílica, argílica, propilítica y silicificación con mineralización económica de elementos principales (Cu, Au, Mo) en diseminados y en venillas	10
		Favorable	Algunas alteraciones presentes como indicador de mineralización.	7
		Poco Favorable	Alteraciones sin mineralización	3
		Muy Poco Favorable	Sin alteraciones, sin mineralización	1

Tabla 14. Clasificación de la guía prospectiva Alteraciones Hidrotermales de la etapa III de acuerdo a su favorabilidad (Elaboración Propia).

CAPÍTULO V: RESULTADOS ALCANZADOS

Los resultados obtenidos en el presente Trabajo Final se organizan en tres secciones de acuerdo a las etapas descriptas en la metodología, en las cuales se muestran mapas, el análisis prospectivo geológico minero y la selección de áreas con potencial en cada una de ellas.

V.1. Análisis Tectónico - Estructural - Geológico Regional - Metalogénico (Etapas I)

A partir de la presentación y análisis de las imágenes procesadas a escala regional, se seleccionó el Complejo Volcánico Vicuña Pampa como área de interés con gran favorabilidad predictiva. En la Fig. 7 y Fig. 8 se muestra el análisis realizado.

V.1.a. Tectónica

El área de interés se ubica en el encuadre tectónico de subducción de placas favorables para la formación de depósitos hidrotermales, entre ellos los pórfidos cupríferos. En esta zona se produce la subducción de la placa de Nazca, aproximadamente entre 27° a 32° latitud S, influenciada por dos crestas subducidas en sus bordes (la cresta asísmica de Copiapó al N y la cresta de Juan Fernández al S) las cuales actuaron conjuntamente en un bajo ángulo (Véase Tabla 15).

Esta configuración tectónica produjo una de las regiones mineralizadas más grandes de América del Sur con una intensa actividad metalogénica desde el Mioceno medio hasta la actualidad y consideradas favorables para la aparición de depósitos minerales en el retroarco de toda la región andina.

La dorsal asísmica de Juan Fernández, colisionó con el margen continental chileno por primera vez a las latitudes de 18°-19° S, según el modelo de Yáñez et al., (2001) en el Mioceno temprano, hace alrededor de 22 Ma. Desde entonces se ha movido progresivamente hacia el S, hasta el punto de colisión actual donde subducta bajo el margen a las latitudes de 32°-33°S, (Araya Jaraquemada, 2015) y hacia el E, abarcando el NO de Argentina hasta su posición actual, donde coincide con la distribución espacial del vulcanismo de arco y con las altas tasas de erosión tectónica de la placa superior (Alvarez et al., 2014).

Por otro lado, la dorsal de Copiapó colisionó con la placa sudamericana entre las latitudes de 27°-28° S, durante el Mioceno medio (Alvarez et al., 2014) presentando un azimut de 78,1°, prácticamente igual al vector de convergencia de la placa de Nazca con respecto a la Sudamericana, con una tendencia ENE coincidente con la localización de las cadenas volcánicas Ojos del Salado y San Buenaventura (Zentilli, 1974). Esto implica que el punto de inserción de la dorsal colisionando contra el margen no se ha desplazado hacia el S (Japas & Ré, 2005) mientras que la dorsal asísmica de Juan Fernández se ha movido en esa dirección (Yáñez et al. 2001).

Esta “abundancia” de depósitos minerales podría explicarse a consecuencia de los fluidos liberados a través de la deshidratación de la corteza oceánica subductora en un entorno poco profundo, sumado a un mayor grado de fusión del manto generado por una corteza oceánica más gruesa resultante de la compensación de los montes submarinos (Gimenez et al., 2019).

El ciclo tectónico Andino que dio origen a los Andes comenzó en el Jurásico inferior con la reactivación de la subducción en el margen. En este momento y hasta el Cretácico inferior, la subducción afectaba a un continente fijo dominado por un régimen extensivo.

Luego, a finales del Mesozoico, alrededor de los 80 Ma, se generó un salto muy fuerte que cambió la dinámica del margen andino, producto de la aceleración de Sudamérica hacia el O como resultado de la separación de África cambiando el ángulo de subducción de tipo Mariana a Chilena (Camus Infanta, 2003; Uyeda & Kanomari, 1979) imponiendo así una fuerte compresión en el margen andino.

Estas etapas describen una historia de subducción, la primera caracterizada por fuerzas extensivas y la segunda, por pulsos compresivos distintos con cambios transitorios en la naturaleza de la convergencia, de oblicua a ortogonal que permitieron crear los Andes.

En el Mioceno temprano a medio, la deformación se extendió hacia el este con el desarrollo de fajas corridas y plegadas y cuencas de antepaís de retroarco presentes principalmente en Argentina y en el N de Chile en lo que es hoy la Depresión Intermedia y Precordillera.

Durante Mioceno tardío y el Plioceno temprano, se produjo una perturbación en la evolución tectónica que coincide con la generación de mineralización porfídica de Cu-Mo en sectores donde anteriormente se había encontrado el arco magmático.

Esta mineralización se originó en etapas tardías de los arcos magmáticos, a continuación de episodios de engrosamiento cortical y la ubicación de estos centros estuvo controlada por la existencia de fallas mayores (Charrier et al., 2009). La compresión continuó a lo largo del margen, favoreciendo un mayor alzamiento y la rápida exhumación que caracteriza la Cordillera de los Andes en el presente.

La Guía Prospectiva Tectónica se resume en la Tabla 15.

Guía Prospectiva: Tectónica I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Zonas con bordes convergentes; Arcos magmáticos compresionales, Arcos o Trasarco con ángulos altos, Arcos magmáticos compresionales ortogonales con ángulos bajos; cambios de compresión ortogonal (compresión a extensión) a oblicua (transpresión y transtensión) (extensión oblicua)	10

Tabla 15. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Tectónica de acuerdo a su favorabilidad.

V.1.b. Estructuras

Los sistemas minerales de pórfidos de Cu-Au y de Au-Ag epitermal se ubican sobre un estilo favorable de estructuras principales en entornos de arco posterior relacionados con la subducción (Corbett, 1994, 2012, 2018, 2019; Corbett y Leach, 1998), tales como las fracturas conjugadas con ángulos del arco mucho más bajos que las estructuras normales de arco las que se desarrollan mejor dentro de los arcos magmáticos compresionales ortogonales (Véase Tabla 17).

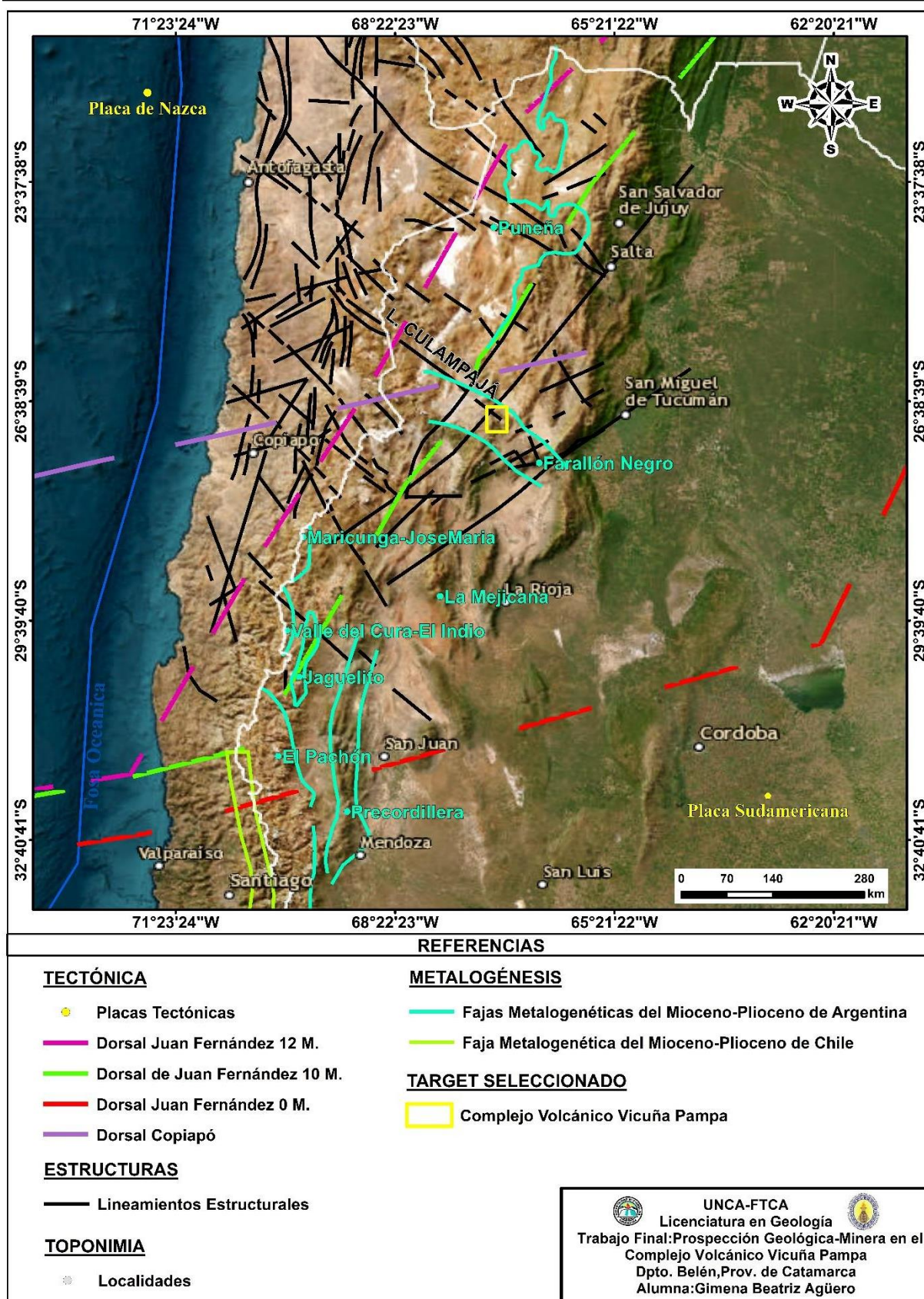


Fig. 7. Encuadre tectónico, metalogénico y estructural (escala 1:7.000.000).

Aunque se interpreta que las fracturas conjugadas se formaron durante la compresión ortogonal y muestran sentidos de movimiento asociados al deslizamiento, la cinemática de las vetas posiblemente mineralizadas, sugiere que muchas se han reactivado durante la extensión asociada con la relajación transitoria de la compresión.

La región que constituye uno de los cinturones orogénicos más ricos del mundo por su contenido en metales, forma parte de los Andes Centrales. Se destacan fallas regionales que se disponen con trayectorias principales N-S del rango volcánico principal, NO-SE Lineamiento Culampajá y NE-SO Lineamiento Salta, al N y al S limitado con el Lineamiento Hualfín incluido dentro del lineamiento megaestructural Tucuman (Mon, 1979; Allmendinger et al. 1982; Salfity, 1985; Riller & Oncken 2003).

La distribución del volcanismo alineados en direcciones N-S, NO-SE, de desplazamiento horizontal dextral y NE-SO con desplazamiento horizontal sinistral, ha sido interpretada por diversos autores en relación a estas fallas regionales (Riller et al. 2001) en un ambiente tectónico de torsión transpresivo en el Terciario superior, que favoreció el emplazamiento de depósitos minerales por la formación de un incipiente “rift” de retroarco en un periodo de relajación durante la compresión. representando quizás una estructura Precámbrica rejuvenecida con antecedentes en el basamento del Paleozoico (Zappettini, 2017).

Estos lineamientos conjugados se consideran como una zona de debilidad de la corteza continental, que parece haber controlado el emplazamiento de los pórfidos cupríferos. Sin embargo, el control fundamental en la región y en otras partes proviene de la presencia de una zona infrayacente activa de subducción, en la cual se generan magmas calcoalcalinos con altos contenidos metálicos. Estos magmas están emplazados donde la geometría de la Placa de Nazca, junto con la Dorsal de Juan Fernández y la Dorsal de Copiapó, generaron fuerzas paralelas (Sillitoe 1972, 1973, 2000, 2010).

La Tabla 16 muestra la clasificación y puntuación de la Guía Prospectiva: Estructuras I.

Guía Prospectiva: Estructuras I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Fracturas - Lineamientos conjugadas; con antecedente importantes	10

Tabla 16. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Estructuras de etapa I de acuerdo a su favorabilidad.

V.1.c. Geología Regional

El Complejo Volcánico Vicuña Pampa pertenece a la provincia geológica de la Puna (Ramos, 2017) y su emplazamiento ocurrió durante el Cenozoico superior, en una localidad clásica que presenta variaciones del volcanismo ante los procesos tectónicos y la delaminación cortical con remoción del manto litosférico y su relación con la metalogénesis.

La estratigrafía de la comarca está representada por depósitos marinos con bajo grado de metamorfismo, de edad Precámbrico - Ordovícico y rocas eruptivas ácidas, de edad Ordovícica - Carbónica. Sobreyace, en la porción noroccidental del área de estudio el Complejo Volcánico Vicuña Pampa, de edad Mioceno – Plioceno, extensas acumulaciones sedimentarias inconsolidadas y depósitos evaporíticos, de edad Cuaternaria,

El análisis de la sedimentación, magmatismo y metamorfismo de la provincia geológica de la Puna, permite diferenciarla en dos subprovincias: Puna Austral y Puna Septentrional.

El Complejo Volcánico Vicuña Pampa conforma parte de la Puna Austral y se localiza en la Faja Eruptiva Oriental, continuidad del arco Famatiniano de la provincia geológica de Sierras Pampeanas Occidentales (Ramos & Coira, 2008) con historia geológica y metalogenia propia.

En el ambiente de la Puna Austral ocurren dos importantes cadenas volcánicas transversales, una de ellas es la de Carachipampa que contiene el distrito cuprífero de La Hoyada y fuera del área puneña, el complejo volcánico Farallón Negro, con importantes concentraciones de oro, cobre y manganeso, denominada faja de Cu Farallón Negro.

El potencial de mineralización de la Puna Argentina debería ser similar a los distritos vecinos en el N de Chile, pero el extenso recubrimiento de la región por rocas volcánicas y sedimentarias jóvenes es un distintivo que dificulta la exploración.

El basamento paleozoico de la Puna alberga varios tipos de depósitos minerales diferentes. La mayor diversidad metalogénica ocurrió en el Cenozoico, comenzando con la mineralización de pórfido de Cu del Paleógeno en Taca Taca (Rojas et al., 1999; Rubinstein et al., 1999), depósitos de pórfidos de Cu – Au Inca Viejo (Chabert, 1999) y pórfidos de Au Cerro Redondo (Caffe & Coira, 1999), seguido por los depósitos de Au epitermales del Mioceno tales como Pairique (Coira, 1999) asociado con el vulcanismo félsico, mineralización de estaño tipo boliviano de Pirquitas (Chayle, 1999); y mineralización polimetálica Pb-Ag-Zn del Pan de Azúcar, Concordia, Antofalla y El Queva (Caffe & Coira, 1999).

Los depósitos de azufre nativo históricamente importantes también se encuentran en las zonas con presencia de fumarolas dentro de los picos de los estratovolcanes del Mioceno-Cuaternario (por ejemplo, Llullaillaco, Mina Julia) (Chernicoff et al., 2002).

Cerca del margen S de la Puna, en la zona de transición a la región de subducción de losa plana (26 - 30° latitud S), el magmatismo potásico generó el gran depósito de pórfido Cu-Au de Bajo de la Alumbrera y localizó depósitos polimetálicos más pequeños, tales como La Hoyada, Capillitas, Farallón Negro (Guilbert, 1985; Müller & Forrester, 1998; Sasso & Clark, 1998) similares a los encontrados en el N (Chernicoff et al., 2002).

En la Tabla 17, se muestra el resumen y puntuación de esta Guía Prospectiva.

Guía Prospectiva: Geología Regional I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Historia, procesos y ambiente geológico factibles para la formación de depósito prospectado con antecedentes.	10

Tabla 17. Clasificación de la guía prospectiva Geología Regional de etapas I de acuerdo a su favorabilidad.

V.1.d. Metalogénesis

El área del complejo Volcánico Vicuña Pampa fue seleccionada estratégicamente con favorabilidad predictiva, por su localización sobre la faja metalogenética Farallón Negro (Fig. 7) con potencial en depósitos tipo pórfido cupríferos y epitermales polimetálicos durante épocas metalogénicas bien definidas de edad Mioceno-Plioceno (Cardo et al. 2015).

Actualmente, en esta zona se desarrollan proyectos mineros en exploración, como Agua Rica, Cerro Atajo, Los Viscos, Proyecto Vernacua (La Borita (Cu y Ag); Co. Toronado

(Au, Cu y Mo); La Hoyada (Au y Ag); Los Sandones (Cu, Au y Ag); Las Papas (Au y Ag) y en explotación, el yacimiento Farallón Negro (Au y Ag). Las minas de cobre, oro y molibdeno, Bajo de la Alumbraera y Bajo El Durazno, actualmente en etapa de cierre de sus etapas productivas, constituyen un antecedente importante y destacado en la región (Ministerio de Minería Gobierno de Catamarca, 2021).

En el Mioceno superior la actividad magmática en la zona desaparece, debido probablemente a un aumento gradual, en ese segmento, del ángulo de inclinación de la placa subductada (Coira et al., 1982; Mahlburg Kay & Mpodozis, 2001) en tanto el magmatismo se expande hacia el E en el segmento 26°- 28° S después de los 10 Ma, controlado por corredores de orientación NO-SE (Chernicoff et al.2002).

Esta actividad magmática da lugar a una serie de importantes mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-Au-Mo (Bajo de la Alumbraera, Bajo El Durazno, Agua Rica, Filo Colorado) y epitermales polimetálicos auríferos (Alto de la Blenda, Capillitas, Cerro Atajo), constituyendo un “cluster” en parte vinculado al Complejo volcánico Farallón Negro (Fig. 8).

El yacimiento Bajo de la Alumbraera (752 Mt, Cu: 0,51% Au: 0,65 g/t Mo: 0,007%) fue uno de los veinte pórfidos de Cu-Au más grandes del mundo, considerando el oro contenido (Cooke, Hollings, & Walshe, 2005). Ha sido uno de los 10 mayores productores de Cu del mundo y fue el 14° más grande productor de Au (Ulrich & Heirinch, 2002).

Localmente el Complejo Volcánico Vicuña Pampa se encuentra próximo a importantes manifestaciones, hacia el S del área se ubica el Distrito Aurífero Culampajá, conocido hace tiempos remotos desde el siglo XVII por su potencial con manifestaciones auríferas y explotación rudimentaria durante la década del 1940 y 1950 (Ávila et al., 1999).

En el distrito de Culampajá se han reconocido más de 15 afloramientos de filones auríferos en un área de aproximadamente 70 km². De N a S se mencionan los siguientes: La Chiruzza, La Rosario, grupo Moradito (Gutiérrez, Tajo Largo, Moradito, el Ingenio), La Anciana, grupo La Sarna (Sarna I, Sarna II, Sarna III), Paredes, Viento Blanco y grupo La Alumbraera (Cabra Caja, Cástulo, Fabio, Alumbraera). La mayoría de ellos han sido explotados discontinuamente de manera subterránea y a cielo abierto, durante el último siglo. Sus leyes de oro varían de 1 a 34 g/t. En el nivel actual de conocimiento, las vetas del grupo Moradito son las más importantes (Avila & Lazarte, 2012; Ávila et al.,1999; Fernández Lima et al., 1955).

Hacia el E, se localiza el área de Vaca Vizcana, depósito tipo pórfido de Cu-Au, definido como Áreas de Reserva del Plan NOA I de la provincia que en ese entonces tuvo como objetivo la investigación y evaluación de recursos minerales metalíferos y no metalíferos de la región (Ruggiero, 1973; SEGEMAR, 1926).

La Guía Prospectiva correspondiente a Metalogénesis se presenta en la Tabla 18.

Guía Prospectiva: Metalogénesis I				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas I	7.000.000 - 1:150.000	Muy Favorable	Áreas sobre provincias metalogénicas, o franjas metalogenéticas, minas explotadas y agotadas, proyectos en producción, en exploración avanzados y/o en explotación actual; con sub-franjas, trends de minas, clusters de minas o distritos mineros; prospectos o áreas anómalas.	10

Tabla 18. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Metalogénesis de etapas I de acuerdo a su favorabilidad.

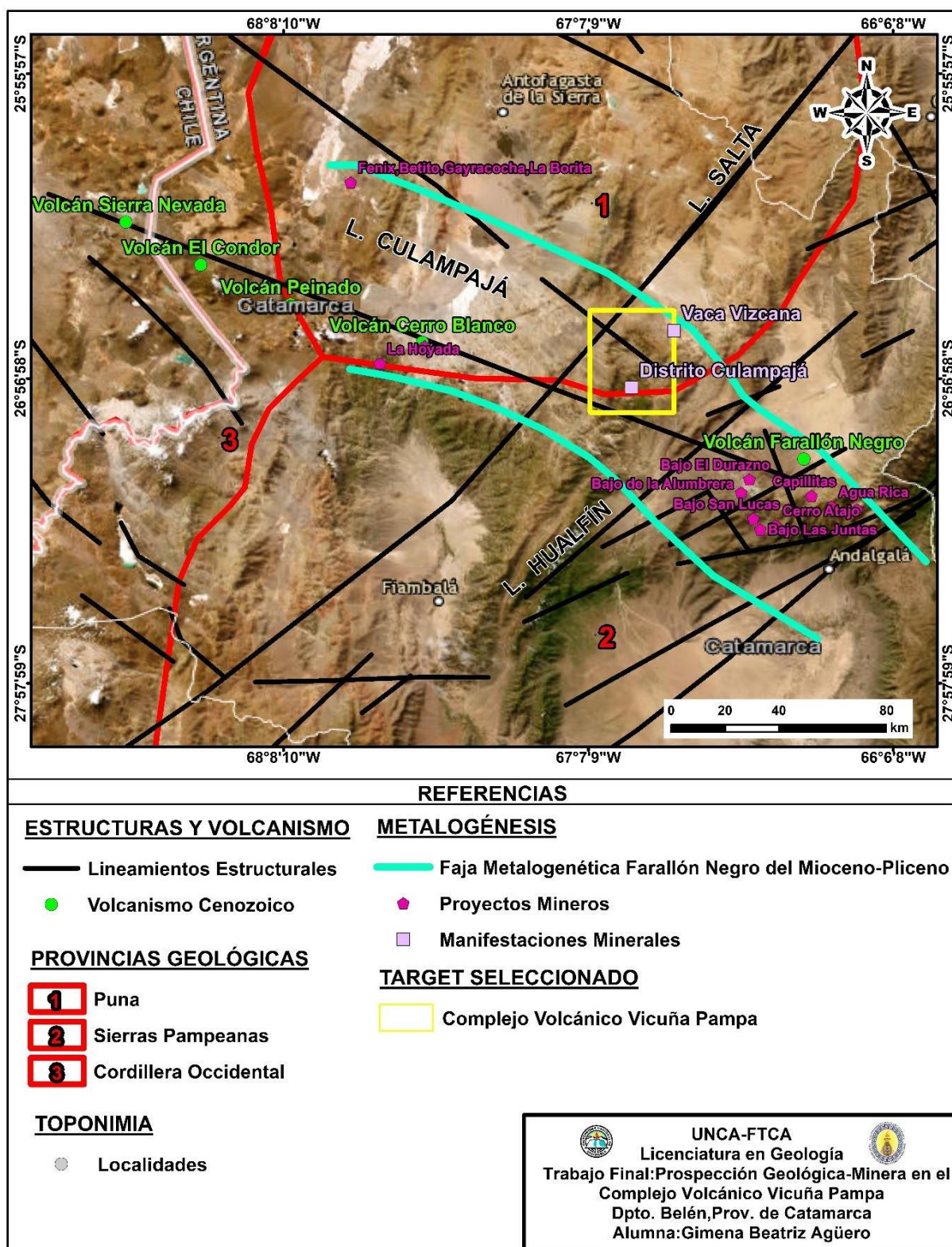


Fig. 8. Encuadre metalogénico, estructural y geológico (escala 1:2.000.000).

V.1.e Evaluación Etapa I

La revisión de las guías prospectivas y sus respectivos resultados de puntuación clasifican al área de una manera muy favorable con alto potencial, según se detalla en la Tabla 19.

Etapas	Escala	Área Seleccionada	Guías Prospectivas	Clasificación	Puntuación
Etapa I	Mayor a 1:150.000	Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Tectónica	Muy Favorable	10
			Estructura	Muy Favorable	10
			Metalogénesis	Muy Favorable	10
			Regional	Muy Favorable	10
Resultado de Clasificación y Puntuación de Guías				Muy Favorable	40
Resultado en Porcentaje de Favorabilidad del Área				100%	
Resultado de Clasificación del Área				Alto Potencial	

Tabla 19. Resultado final de clasificación y puntuación de las guías prospectivas en etapa I.

V.2. Análisis Litológico - Alteraciones - Estructuras - Geofísica - Geoquímica (Etapa II)

A partir del análisis realizado en la Etapa I, se seleccionó el Complejo Volcánico Vicuña Pampa como área de interés o target, debido a su alta favorabilidad predictiva para potencial prospectivo.

V.2.a. Litología

En el área del Complejo Volcánico Vicuña Pampa se han diferenciado seis unidades estratigráficas (Fig. 9).

- **Metamorfitas y Granitos (Precámbrico – Cretácico)**

Estas rocas componen el basamento de edad Precámbrico – Cretácico y se localizan en la porción sudoriental de la comarca. Presentan sobre la imagen satelital procesada una textura bandeada de color marrón con tonalidad verdosa.

Se divide a su vez en otros dos grandes grupos diferenciados por sus características petrológicas y temporales: el más antiguo es la Formación Loma Corral (Turner, 1962) de edad Precámbrico - Carbonífero, constituido por metasedimentitas (cuarcitas, esquistos y filitas, afectadas por metamorfismo regional de bajo grado), con esquistosidad marcada, entre las que se intercalan los mármoles Totorillas integrados por calizas, metasedimentitas carbonáticas y metabasitas como los del cuerpo La Cuesta (García et al., 1981; Lazarte, 1991). Se encuentran intruidos por un plutón granítico biotítico que dio origen a un ortogneis biotítico, ambos con evidencias de cataclasis, durante los eventos deformacionales del ciclo Famatiniano (Lazarte 1992) y constituyen la Formación Chango Real (Turner 1962).

Otro intrusivo relativamente más joven del Cretácico es el Granito Papachacra (García et al., 1981; Lazarte, 1991) integrado por los cuerpos de Altohuasi, El Portezuelo y otros menores, que intruyen al ortogneis de la Formación Chango Real. Además, se puede mencionar un stock granítico netamente epizonal sin cataclasis y un conjunto de rocas identificadas como cataclásticas de composición fundamentalmente granítica (Avila & Lazarte, 2010; Rosello, 1983; Turner, 1973).

- **Andesita Basáltica a Andesita (Mioceno-Plioceno)**

Sobre el NE, se observan los flujos de lava inferior (Guzman et al., 2017a) de composición andesita basáltica a andesita; en la imagen procesada se aprecian con color marrón-rojizo, tonalidad azulada – violácea y textura arrugada.

- **Andesita Basáltica a Traquidacita (Mioceno-Plioceno)**

El edificio volcánico principal está integrado por flujos de lava superior (Guzman, y otros, 2017a) en dos pilas de andesita basáltica a traquidacita que descienden alrededor del edificio volcánico en cientos de metros de espesor desde los Cerros La Cumbre, Chiquerito, Azul, Rosillo y Ampato.

En la imagen procesada los flujos de lava son de color marrón-rojizo tonalidad azulada –violácea, textura arrugada y estructuras de flujo de lava con descenso convexo.

Dentro de la depresión central, se distinguen a las raíces del volcán superior (Guzman et al., 2017a), compuestas por un conjunto de cuellos, tapones y otros restos de conductos volcánicos de igual composición andesita basáltica a traquidacita, que se encuentran en la parte centro-occidental de la depresión sobre Cerro La Lunareja, Cerro Los Bayitos, Lomas del Medio y Cerro Bayo Brecha, invadiendo el basamento regional del prevolcán.

Las rocas muestran una morfología lobulada, textura arrugada; con drenaje poco definido y una reflexión baja debido a la presencia de magnetitas.

La andesita es el equivalente volcánico de la diorita, contiene plagioclasa, feldespato y fenocristales de biotita dentro de una matriz afanítica. En el espectro visible, la magnetita se ve reflejada en bandas de 1.4, 1.9 y 2.5 μm , la capa de óxido férrico causa la caída pronunciada del azul, la sílice presenta reflectancia en los rangos de 1.0 y 1.5 μm .

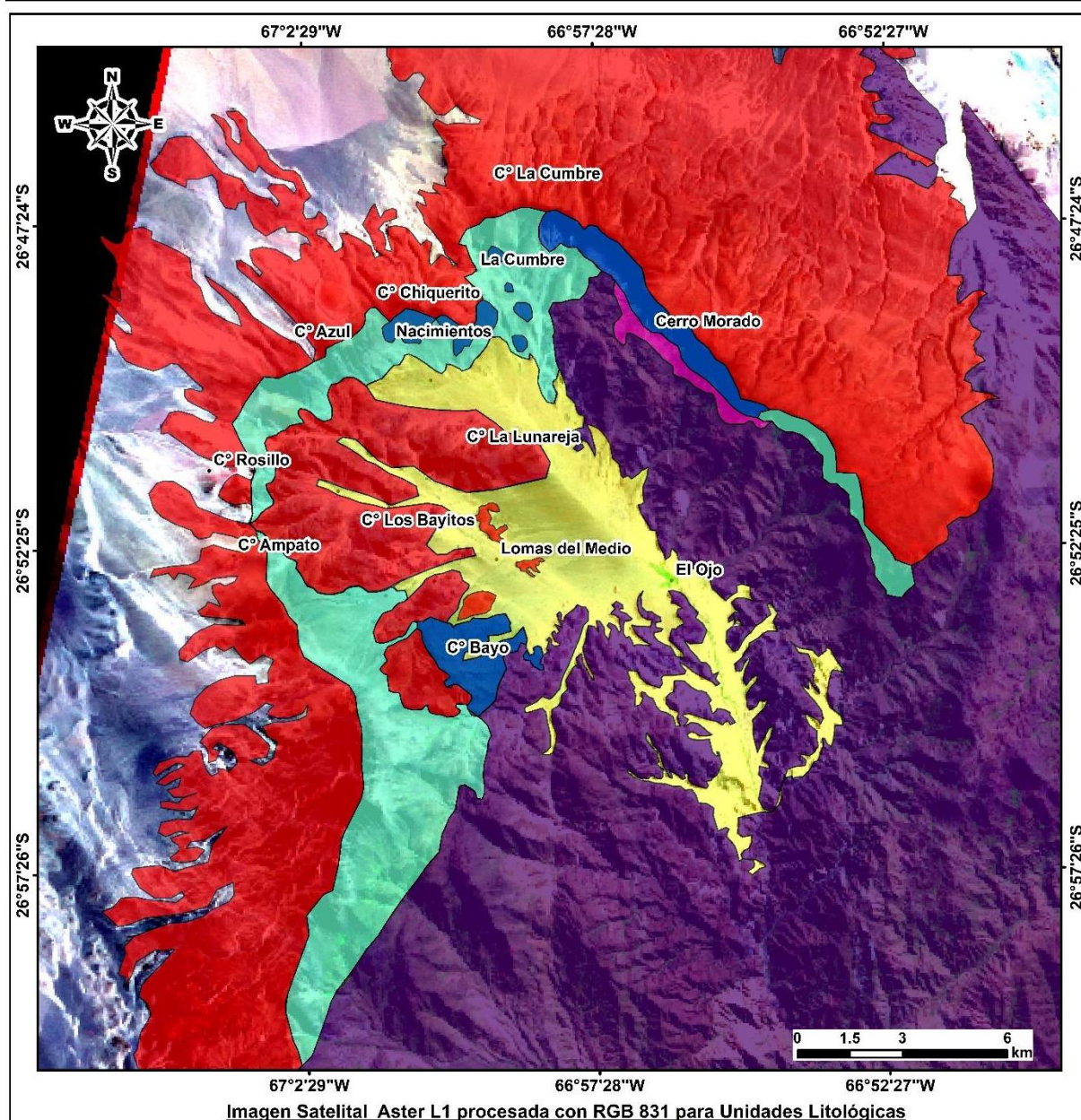
- **Brechas (Mioceno-Plioceno)**

En este apartado se agrupan a las brechas de distinta composición que se distribuyen en el área.

Hacia el SE de la caldera se observa la intercalación de brechas y conglomerados epiclásticos, estratificadas, de composición andesita basáltica a andesita del Cerro Morado (Guzman et al., 2017a).

En la parte N del complejo, se localizan las brechas andesíticas La Cumbre (Guzman, et al., 2017a) y Nacimientos (Guzman, y otros, 2017a) de composición basalto-andesita basáltica.

Hacia el S, sobre la depresión volcánica, afloran las brechas del Cerro Bayo (Guzman et al., 2017a), producto del segundo ciclo volcánico de composición traquiandesitas-andesitas, atravesadas por numerosos diques.



REFERENCIAS

LITOLOGÍA

- Sedimentos Modernos (Cuaternario)
 - Brechas
 - Volcanitas Acidas
 - Andesitas Basálticas a Traquidacitas
 - Andesitas Basálticas a Andesitas
 - Metamorfitas y Granitos (Precámbrico-Cretácico)
- (Mioceno - Plioceno)

UNCA-FTCA
 Licenciatura en Geología
 Trabajo Final: Prospección Geológica-Minera en el
 Complejo Volcánico Vicuña Pampa
 Dpto. Belén, Prov. de Catamarca
 Alumna: Gimena Beatriz Agüero

Fig. 9. Mapa Geológico del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:150.000).

- **Volcanitas Ácidas (Mioceno-Plioceno)**

Se encuentran bordeando la caldera desde el N hacia el SO con-estructuras de flujos, formas lobuladas, textura arrugada; morfología de conos y coladas en vulcanitas recientes; drenajes poco definidos y tonalidad clara.

- **Sedimentos Modernos (Cuaternario)**

Los sedimentos modernos, de edad Cuaternario, se ubican en el centro y S de la depresión de la caldera, rellenan la comarca y cubren parcialmente a las unidades litológicas anteriores (Rosello, 1983; Turner, 1973,1962).

Los niveles aterrazados están pobremente consolidados y los no consolidados se diferencian en sedimentos coluvio - aluviales, playas salinas, evaporitas, eólicos y de planicies aluviales (Rosello, 1983; Turner, 1973,1962).

En la Tabla 20 se presenta el análisis litológico estableciendo una clasificación muy favorable con puntuación 10 para el área ya que contiene ambientes litológicos favorables de acuerdo a la naturaleza y características mineralógicas - texturales para la formación de depósitos cupríferos.

Guía Prospectiva: Litología II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Rocas ígneas serie alcalina - calco alcalina-shoshonítica; intrusivas de texturas porfídicas; zonas de brechas con fragmentos angulares, diques de brechas, basamento metamórfico	10

Tabla 20. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Litología de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad.

V.2.b. Alteraciones Hidrotermales

A partir del análisis de las imágenes procesadas, el área presenta zonas con alteraciones hidrotermales. Fig. 10.

Se utilizó como referencia y base cartográfica la imagen del satélite LANDSAT 8, empleando el método de cocientes de bandas en RGB con la combinación 4/2 6/7 6/5 (Bustos Quiñonez & Gonzabay Aguirre, 2017; Sabins, 199).

El cociente 4/2 fue usado para mapear óxidos como hematita, limonita y jarosita, el cociente 6/7 fue empleado para mapear minerales arcillosos asociados en la región verde del espectro, y el cociente 6/5 se utilizó para ferrominerales con contenidos de arcillas como producto de alteraciones hidrotermales en rocas, ya que manifiestan alta reflectancia en el azul.

Se identificaron y delimitaron las siguientes alteraciones hidrotermales:

- **Alteración Argílica Avanzada**

Se desarrolla en el sector S y E del área de estudio con alta reflectancia de color blanco.

- **Alteración Argílica**

Corresponde a óxidos de hierro y arcillas de rocas alteradas que se distribuyen en los mismos lugares mencionados para la alteración argílica avanzada y en la parte centro - occidental de la caldera volcánica con reflectancia de color amarillo.

- **Alteración Propilítica**

La alteración propilítica se observa en rocas que poseen alta reflectancia en la región del verde observadas en la periferia del cuerpo volcánico y en algunos asomos ubicados en la parte central.

- **Alteración Fílica**

Posee una importante distribución areal en todo el complejo volcánico, concentrándose en la parte centro N y al O, los cuales poseen alta reflectancia en la región del rojo. En la imagen se reconocieron zonas atribuidas a este tipo de alteración, de color naranja con tonalidad rojiza intensa.

- **Alteración con Ferrominerales**

Presenta una distribución errática en el área de estudio, manifestándose de forma más notable hacia el E, evidenciadas por color azul a azul violáceo oscuro y celeste.

La respuesta se debe a la presencia de abundantes óxidos de hierro y sulfuros de cobre-hierro en forma de venillas y diseminados como guía prospectiva sin asociar a un tipo de alteración hidrotermal.

- **Alteración con Silicatos y Óxidos**

Exhibe una importante distribución, en el borde interno de la caldera, a modo de franjas semicirculares que se prolongan hacia la zona SO. Existen también otros importantes asomos en los sectores centro S y NO.

Este grupo de alteraciones está compuesto por silicatos con óxidos de hierro de color magenta, podría ser la alteración hidrotermal potásica posiblemente al estar asociado a otras alteraciones hidrotermales típicas del modelo ya identificadas anteriormente, cómo se observa en el interior de la caldera.

La presencia de cuarzo con óxidos de hierro como guía prospectiva, puede indicar también una alteración sílica de tonalidad más rojiza en el resto del área.

El análisis de alteraciones hidrotermales clasificó el área con una puntuación muy favorable de 10 ya que se observaron zonas con alteraciones de distintos tipos, forma concéntrica, lo que resulta ideal para la identificación y localización de depósitos cupríferos (Véase Tabla 21).

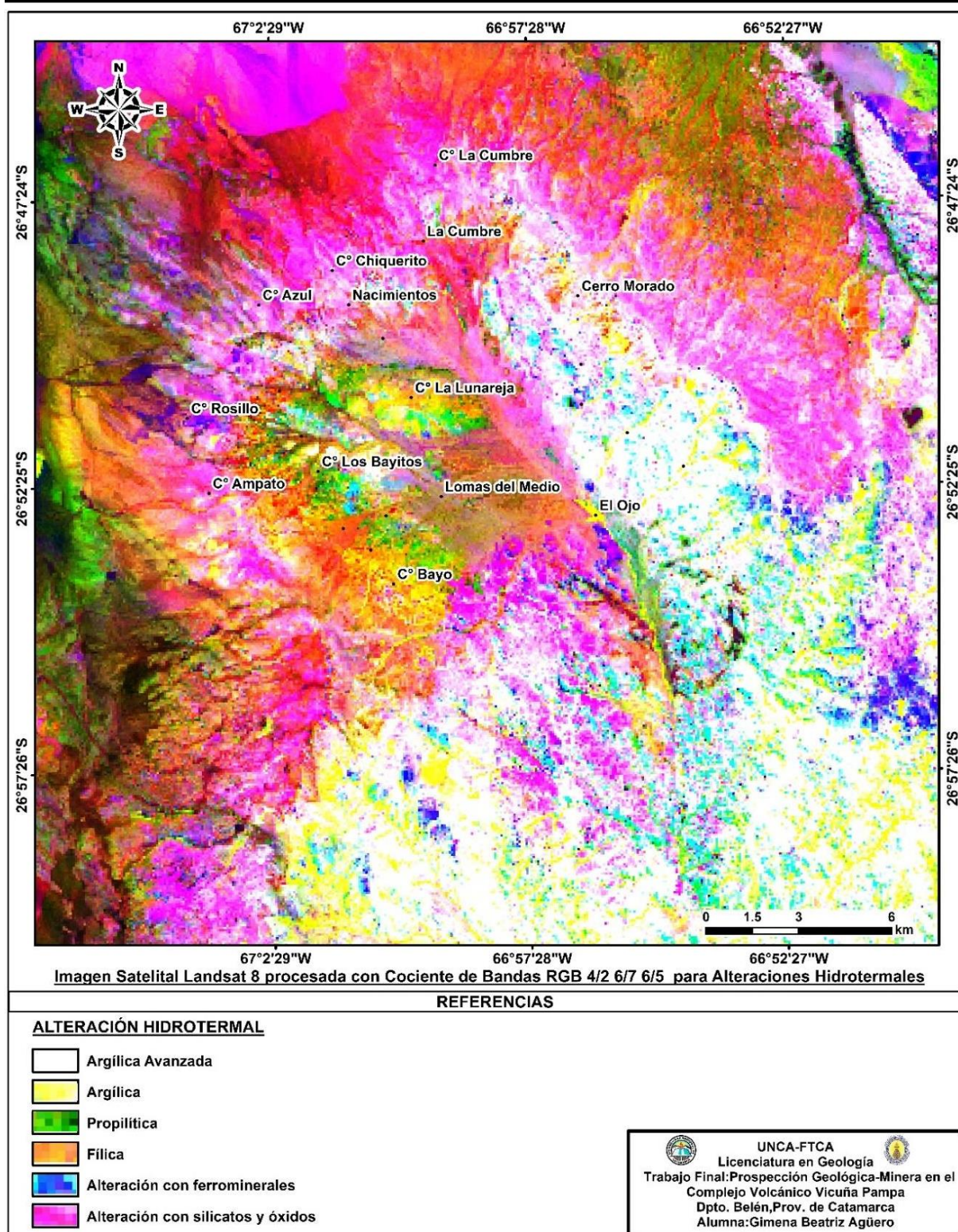


Fig. 10. Alteraciones Hidrotermales del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:150.000).



Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Zonas con alteraciones del modelo, sea potásica, fílica, argílica, propilítica, calco-sódica	10

Tabla 21. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Alteración Hidrotermal de etapas II de acuerdo a su favorabilidad.

V.2.c. Estructuras Regionales

El área presenta estructuras N-S prevolcánicas que pertenecen a las zonas de falla del Basamento denominadas Culampajá, Agua de Pablo y Río Vicuña Pampa localizada sobre la traza del río homónimo, en disposición aproximadamente meridional (Fig. 11).

El evento deformativo es antiguo y profundo, de dominio fundamentalmente plástico y localizado temporalmente en el Paleozoico medio a superior; el fracturamiento general es de tipo inverso de alto ángulo, tal como fue observado al S de la comarca.

Las fajas cataclásticas cohesivas inversas (Facies Cataclásticas de la Formación Chango Real), se pueden considerar como zonas de fallas dúctiles, con rumbo marcadamente NNO e inclinaciones hacia el NNE, que se alejan muy pocos grados de la vertical.

Al progresar la deformación, los esfuerzos compresivos continuaron la acción en dirección aproximadamente ENE, deformando al macizo rocoso mediante plegamiento y fracturamiento dúctil.

Se observa otra falla inferida con rumbo NE-SW, paralela al sistema de fallas nombradas anteriormente. Estas estructuras tuvieron una reactivación en el ciclo moderno con nuevos desplazamientos.

Las estructuras NO-SE sinvolcánicas denominadas Nacimientos, Seca y Vicuña Pampa con rumbos comprendidos entre N10°O y N20°O y su continuación al S, representan el más importante fallamiento con reactivaciones, de dominio esencialmente frágil a partir de viejas fajas miloníticas, que tuvo lugar antes, durante y después del emplazamiento del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

La falla descubierta de Vicuña Pampa corta al complejo volcánico a lo largo de la pared interior oriental de la depresión central y tiene un desplazamiento vertical menor al SW, pero lo corre lateralmente a la izquierda, en 3 km (Allmendinger et al., 1989).

Este fracturamiento NO-SE sinvolcánico es esencialmente extensivo y produjo removilizaciones de las fracturas; estuvo vinculado directamente con los procesos responsables de la erupción más importante y violenta del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Con posterioridad tienen lugar distensiones que provocaron una profundización del fracturamiento, favoreciendo la erupción del magma basáltico olivínico, dando origen a los cuerpos subvolcánicos y a la intrusión de diques de tipo stockwork, con fracturas radiales entrecruzadas.

Las fracturas posteriores o post-volcánicas, fueron las últimas que tuvieron lugar en la comarca y afectaron a todas las unidades del Complejo Volcánico Vicuña Pampa, incluidos los sedimentos del Relleno Moderno, aunque esto no se puede confirmar, por la intensa obliteración provocada por los sedimentos eólicos y los acarrees coluvio-aluviales actuales.

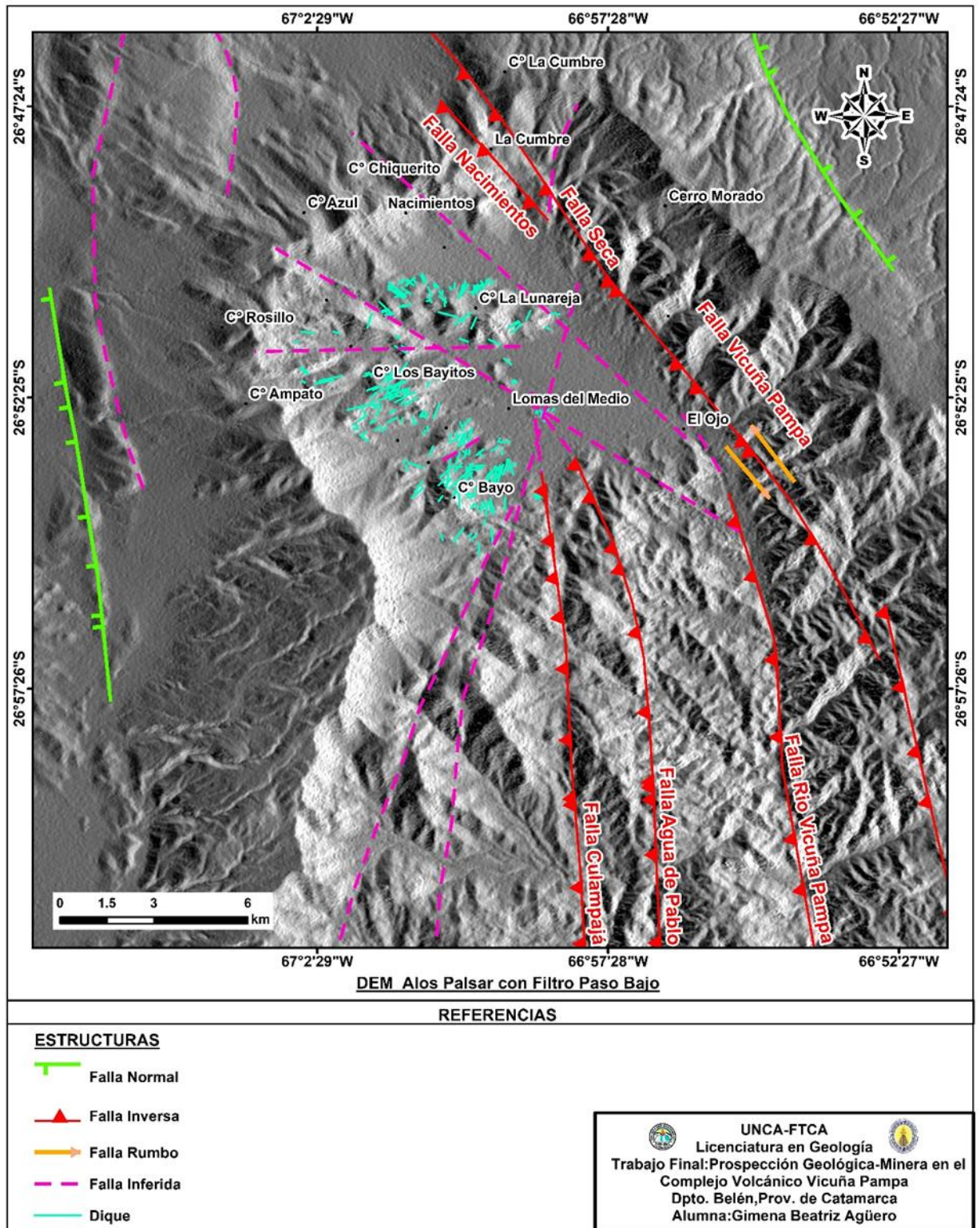


Fig.11. Estructuras del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:150.000).

Estas fracturas NS y NO que convergen hacia el centro de la caldera del Complejo Volcánico Vicuña Pampa permiten suponer la existencia de una zona dilatante generando una mayor debilidad en la corteza y favoreciendo el ascenso del magma a través de conductos más o menos localizados.

El análisis de estructuras, determinó una clasificación con puntuación 10 del área observándose un ambiente estructural favorable, con una permeabilidad que permitió el desarrollo de conductos para el flujo de fluidos, facilitando la alteración, mineralización y la formación de depósitos cupríferos (Véase Tabla 22).

Guía Prospectiva: Estructuras II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Estructuras expansiva dilatantes; diseños de pared colgante, fallas lístricas; fallas y diques singenéticos; stockwork, cruce de estructuras; fallas normales, suturas, cizallas; cambios cinemáticos	10

Tabla 22. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad.

V.2.d. Geofísica

El análisis geofísico magnético en el área de estudio, interpretado a partir de los datos aeromagnéticos, la Hoja Geofísica 2766-I de Santa María (Chernicoff & Vargas, 1999), que se obtuvo en el marco del proyecto PASMA, expuso anomalías magnéticas (Fig. 12).

Dichas anomalías presentaron máximos de 60 nT (color violeta) y mínimos de - 60 nT (color celeste) de isovalores del campo magnético que fueron demarcadas con diferentes formas, tamaños, amplitudes, donde se delimitaron lineamientos geofísicos.

Se definieron a los lineamientos como roturas en el patrón magnético y se consideraron dislocaciones, ya sea superficiales (como se muestra en fallas / fracturas mapeadas) o discontinuidades profundas (como lo demuestra su presencia en "cortes" más profundos de los datos aeromagnéticos, así como su longitud).

A partir de este análisis, se pudieron reconocer lineamientos de tendencia NNE a NE que corresponden a las principales estructuras cenozoicas como fallas y fracturas características del NO argentino.

La correspondencia de varios lineamientos de tendencia NNE con el límite entre los dominios Precámbrico-Cámbrico temprano y Paleozoico sugiere antecedentes en la estructura de zona de sutura.

Los lineamientos de tendencia ONO y ENE comprenden estructuras de una amplia gama de edades, desde zonas preandinas de debilidad hasta fallas transcurrentes del Cenozoico tardío (como lo demuestra el giro ONO de las fallas de tendencia N-S en Falla de Río Vicuña Pampa).

Estos lineamientos se interpretaron como estructuras de la corteza profunda que se han reactivado selectivamente en el Cenozoico. Es probable, que las líneas más cortas sean más jóvenes (principalmente cenozoicas) y menos profundas.

Las anomalías circulares más pequeñas están relacionadas con domos y sistemas hidrotermales.

Las anomalías observadas en el área seleccionada comparten patrones o tendencias magnéticas locales similares a las del Complejo Volcánico Farallón Negro observadas en la Hoja Geofísica 2766-III de Belén (Chernicoff & Vargas, 1999), reconocido por su potencial geológico-minero comprobado y con antecedentes importantes.



Gimena Beatriz Agüero MUN° 00522 | pág. 52

En el sector N de la depresión volcánica, el Cerro La Lunareja evidencia una anomalía magnética superior a 60 nT (color violeta) que alcanzan y superan los 100 nT con formas concéntricas, donde se delimitaron lineamientos magnéticos con orientación aproximada E-O y NO-SE.

La respuesta geofísica es la misma que se observó en la Hoja Geofísica 2766-III de Belén (Chernicoff & Vargas, 1999), sobre el Pórfido Cuprífero Bajo El Durazno rico en Au del Complejo Volcánico Farallón Negro y a las manifestaciones de Au del distrito Culampajá que se apreciaron en el área de la Mina Rosario que presenta una estructura de veta en rosario, a lo largo de una fractura bien definida de rumbo E-O, con “bolsones” de cuarzo aurífero.

En el sector centro y S de la depresión, se localizó otra anomalía magnética $> - 60$ nT (color celeste) que superan los 100 nT con formas concéntricas, con la misma respuesta de antecedentes destacados de depósitos tipo pórfidos cupríferos explotados como Bajo de La Alumbrera, Bajo San Lucas, Bajo Las Juntas y el prospecto Agua Rica, que se observó en la Hoja Geofísica 2766-III de Belén (Chernicoff & Vargas, 1999).

En el centro de la depresión volcánica, se identificó un lineamiento magnético con orientación aproximada E-O sobre el centro de la depresión de la caldera. Representa una estructura cortical profunda posiblemente reactivada selectivamente en el Cenozoico, considerada como falla supuesta.

En el Complejo Volcánico Farallón Negro, los depósitos tipo pórfido cuprífero conocidos están controlados por estructuras profundas que se visibilizaron tanto en la carta geofísica como en el área de estudio Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Dichas anomalías, se encuentran localizadas sobre litología, alteraciones hidrotermales y estructuras favorables dándole mayor importancia a las anomalías y lineamientos descriptos.

Por todo lo observado, y su interpretación en términos geológicos, el área se clasificó de manera muy favorable con puntuación 10, para la formación de depósitos cupríferos (Véase Tabla 23).

Guía Prospectiva Geofísica II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Anomalías y lineamientos magnéticos con altos valores 100 Nt; respuesta geofísica similar a antecedentes de depósitos explotados o en prospección avanzada; relación favorable con otras guías prospectivas geológicas	10

Tabla 23. Selección (muy favorable) de la clasificación de la guía prospectiva Geofísica de la etapa II de acuerdo a su favorabilidad.

V.2.e. Geoquímica

El análisis geoquímico en el área seleccionada, interpretado con los datos de la Hoja Geoquímica 2766-I de Santa María (Ferpozzi et al., 2003), permitió reconocer importantes anomalías geoquímicas, identificadas a partir de puntos de muestreos que acusaron alto contenido de metales (Fig. 13).

La información geoquímica multielemento de la fracción $<$ malla 80 del sedimento de corriente se obtuvo de muestras recolectadas por el programa de la Carta Geoquímica de la

República Argentina del SEGEMAR y por el PLAN NOA I de Prospección Geológico - Minero que se desarrolló en el NO argentino (Ferpozzi et al., 2003).

Los levantamientos del PLAN NOA I fueron llevados a cabo desde la década del 60 hasta la del 70 inclusive, por la entonces denominada Dirección General de Fabricaciones Militares del Ministerio de Defensa y las muestras recolectadas por el programa de la Carta Geoquímica de la República Argentina del SEGEMAR, durante el año 2000 (Ferpozzi et al., 2003).

El área seleccionada se encontró enriquecida en elementos “poco móviles” (Mo y Au) que se depositan cercanos a su lugar de origen, afectados por la dispersión mecánica, mientras los más solubles, como el Cu, migran aguas abajo, retenidos o adsorbidos por la fracción arcillosa.

En el rango de percentil 98, el Au presenta valores de 1 a 2 ppb, el Mo de 0,9 a 4 y el Cu entre 27,6 a 35,2 ppm. Además, únicamente para el Cu se observaron otras categorías de percentil también, valores entre 23,9 a 27,6 ppm para el rango de percentil 95, entre 19,8 a 23,9 ppm para el rango percentil 90, entre 15,7 a 19,8 ppm en el rango percentil 75 y entre 3,5 a 15,7 ppm en el rango de percentil 50 (Ferpozzi et al., 2003).

El muestreo de sedimentos de corriente se realizó sobre los cauces de los ríos principales y en sus tributarios de orden inferior, desde sus cabeceras hasta las confluencias (Ferpozzi et al., 2003).

La densidad de muestreo original fue de 1 muestra cada 2-5 km² en la etapa de reconocimiento regional y de 1 muestra cada 10-15 km², en el programa de la Carta Geoquímica de la República Argentina del SEGEMAR (Ferpozzi et al., 2003).

Sin embargo, en aquellas áreas con mayor interés para la exploración minera, la densidad del muestreo se incrementó hasta 1-2 muestras cada 1 km² y en otras de menor interés disminuye hasta una muestra cada 25 km² (Ferpozzi et al., 2003).

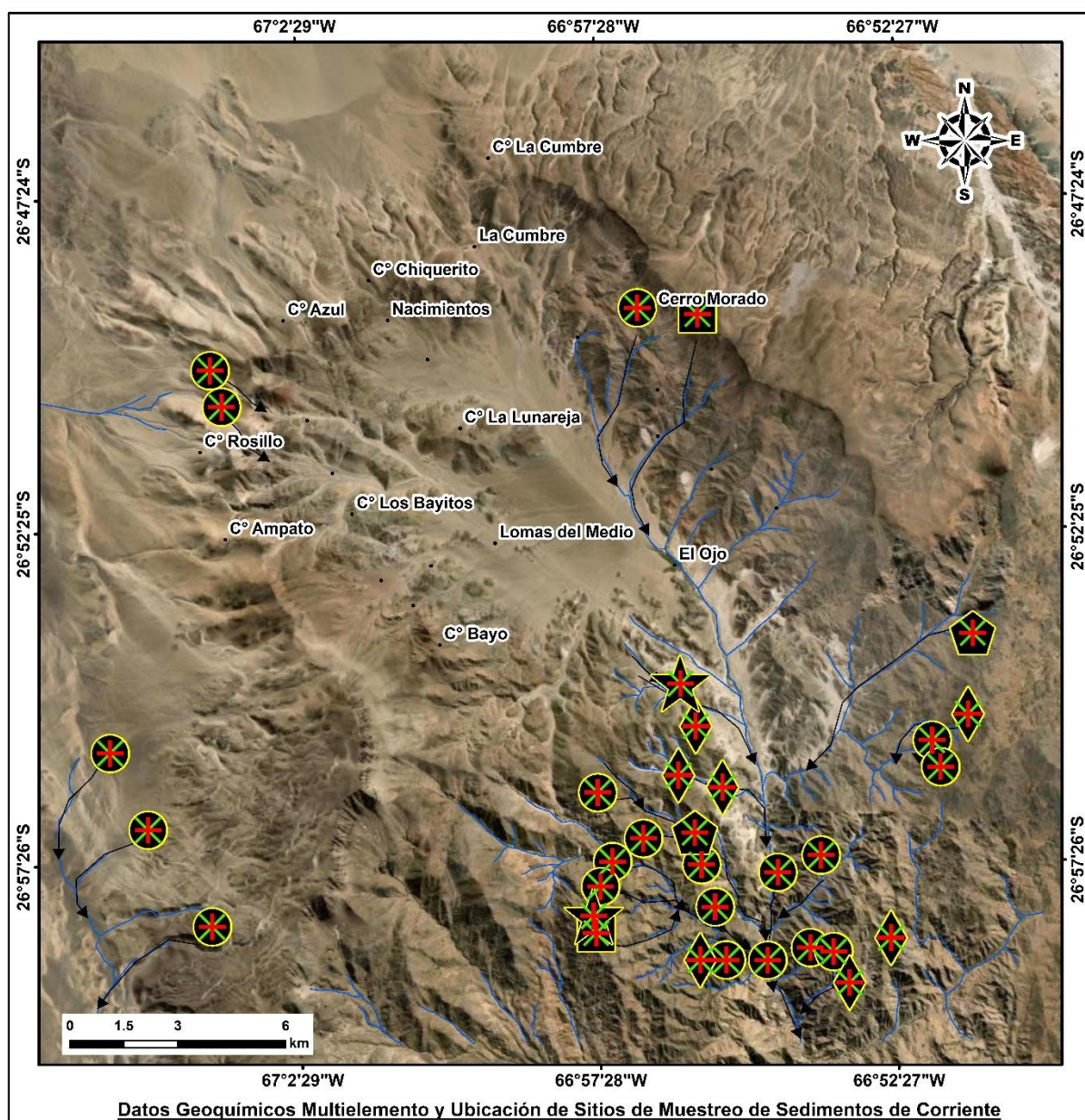
La mayor densidad de muestreo se realizó en el basamento del Precámbrico - Cretácico donde se localizan las Minas de Culampajá reconocidas ya hace tiempo por sus trabajos desde 1936 con potencial y explotadas de manera artesanal, definidas como zona de interés (Ricci et al., 1983).

En cambio el Complejo Volcánico Vicuña Pampa del Mioceno- Plioceno no posee ningún punto de muestreo en los bajos de las raíces del complejo; únicamente se identificaron dos puntos de muestreo hacia el oeste, sobre el límite de la caldera, siendo de menor interés para el muestreo, al no ser definido como área de reserva, con valores entre 3,5 a 15,7 ppm en el rango de percentil 50 de Cu, 1 a 2 ppb en el rango de percentil 98 de Au y 0,9 a 4 en el rango de percentil 98 de Mo, evidenciando la presencia de metales en el volcanismo.

El Cu, con valores máximos de rango percentil 98 y 95, muestra una tendencia de dispersión con una dirección NO-SE sobre los tributarios del río Vicuña Pampa.

El Au y Mo con valores máximos de rango percentil 98 se evidencia en el área, alrededor de la caldera de manera uniforme con una tendencia de dispersión NO-SE y NE-SO y se observa a los grupos de muestras “encadenados” río abajo formando trenes de dispersión.

La presencia de elementos geoquímicos de interés y su relación favorable con las otras guías geológicas prospectivas permitió clasificar el área como muy favorable, con una puntuación 10 (Véase Tabla 24).



Datos Geoquímicos Multielemento y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente

GEOQUÍMICA		REFERENCIAS	
		HIDROGRAFÍA	
+	Au 1 a 2 ppb Ptil. 98	—	Red de Drenaje
x	Mo 0,9 a 4 ppm Ptil. 98		
★	Cu 27,6 a 35,2 ppm Ptil. 98		
⬠	Cu 23,9 a 27,6 ppm Ptil. 95		
■	Cu 19,8 a 23,9 ppm Ptil. 90		
◆	Cu 15,7 a 19,8 ppm Ptil. 75		
●	Cu 3,5 a 15,7 ppm Ptil. 50		
→	Tren de dispersión		

UNCA-FTCA
Licenciatura en Geología
Trabajo Final: Prospección Geológica-Minera en el
Complejo Volcánico Vicuña Pampa
Dpto. Belén, Prov. de Catamarca
Alumna: Gimena Beatriz Agüero

Fig.13. Mapa de datos geoquímicos en el Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:150.000).

Guía Prospectiva: Geoquímica II				
Etapas	Escala	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Muy Favorable	Presencia de elementos principales (Cu, Au, Mo) con valores altos agrupados en percentiles (mínimo dos elementos); relación favorable con otras guías prospectivas geológicas.	10

Tabla 24. Clasificación de la guía prospectiva Geoquímica de etapas II de acuerdo a su favorabilidad.

V.1.f. Evaluación Etapa II

Los mapas potenciales y análisis con criterio geológico de cada guía prospectiva, constituyen documentos de uso real en la toma de decisiones para la selección de las Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa con potencial geológico-minero dentro de la depresión volcánica. Fig. 14 y 15.

El área seleccionada presenta la siguiente clasificación de guías y del área, tabla 25.

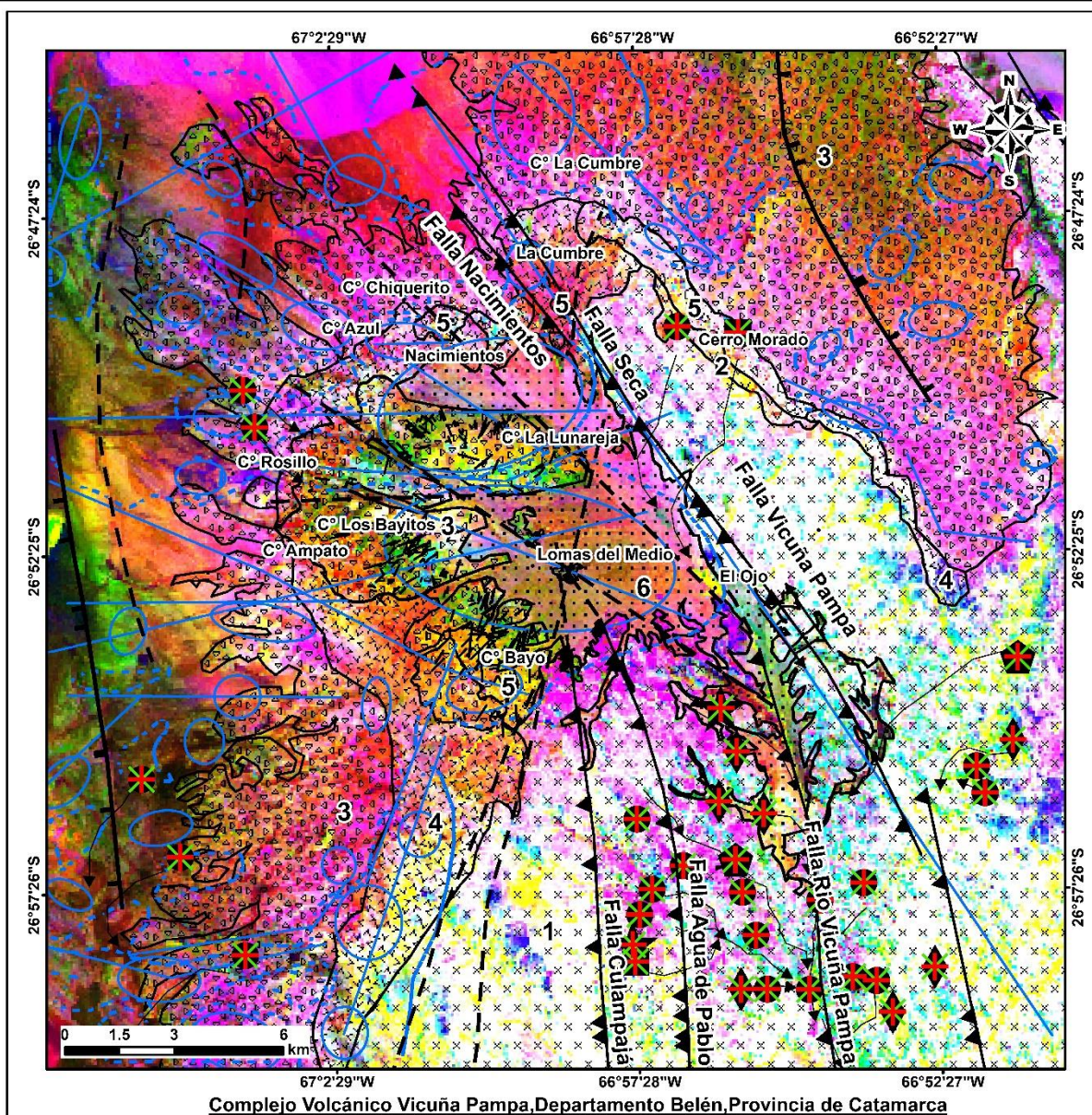
Etapas	Escala	Área Seleccionada	Guías Prospectivas	Clasificación	Puntuación
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Litología	Muy Favorable	10
			Alteraciones Hidrotermales	Muy Favorable	10
			Estructuras	Muy Favorable	10
			Geofísica	Muy Favorable	10
			Geoquímica	Muy Favorable	10
Resultado de Clasificación y Puntuación de Guías				Muy Favorable	50
Resultado en Porcentaje de Favorabilidad del Área				100%	
Resultado de Clasificación del Área				Alto Potencial	

Tabla 25. Resultado final de clasificación y puntuación de las guías prospectivas, con resultado del porcentaje y clasificación del área de acuerdo al potencial geológico-minero de las Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa en etapas II.

De acuerdo a la metodología aplicada y al análisis prospectivo, el área manifiesta una alta puntuación favorable, con controles geológicos adecuados para la formación de depósitos minerales determinándose como área prospectiva de interés a los cuerpos volcánicos de las raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (CVVP) a escala 1:50.000. La tabla 26 muestra la revisión final de resultados del área:

Etapas	Escala	Área Seleccionada	Clasificación	Puntuación
Etapas I	1:7.000.000 - 1:150.000	Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Muy Favorable	40
Etapas II	1:150.000 - 1:50.000	Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Muy Favorable	50
Resultado Final de Clasificación y Puntuación de Guías			Muy Favorable	80
Resultado Final en porcentaje de Favorabilidad del Área			100%	
Resultado de Clasificación del Área			Alto Potencial	

Tabla 26. Puntuación de potencial geológico-minero del Complejo Volcánico Vicuña Pampa en etapas I y etapas II.



Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Departamento Belén, Provincia de Catamarca

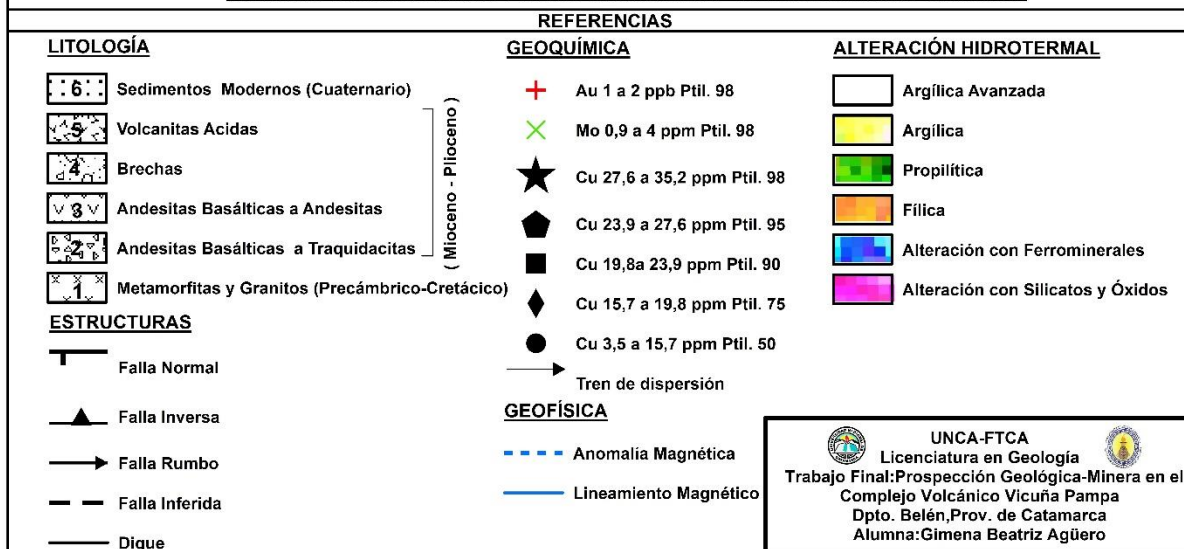


Fig.14. Mapa final del área seleccionada a escala 1:150.000.

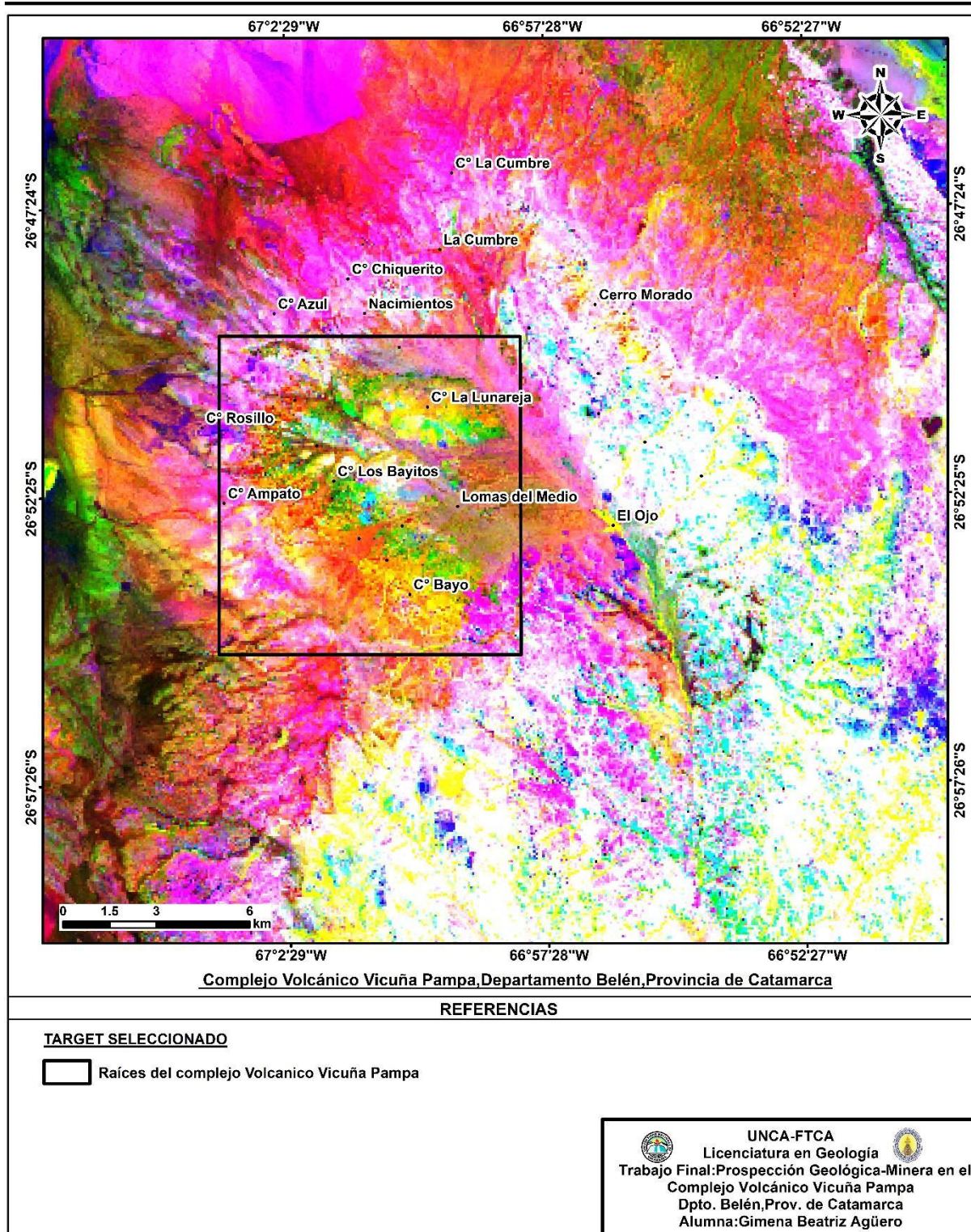


Fig. 15. Mapa final del área seleccionada a escala 1:150.000, indicando la zona de interés geológico-minero a escala 1:50.000 por analizar en la etapa III.



V.3. Análisis Petrográfico - Calcográfico - Alteraciones Hidrotermales - Estructural (Etapa III)

A partir del análisis y evaluación realizado en la Etapa II, se seleccionaron a las Raíces del bajo del Complejo Volcánico Vicuña Pampa como área de interés o target con gran favorabilidad predictiva para continuar y concluir la prospección en esta última etapa. Fig. 16 y 17.

El área fue dividida a su vez en 4 sectores teniendo en cuenta principalmente la favorabilidad de litología, alteraciones hidrotermales y estructuras, complementado con lo procesado de geofísica y geoquímica.

1. Cerro La Lunareja

Se ubica al N de la depresión de la caldera, limitado al SO por la Quebrada Iral. Constituye un relieve positivo alineado en dirección E – O con pendiente abrupta hacia el S y más suave hacia el N, con laderas tapizadas por médanos.

2. Lomas del Medio

Se localizan al SE del Cerro La Lunareja y al E del Sector Los Bayitos, haciendo referencia a las Lomas del Medio de la caldera, cubiertas casi en su totalidad por una carpeta de sedimentos eólicos modernos.

3. Cerro Los Bayitos

Se sitúan sobre el centro del área seleccionada al S del Cerro La Lunareja y al O de la depresión volcánica y de las Lomas del Medio, se encuentra atravesado por una falla supuesta con orientación aproximada O-E.

4. Cerro Bayo

Se encuentra al S del Cerro Los Bayitos y de la depresión volcánica.

En cada uno de estos sectores se recolectaron muestras de esquirlas de rocas, que fueron descriptas desde el punto de vista macroscópica y posteriormente, procesadas para su análisis petrográfico y calcográfico, a fin de determinar su mineralogía, alteración y el tipo de roca.

La caracterización petrográfica de las muestras se presenta en tablas (Anexo) que incluyen fotografías de los cortes delgados y calcográficos, según la posición de nicols sea Paralela (NP) y Cruzada (NC).

Se seleccionaron muestras representativas de la mineralización existente en cada sector para mostrar su caracterización macroscópica y microscópica, mediante la ficha correspondiente.

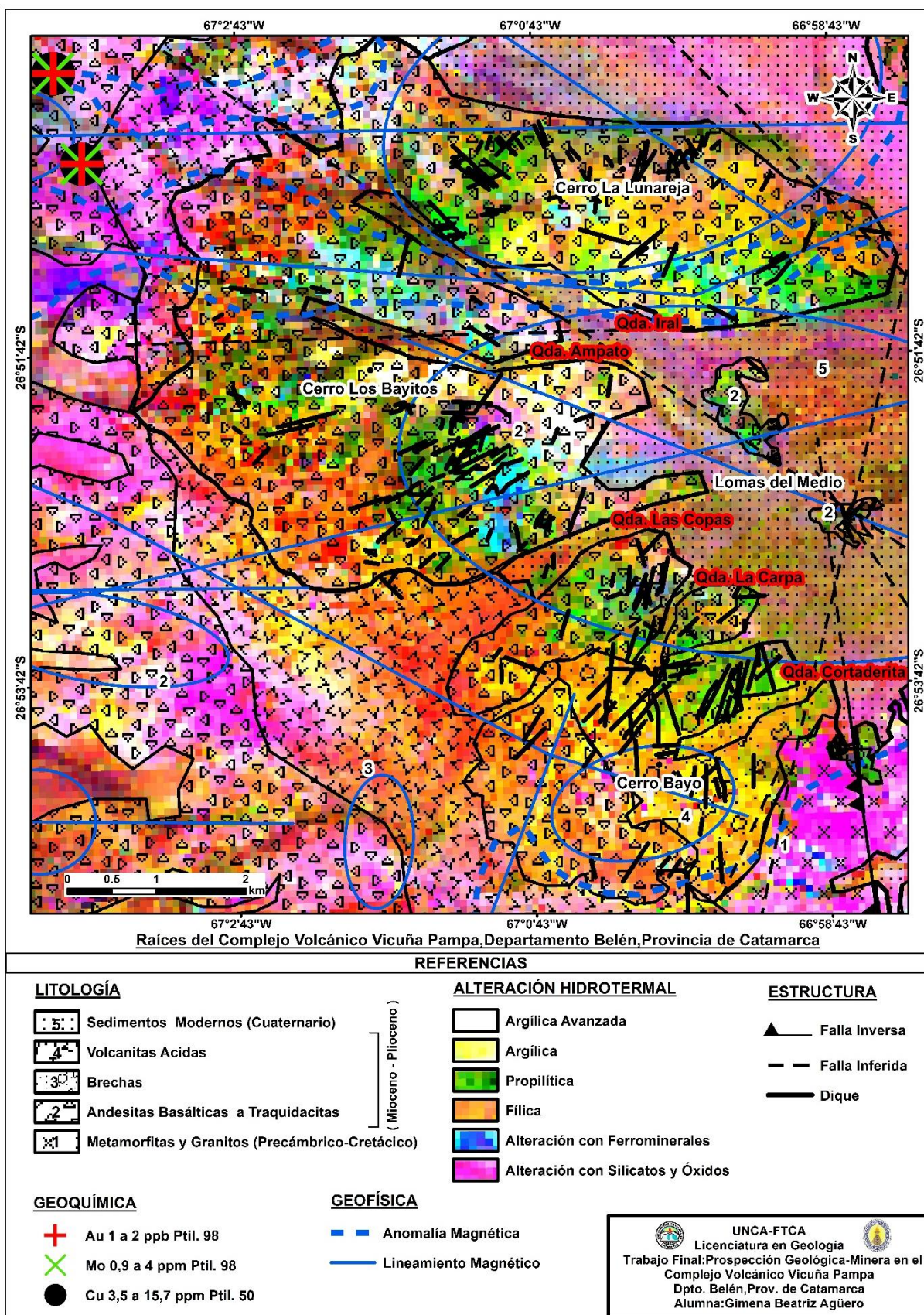
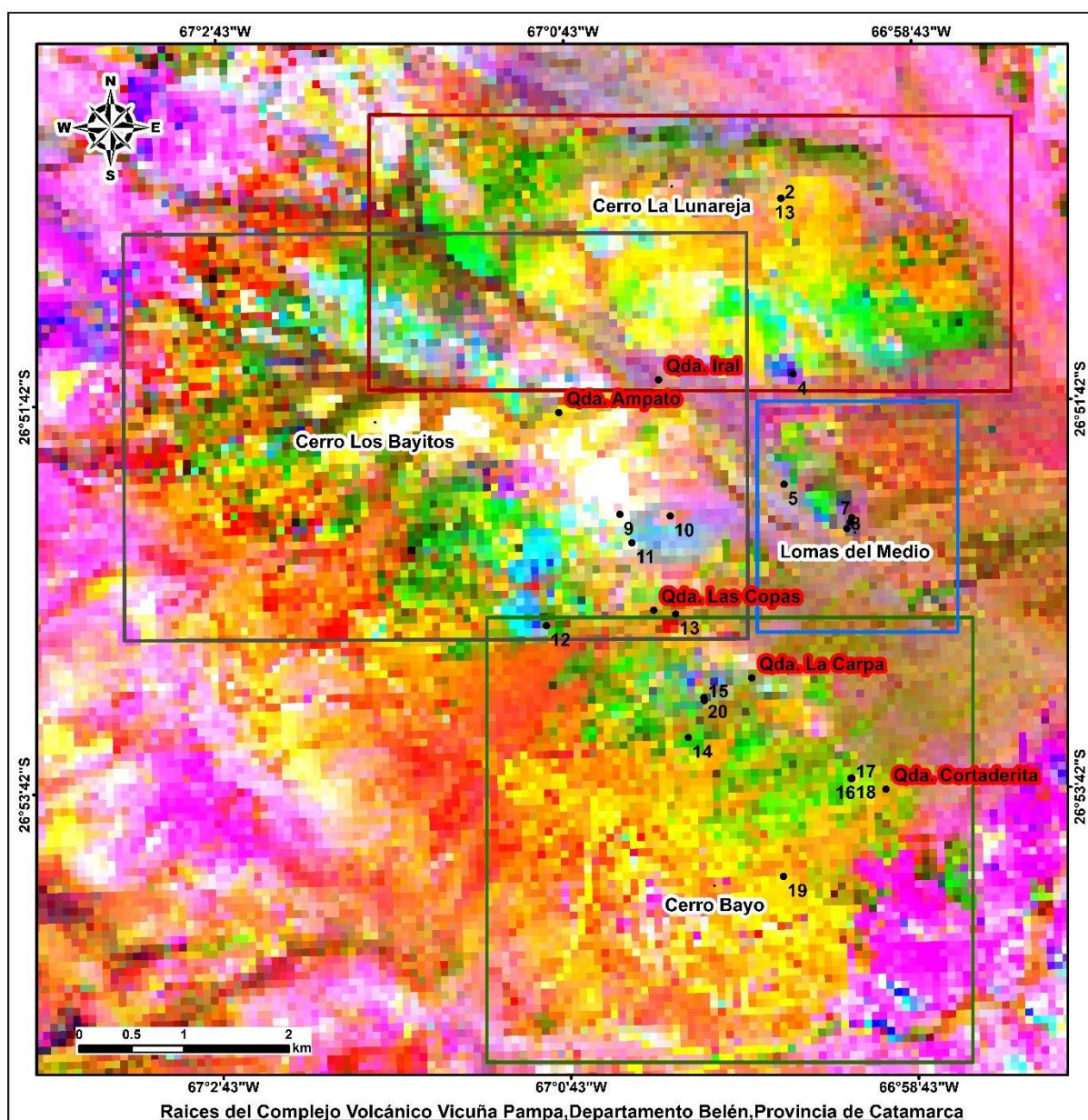


Fig. 16. Área de interés seleccionada en Etapa II (escala 1:50.000).



REFERENCIAS

TARGETS SELECCIONADOS

- Cerro La Lunareja
- Lomas del Medio
- Cerro Los Bayitos
- Cerro Bayo

MUESTRAS

- Punto y N° de Muestra

UNCA-FTCA
Licenciatura en Geología
Trabajo Final: Prospección Geológica-Minera en el
Complejo Volcánico Vicuña Pampa
Dpto. Belén, Prov. de Catamarca
Alumna: Gimena Beatriz Agüero

Fig. 17. Puntos de muestreo por sectores seleccionados y delimitados en etapa III (escala 1:50.000).

V.3.a. Sector Cerro La Lunareja

El mapeo y el análisis macroscópico y microscópico, determinó que el sector está constituido por rocas traquiandesíticas - andesíticas con diferentes grados de alteración fílica, propilítica y calco - sódica. Fig. 18.

La alteración propilítica presentó una respuesta espectral de color verde y se evidencia en los bordes externos del sector Cerro La Lunareja, especialmente en los extremos NO y SE, en tanto la alteración fílica muestra una respuesta espectral de color naranja rojiza, concentrada en las zonas central N y E, existiendo manifestaciones menores en el S y O. La alteración calco sódica, es la menos representada, al S, con una respuesta espectral de color azul.

La respuesta espectral de color amarillo, concentrada en las zonas centro y S, se atribuye a la alteración argílica. El color blanco a una alteración argílica avanzada y la de color celeste, corresponde a arcillas y ferrominerales.

En este sector se recolectaron 4 muestras de rocas de manera estratégica, tres de ellas (M1, M2, M3) en la zona NE y una (M4) fue tomada al SE.

La muestra 1 (M1) es un dique de naturaleza traquiandesita, que muestra alteración fílica, venillas de cuarzo y goethita-hematita (Anexo - Ficha 1).

En escala macroscópica, exhibió color pardo, ligera tonalidad naranja, estructura tabular, textura afanítica, pátinas de carbonato de color blanco, además de hematita especularita con venillas finas de óxidos de hierro.

A escala microscópica, se observó una textura porfídica, matriz felsítica devitrificada con fenocristales de plagioclasas alteradas por carbonatos y sericitas, lamprabolita desfirritizados, cuarzo inalterado, con goethita y especularita reemplazando a piritas en venillas.

La muestra 2 (M2) es una traquiandesita con alteración fílica intensa, diseminados de goethita y Au, con venillas de Au.

En escala macroscópica, presento color blanco, tonalidad pardo rojizo, estructura masiva, textura afanítica, pátinas de carbonato de color blanco (reacciona con HCl), con abundante goethita de color marrón rojizo.

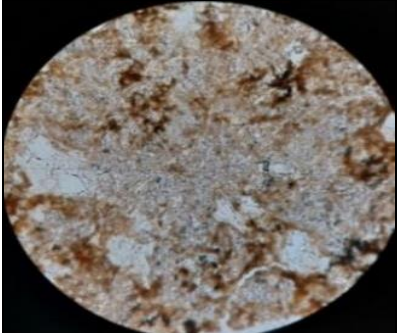
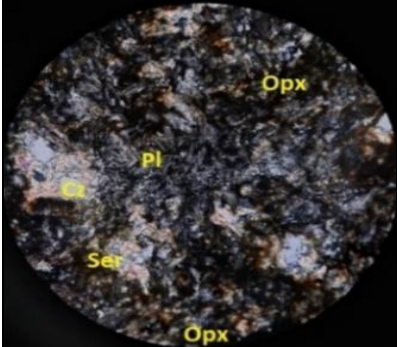
A escala microscópica, exhibió textura inequigranular, microlitos de plagioclasas, biotitas alteradas a sericitas, máficos oxidados, con diseminado de goethita como reemplazo de piritas, Au granular aislado y en finas venillas de formas esqueléticas.

Se consideró a esta muestra (M2) como la más relevante del sector por su contenido de Au y de minerales de interés económico. Ficha 1 - Fig. 18b.

La muestra 3 (M3) corresponde a una roca de tipo traquiandesita, con alteración propilítica, diseminados de piritas y goethita-hematita con estructura masiva y textura porfídica.

En escala macroscópica presentó color verde, ligera tonalidad rojiza, estructura masiva, textura porfídica, fenocristales de epidoto, máficos y cuarzo subordinado, sobre una matriz fina con pátinas de carbonato y geoda conteniendo cristales de cuarzo, óxido de hierro goethita; además se observó diseminado de piritas, hematita especularita y venillas finas de óxidos de hierro. Muestra alteración propilítica (Anexo - Ficha 3 - Fig. 19a).

A escala microscópica evidenció una matriz microcristalina a criptocristalina con fenocristales de plagioclasas epidotizadas, tremolita-actinolita, cuarzo, piritas y óxidos de hierro goethita-hematita.

MUESTRA 2			
Coordenadas:	26°50'39.00"S 66°59'28.21"O	Sector	Cerro La Lunareja
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca de color blanco con ligera tonalidad pardo rojizo. Presenta estructura masiva - tabular y una textura afanítica con patinas de carbonato de color blanco (reacciona con HCl). Se observa abundante goethita de color marrón rojizo.	
Foto Microscopica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta textura inequigranular, con matriz muy fina, pelítica, de color amarillo a pardo. Compuesto por microlitos de plagioclasas incoloras subhedrales y biotitas de color pardo, hábito tabular, formas subhedrales alteradas a sericitas y máficos oxidados. Se observan agregados microcristalinos de sericita, incolora, de hábito micáceo con formas anhedrales y cuarzo incoloro como parches impuesta por alteración hidrotermal.		
	NC: Matriz con colores de interferencia grises oscuros. Litoclastos cuarzosos micáceos anhedrales con leve extinción ondulosa. Sericita con débil pleocroísmo en tono amarillo pálido. Distribución de opacos en todo el corte. <u>Abreviaturas:</u> Ser: Sericita, Opx: Opacos (Whitney and Evans, 2010), Pl: Plagioclasa, Cz: Cuarzo (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).		
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: Contiene abundante goethita y 1% de oro en un volumen total de roca. Presenta reemplazo pseudomorfo de goethita a hematita. El oro muestra forma granular, aislados y en finas venillas esqueléticas, color amarillo brillante, sin pleocroísmo y reflectividad muy alta. La goethita evidencia color gris azulado, forma anhedral, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. <u>Abreviaturas:</u> Au: Oro; Gth: Goethita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).		

Ficha 1. Descripción petrográfica y calcográfica de la muestra 2.

La muestra 4 (M4), pertenece a una traquiandesita con alteración calco-sódica, diseminados de magnetita-hematita y venillas tipo M (Anexo - Ficha 4 - Fig.18a)

A escala macroscópica presentó color verde oscura con tonalidad blanquecina-rojiza, hipocristalina, de grano grueso, estructura masiva, textura granular. Contiene plagioclasas, cuarzo, carbonatos y máficos con venillas de óxidos de hierro y oxidación de goethita

A escala microscópica, en el corte delgado se observó fenocristales de plagioclasas carbonatizadas, y máficos como actinolita y piroxenos con diseminados (7%) y venillas de hematita-magnetita. La hematita fue reemplazada por magnetita, a su vez la magnetita pudo ser sustituida por sulfuros de cobre y hierro.



Fig. 18. Sector La Lunareja a) Alteración Calco-Sódica (punto de muestreo, muestra 4). b) Alteración filica con contenido de Au (punto de muestreo, muestra 2).

Al O y SE del Cerro La Lunareja, se observó una roca volcánica, de tipo andesita-traquiandesita, con alteración propilítica intensa, de color verde tonalidades de color blanco, hipocristalina, textura porfídica fina, fenocristales de plagioclasa, cuarzo, máficos, patinas de carbonato, pirita, hematita diseminada y especularita en fracturas.

En este sector, también intruyen diques de similar composición que la roca alojante, con alteración filica moderada, color pardo con ligera tonalidad naranja, estructura tabular, textura afanítica. Contienen fenocristales de plagioclasa y cuarzo, con magnetitas y venillas finas de cuarzo y óxidos de hierro.

La zona con alteración calco-sódica (M4) fue identificada como parte de la zona central o raíz de un sistema porfídico, sobre la parte marginal próxima a un núcleo potásico observado al SE del sector, sobre Quebrada Iral.

La estructura profunda identificada en la etapa II por medio de la geofísica coincidió con la raíz del sistema. Se infiere la existencia de una falla normal localizada en el sector, evidenciada por la elevación del bloque sur, dejando expuesta la raíz de un sistema porfídico.

Las venillas tipo M que se observaron en esta alteración calco-sódica, que anteriormente fueron de cuarzo lineales estilo A con paragénesis, bordes de calcopirita-bornita diseminados y fracturados, representan el inicio de la mineralización de un pórfido.

La magnetita de color gris con tinte rosado se encontró asociada a la actinolita y al contenido de titanio magmático; considerada como precursora del rutilo (TiO_2) hidrotermal en yacimientos de tipo pórfido (Camus, 1975; Cuadra, 1986; Skewes y otros, 2002) y las venillas crecieron sobre las plagioclasas, con un emplazamiento posterior y selectivo.

La alteración fílica (M2) con ensamble es cuarzo – sericita - pirita con diseminados y venillas esqueléticas de oro, óxidos de hierro y sulfuros descriptos, fue vinculada como vector guía hacia valores altos de oro, sobreimpuesta a la zona temprana de alteración calco-sódica (M4). Es una alteración pervasiva que obliteró la textura de la roca.

En este sector, la alteración fílica es el principal hospedante de la mineralización relacionada con altas leyes de cobre y oro, asociados a pirita, reconocidos en este caso por secciones pulidas, sugiriendo removilización durante este estado.

La alteración (M3) compuesta por plagioclasa, epidoto, tremolita-actinolita, cuarzo, pátinas de carbonato, pirita y óxidos de hierro goethita-hematita, fue definida como propilítica interna, evidencia de una zonación mineral en la pared de la roca que se gradúa desde la periferia hacia la alteración prógrada interna, común en rocas de caja fuera de un núcleo con alteración potásico.

La plagioclasa se generó en lugar del feldespato K, a una temperatura más baja que la ortoclasa, debido a la presencia de rocas con alto contenido de sodio, que se extienden lejos de la fuente intrusiva, típicamente como parte del conjunto de alteración propilítica.

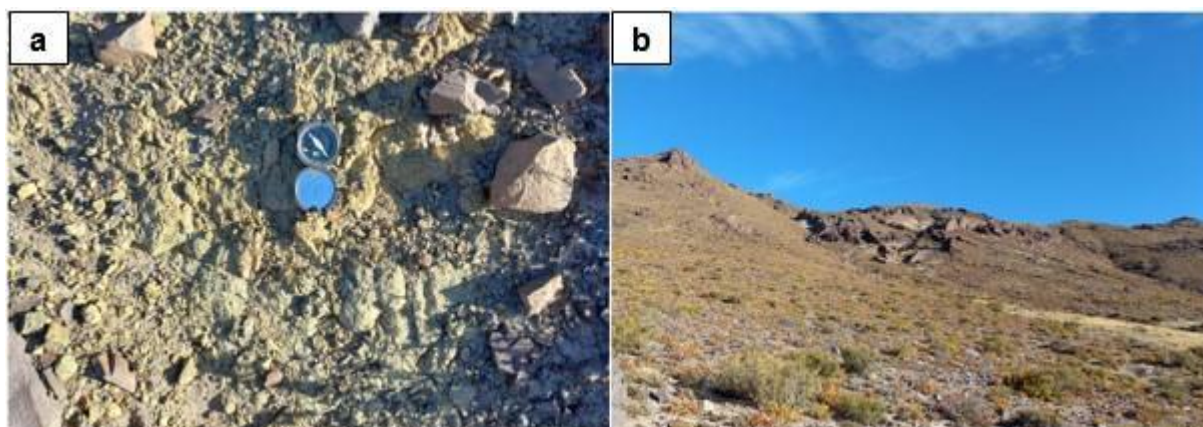


Fig. 19. Sector La Lunareja a) Zona propilítica. b) Zona de diques.

En este caso, la plagioclasa albita-actinolita es un conjunto mineral común indicativo de alteración propilítica interna y potásica externa.

La presencia de carbonato, hematita y pirita local son características de una propilítica externa más marginal a la fuente de intrusión.

El halo externo de alteración propilítica se distribuyó periféricamente a la alteración fílica en forma penetrativa, con sectores de alteración argílica y diques mineralizados.

La alteración argílica del sector se identificó por la respuesta espectral y por mapeo, habiéndose correlacionado con otros sectores del área. Presenta mineralización en forma de diseminados, óxidos de hierro como goethita, magnetita y trazas de pirita.

En el sector, se observaron diques que intruyeron con dos juegos de estructuras conjugadas NO-SE y NE-SO, conformando un diseño estructural tipo stockwork en la zona N y O; respondieron a la acción de un fracturamiento distensivo posterior.

Asimismo, afloran diques con materiales más rígidos de texturas coherentes, como los de tipo porfídicos, que tienden a ser más delgados y verticales (M1).

La mineralización presente en diques observados en la muestra M3, asociada a procesos de hidrotermalismo, intrusiones de un sistema pórfido mineralizado que se

extienden a distancias considerables dentro de la roca de caja, constituyéndose en un vector guía para la prospección de mineralización.

Las zonas con hematita y goethita de colores castaños a marrones oscuros serían indicadores de alta relación sulfuros de cobre / sulfuros de hierro y las zonas con hematita de color rojo carmesí, se vincularían con áreas de enriquecimiento supergénico secundario (Barton & Johnson, 2004; Cecenarro et al., 2014; Richards & Mumin, 2013).

La mineralización presente en venillas junto con los diseminados observados en el área, se relacionaron con depósitos de pórfido ricos en oro asociados a una paragénesis de mena compuesta por piritita, calcopiritita y bornita.

El sector Cerro La Lunareja presentó una clasificación muy favorable de litología, estructuras y alteración hidrotermal con una puntuación 10. Tablas 27 - 28 - 29. Fig. 20.

Guía Prospectiva: Litología III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	La Lunareja	Muy Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina-calcoalcalina- shoshonítica; textura porfídica; brechas; basamento metamórfico.	10

Tabla 27. Clasificación de la guía prospectiva de Litología de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector La Lunareja del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	La Lunareja	Muy Favorable	Todas las alteraciones presentes potásica, calco-sódica, fílica, argílica, propilítica y silicificación con paragénesis o mineralización económica presente de elementos principales (Cu,Au,Mo) en diseminados y en tipos de venillas.	10

Tabla 28. Clasificación de la guía prospectiva Alteraciones Hidrotermales de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector La Lunareja del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Estructuras III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	La Lunareja	Muy Favorable	Estructuras tectónicas expansivas; fallas y diques syngénéticos; stockwork, cruce de estructuras; venilleo mineralizados	10

Tabla 29. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector La Lunareja del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

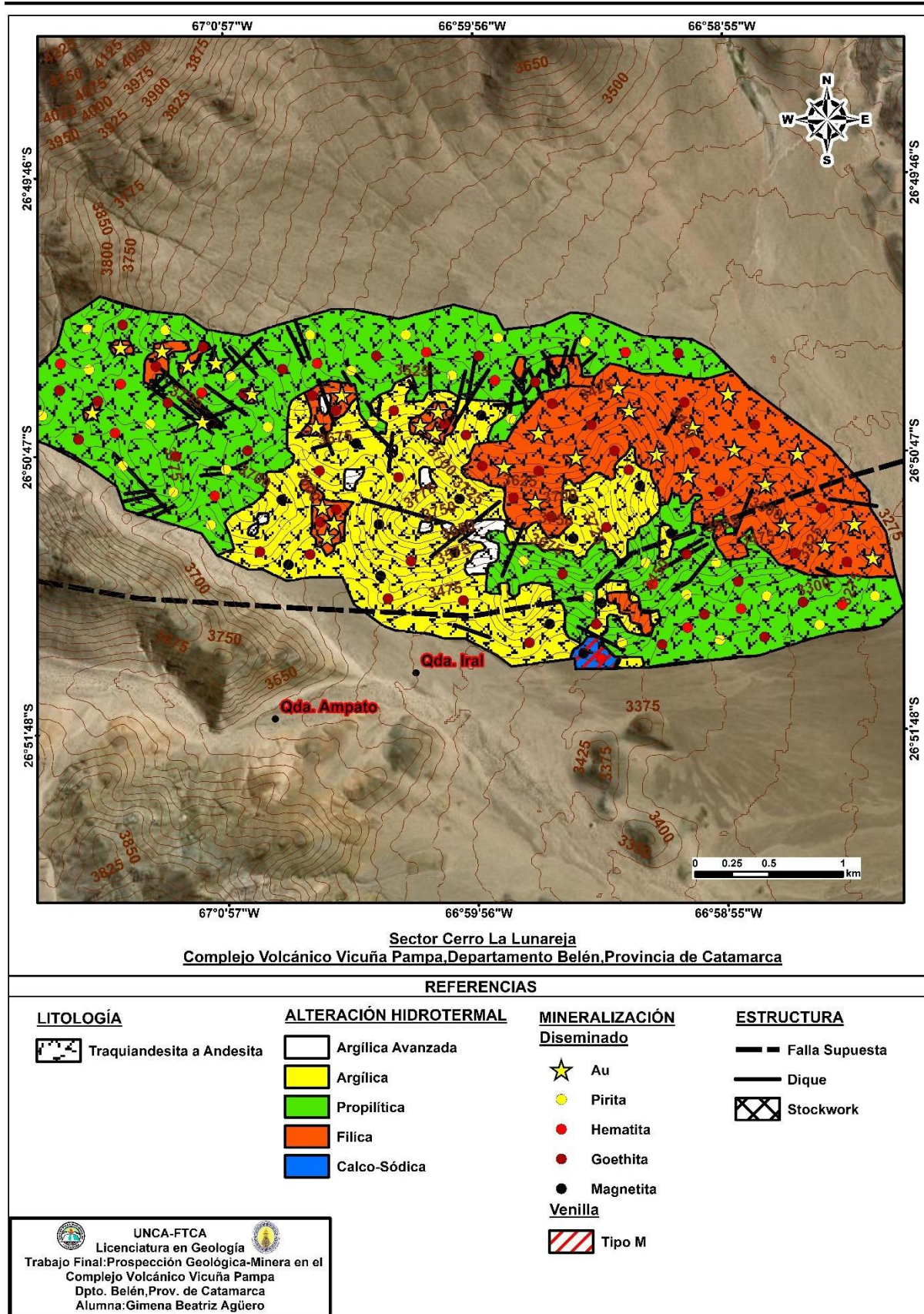


Fig. 20. Mapa del Sector Cerro La Lunareja del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:30.000).

V.3.b. Sector Lomas del Medio

A partir del mapeo y el análisis macroscópico - microscópico, se determinó que este sector está constituido por gabros y andesitas, con diferentes tipos y grados de alteración, y mineralización hipógena - supergena. Fig. 25.

Sus límites son muy difíciles de identificar debido a la cobertura de distintos tipos de materiales no consolidados.

La alteración propilítica presentó una respuesta espectral de color verde, y se evidenció cubriendo la mayor parte del sector. Sobre el extremo O, se observó una fuerte oxidación de hierro con una respuesta espectral de color gris claro intenso.

La alteración propilítica con alteración fílica sobreimpuesta muestran una respuesta espectral de color pardo rojizo en el E y S, en tanto la alteración fílica intensa y la alteración caolínica con fílica sobreimpuesta, manifiesto una respuesta espectral de color azul violáceo, existiendo manifestaciones menores en el E.

En este sector se recolectaron estratégicamente cuatro muestras de rocas. Una (M5) fue tomada al O y los tres restantes (M6, M7, M8) en la zona E.

Los cuerpos gábricos (M5) mostraron textura inequigranular y estructura masiva, en escala macroscópica y microscópica, alterados con fuerte oxidación de hierro, diseminados de Au y magnetita-hematita como reemplazo de piritas con venillas tipo D.

A escala macroscópica, se observó una roca ígnea plutónica de color negro oscura tonalidad rojiza, grano grueso, hipocristalina, plagioclasas y olivino anhedrales, cristales de magnetita con aristas visibles y venillas de goethita de color rojiza.

El análisis en corte delgado presentó cristales de plagioclasas y olivinos, observándose al cuarzo relacionado al óxido de hierro. Se determinó un 3% de oro diseminado con magnetita más del 10 %.

El oro proveniente de un magma in situ hipógeno, y los diseminados de magnetita-hematita junto con las venillas de goethita que reemplazan la magnetita, corresponden a eventos posteriores por la deformación que se observó en plagioclasas, infiriéndose como indicador de mineralización supergénica.

Se consideró a esta muestra (M5) como relevante en el sector, por su contenido de Au y su potencial mineralización de interés económico. Ficha 2 – Fig. 21.

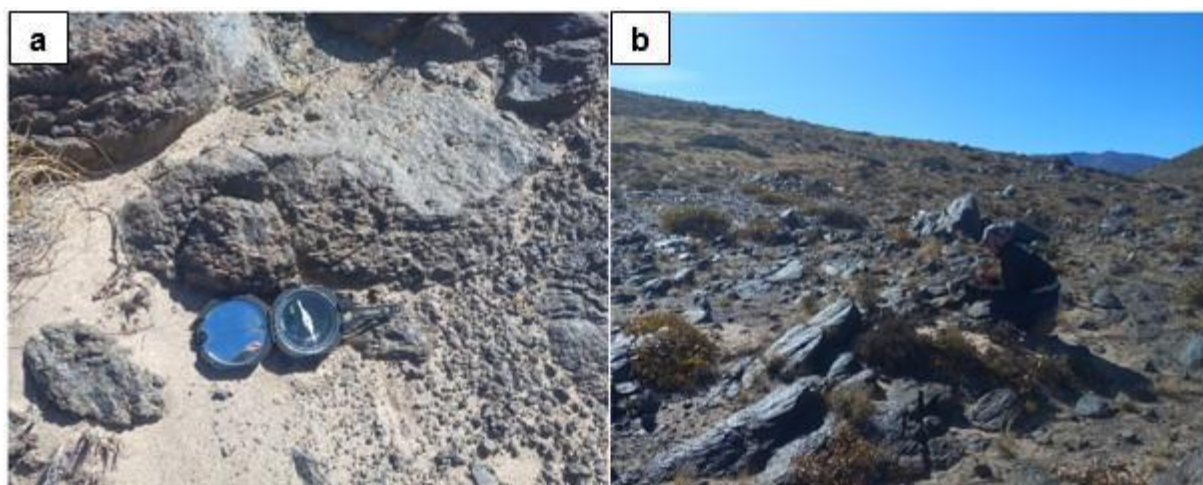
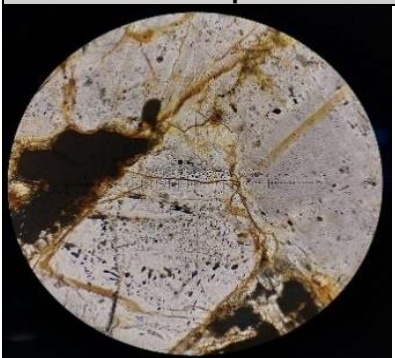
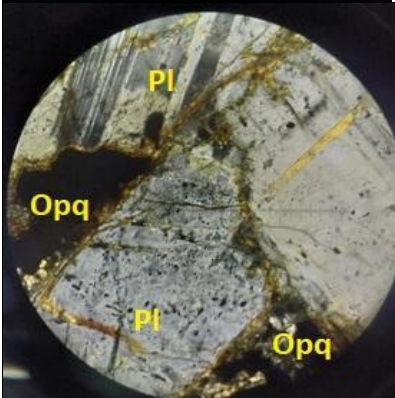
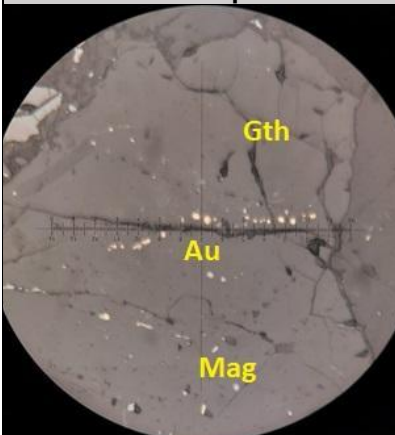


Fig. 21. Sector Lomas del Medio. a) y b) Zona O de Lomas del Medio (punto de muestreo, muestra 5).

MUESTRA 5				
Coordenadas:		26°52'7.60"S 66°59'27.91"O	Sector:	Lomas del Medio
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA				
Foto de Campo		Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
			Roca ígnea plutónica de color negro oscura, tonalidad rojiza, de grano grueso, hipocristalina, estructura masiva, textura inequigranular, plagioclasas olivino anhedrales, cristales de magnetita con aristas visibles y venillas de goethita de color rojiza.	
Foto Microscópica 20x		Descripción Microscópica		
		NP: Se observa una textura inequigranular cristalino, fuerte alteración con oxidación de hierro. Se presentan cristales de plagioclasas incoloras, formas subhedrales con hábito tabular y olivinos anhedrales serpentinizados de relieve alto.		
		NC: Se observan plagioclasas macladas, muy fracturadas, deformadas en cuñas, con rellenos y venillas de óxido de hierro y olivinos con colores de interferencias alto, muy serpentinizados.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney and Evans, 2010), Cz: Cuarzo; Ser: Sericita; Cb: Carbonato (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021)				
DESCRIPCIÓN CALCÓGRÁFICA				
Foto Microscópica 20x		Descripción Microscópica		
		NP: El corte presenta diseminados de Au (3%), hematita – magnetita (<10%) y venillas de goethita. El Au muestra granos de distintos tamaños, color amarillo brillante, sin pleocroísmo, reflectividad muy alta, diseminado sobre plagioclasas. La hematita evidencia color blanco grisáceo azulado, textura martita, pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La magnetita de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, sin pleocroísmo, pulido muy bueno y reflectividad baja. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral, con pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja.		
Abreviaturas: Au: Oro; Gth: Goethita Mag: Magnetita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).				

Ficha 2. Descripción petrográfica y calcográfica de la muestra 5.

En el sector se identificaron indicios de un sistema porfídico con una raíz potásica, sobreimpuesta con zonas de alteración fílica (M6), propilítica (M7) y caolinitica (M8), las dos últimas con sobreimposición de alteración fílica, de distribución penetrante y un denso entramado de venillas de distintos eventos que se interconectan, conformando una zona de stockwork mineralizado.

La alteración fílica intensa (M6), se evidenció sobre una roca volcánica cuyo grado de alteración impide una definición precisa, con estructura masiva, textura rompecabezas, en escala macroscópica y microscópica, goethita/hematita y pirita diseminada, así como un stockwork con venillas tipo B y venillas de carbonatos con una respuesta espectral color azul violáceo (Anexo - Ficha 6 - Fig. 22).

A escala macroscópica se presentó de color blanco con tonalidad pardo rojiza, de grano fino, hipocristalina, cuarzo como relleno y en venillas, malaquita y goethita pardo – rojiza sobre cuarzo, con guías de sulfuros limonitizados y sílice en drusas y geodas. Además, se observó algunos diques de la misma naturaleza en la zona.

El análisis en corte delgado mostró una matriz sericitica y fenocristales de cuarzo como relleno, venillas de cuarzo tipo B con sutura central de goethita y venillas de carbonatos. Se determinó la presencia de pirita diseminada $\pm 1\%$ y goethita/hematita en venillas, las cuales originalmente estuvieron compuestas por sulfuros.

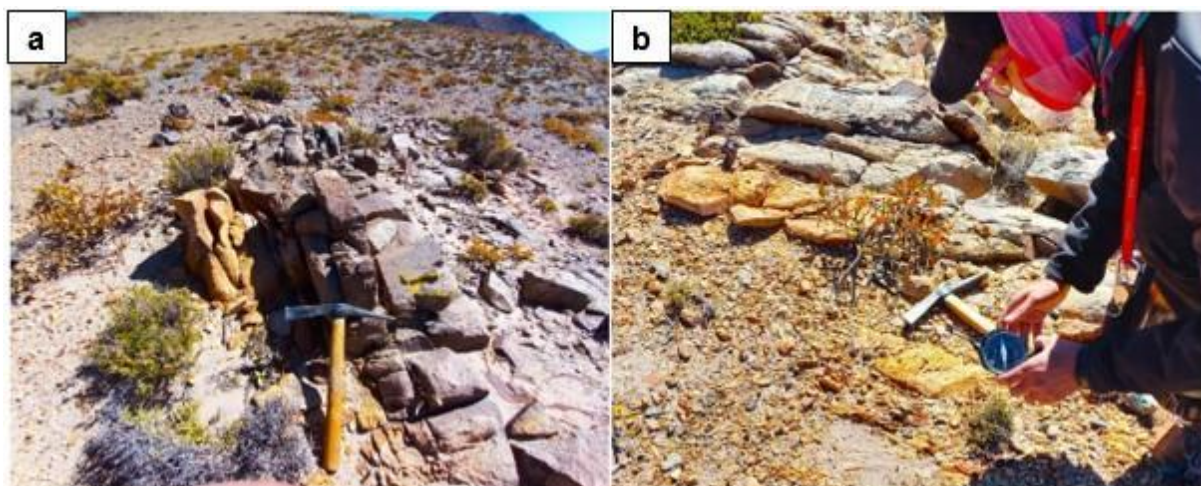


Fig. 22. Sector Lomas del Medio. a) Diques SE de Lomas del Medio, b) SE de Lomas del Medio (punto de muestreo, muestra 6).

La zona con alteración propilítica y fílica sobreimpuesta (M7), se delimitó sobre una andesita, de estructura masiva y textura porfídica a escala macroscópica y microscópica, con diseminados de oro y pirita, junto con venillas tipo EDM.

En escala macroscópica se observó una roca volcánica de color verde oscura tonalidad blanquecina-rojiza. Se caracterizó por grano fino, hipocristalina, textura porfídica fina, fenocristales de plagioclasas, cuarzo y minerales máficos, también se identificaron diseminados de pirita y hematita-goethita como reemplazo pseudomórfico de pirita.

El análisis del corte delgado mostró fenocristales de plagioclasas carbonatizadas, epidoto y cuarzo como relleno, diseminados de oro y pirita (1%), con venillas de clorita-pirita, siendo relevante en el sector por su contenido mineralógico. El sector se correlacionó con lo observado en el E y S de Lomas del Medio.

Se consideró a esta muestra (M7) como relevante dentro del sector debido a la presencia de Au y su contenido de minerales de interés económico. Ficha 3 - Fig. 23.



Fig. 23. Sector Lomas del Medio. a) y b) Zona propilítica de Lomas del Medio, (punto de muestreo, muestra 7).

La alteración caolinítica con alteración fílica sobreimpuesta en la muestra M8 exhibe estructura tabular y textura rompecabezas. A escala macroscópica y microscópica, se observa diseminados de goethita/hematita y pirita con stockwork sobreimpuesto con venillas tipo A, D y de carbonatos (Anexo - Ficha 8 – Fig. 24).

A escala macroscópica la roca presenta color pardo-rojizo tonalidad pardo amarillento, de grano fino, hipocristalina. Se identifican venillas de cuarzo, con textura de dientes de perro, hematita de color negro y goethita de color rojiza, con diseminados de pirita y goethita.

El análisis en corte delgado presentó una textura rompecabezas jig-saw con stockwork de venillas tipo A, D y de carbonato, sobreimpuesta sobre una textura porfídica, la matriz caolinítica impregnada de óxidos de hierro, compuesta por microlitos de plagioclasas con fenocristales de cuarzo y sericita como parches sobreimpuestos.

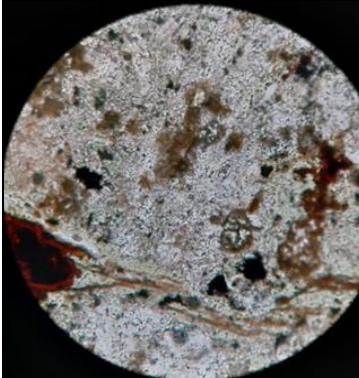
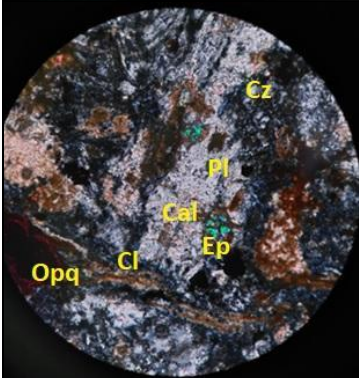
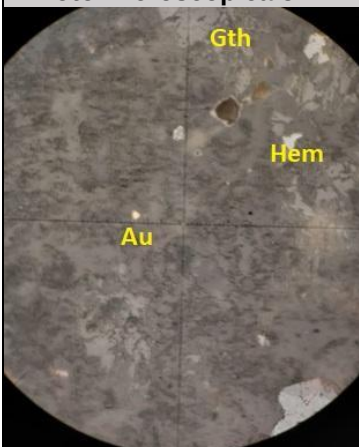
Las venillas de cuarzo con hematita y relictos de pirita corresponden a venillas de tipo A, mientras que las venillas posteriores que cortan al cuarzo son del tipo D, compuestas por goethita como reemplazo de pirita o sulfuros de cobre-hierro. La goethita aprovechó los límites de los espacios de los granos de cuarzo. El corte exhibió diseminados de relictos de pirita < 1% y 3% de goethita y hematita.

Este nuevo entramado tridimensional permitió el paso de fluidos hidrotermales en el sector que le imprimieron un control estructural a la roca y un descenso abrupto de la presión confinante con respecto a la de los fluidos.

Este proceso generó un aumento de volumen en el macizo rocoso y despresurización del fluido, resultando en un brechamiento hidráulico y precipitación mineral.

Las venillas EDM (M7) que se identificaron en el sector, se caracterizan por biotita secundaria originada por alteración potásica (localmente retrogradada a clorita) en una grieta central.

Estas venillas pudieron albergar anhidrita, calcopirita, pirita y extenderse hacia el borde, se formaron en una etapa temprana y, por su paragénesis, se relacionaron posiblemente con una zona de alteración potásica o raíz potásica de un sistema porfídico.

MUESTRA 7				
Coordenadas:		26°52'19.43"S 66°59'5.13"O	Sector:	Lomas del Medio
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA				
Foto de Campo		Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
			Roca ígnea volcánica de color verde oscura con tonalidad blanquecina-rojiza, de grano fino, hipocristalina, con estructura masiva y una textura porfídica con matriz fina, con fenocristales de plagioclasas, cuarzo y máficos con diseminado de pirita y hematita-goethita.	
Foto Microscópica 10x		Descripción Microscópica		
		NP: Se observa una textura porfídica, con matriz fina compuesta por microcristales de plagioclasas incoloras, con habito tabular, subhedrales y sericita, con fenocristales de cuarzo, incoloros, anhedrales como relleno, plagioclasas muy carbonatizadas y con epidotos de color verde-amarillento con relieve alto que crecen sobre minerales de calcio calcita. Se observa venillas de clorita de color verde claro con opacos y venillas de cuarzo incoloras con epidotos. El corte presenta opacos distribuidos en el corte (fotos 10x).		
		NC: La matriz presenta tonalidades de color gris, los epidotos presentan colores de interferencia alto con clivaje perfecto. Las cloritas por alteración se observan con color de interferencia marrón, con formas anhedrales y habito tabular, con bastante arcilla. Las plagioclasas se presentan muy carbonatizadas con color amarillo. El cuarzo se observa de color gris y de formas anhedral, con extinción ondulosa. Presenta venas de carbonato de color amarillo y cuarzo de color gris. Abreviaturas: Opx: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclasa, Cal: Calcita; Cl: Clorita; Cz: Cuarzo; Ep: Epidoto(Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).		
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA				
Foto Microscópica 5x		Descripción Microscópica		
		NP: El corte presenta Au, granos de hematita-goethita y diseminados de Au. El grano de Au tiene tamaño 0.004 mm, de color amarillo brillante, sin pleocroísmo, con reflectividad muy alta. Reemplazo pseudomorfo de hematita a goethita. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. y La hematita de color blanco grisáceo azulado, con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta. Piritas diseminadas 1%. Venillas de clorita con goethita ante pirita. Abreviaturas: Au: Oro; Gth: Goethita, Hem: Hematita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).		

Ficha 3. Descripción petrográfica y calcográfica de la muestra 7.

Las venillas A (M8), B (M6) y D (M5-M8) que se detectaron y fusionaron localmente; presentaron una alteración generalizada que refleja una progresión prógrada de enfriamiento y mineralización. Posteriormente, muestran una sobreimpresión colapsante tras una alteración prógrada anterior.

Las venillas B indicaron la presencia de un sistema tipo pórfido con un potencial para tener enriquecimiento supergeno en profundidad, por lo que se tomaron como vector y guía de mineralización, ya que sobreimprimen a venillas tipo A, y tipo M, que indican el inicio de la formación del depósito.

Por lo tanto, se extienden a ambos lados de la división progrado-retrógrado dentro del sistema.

Las venillas tipo D, representaron el evento final, cortando intrusiones de pórfido mineralizado y extendiéndose por distancias considerables dentro de la roca de caja con bordes de alteración de sericita-pirita. Su paragénesis está compuesta por cuarzo, pirita, calcopirita, carbonato, anhidrita y bornita en ciertas zonas.

Estos tres estilos de venillas tipo A, tipo B y tipo D (M5-M6-M8) atraviesan la roca, sobreimpuestas y desarrollaron stockworks multidireccionales en el sector especialmente debido a la presencia de múltiples eventos de venillas asociados con intrusiones de pórfido sobreimpreso.

Estas venillas fueron emplazadas en fases posteriores a la etapa tardía magmática o potásica, en condiciones frágiles, lo que se manifestó en la geometría de las mismas.

Las zonas con hematita y goethita con colores castaños a marrones oscuros de este sector son interpretadas como guía vector, donde la relación sulfuros Cu/sulfuros Fe fue alta y las zonas con hematita color rojo carmesí, están relacionadas a áreas con enriquecimiento supergénico secundario (Barton & Johnson, 2004; Cecenarro et al., 2014)

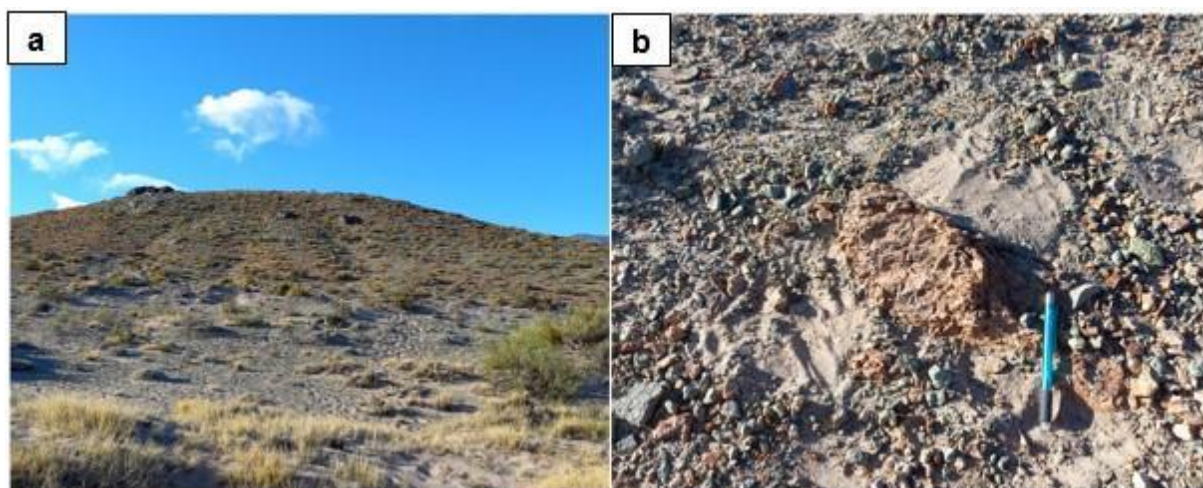


Fig. 24. Sector Lomas del Medio. a) y b) Zona con alteración caolinitica con filica sobreimpuesta (punto de muestreo, muestra 8).

La presencia de malaquita observada en el sector, también es un indicador de un sistema supergénico y de oxidación que afectó a minerales de cobre como la bornita y la calcopirita, además se considera una mena importante de cobre.

Las características transversales del ambiente estructural, que posiblemente reflejan estructuras de basamento subyacentes, generaron zonas con aumento de permeabilidad de

la roca que facilitaron el ascenso de los volúmenes de magma enriquecidos con la mineralización propia de los sistemas de pórfido de Cu.

La mineralización presente en venillas, junto con los diseminados que se observaron en el área y la alteración supergénica de los sistemas de sulfuros, han permitido una interpretación de la mineralogía original del sector en profundidad.

Esta mineralización está relacionada con depósitos de pórfido ricos en oro, asociada a una paragénesis de mena compuesta por pirita, calcopirita y bornita.

El sector presentó la intrusión de diques basálticos con textura de material coherente en el E, y diques con textura brechosa tipo rompecabezas o jig-saw puzzle por la zona SE.

Estas estructuras se replican hacia la periferia de los cuerpos, con mineralización progresivamente decreciente en abundancia y en potencia a mayores distancias del núcleo de un sistema porfídico.

En este sector, la alteración propilítica con respuesta espectral de color verde podría presentar la misma mineralización de otros sectores al ser de idéntica época y ciclo volcánico.

El sector Lomas del Medio presentó una clasificación muy favorable de litología, estructuras y alteración hidrotermal con una puntuación 10. Tablas 30 - 31 - 32. Fig. 25.

Guía Prospectiva:: Litología III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:10.000	Lomas del Medio	Muy Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina-calcoalcalina-shoshonítica; ; textura porfídica; brechas; basamento metamórfico	10

Tabla 30. Clasificación de la guía prospectiva de Litología de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Lomas del Medio del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:10.000	Lomas del Medio	Muy Favorable	Todas las alteraciones presentes potásica, calco-sódica, fílica , argílica, propilítica y silicificación con paragénesis o mineralización económica de elementos principales (Cu, Au, Mo) en diseminados y en tipos de venillas	10

Tabla 31. Clasificación de la guía prospectiva Alteraciones Hidrotermales de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Lomas del Medio del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Estructuras III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:10.000	Lomas del Medio	Muy Favorable	Estructuras tectónicas expansivas; fallas y diques syn-genéticos; stockwork, cruce de estructuras; venilleo mineralizados	10

Tabla 32. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Lomas del Medio del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

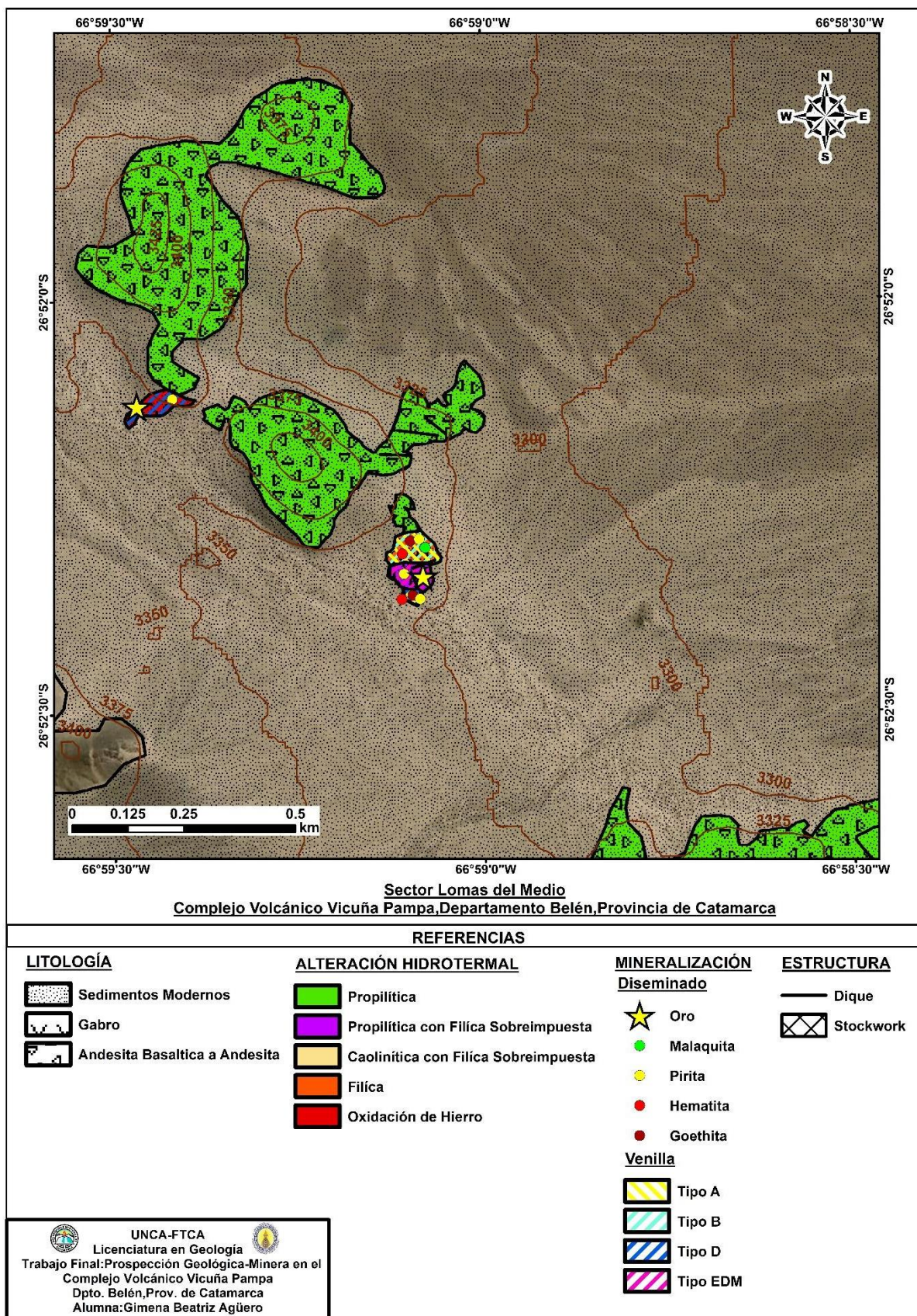


Fig 25. Mapa del Sector Lomas del Medio del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:10.000).

V.3.c. Sector Cerro Los Bayitos

El sector está constituido por rocas andesíticas con diferentes tipos y grados de alteración, y mineralización hipógena y supergena. Fig.29.

Se recolectaron 4 muestras de rocas de manera estratégica, tres de ellas (M9, M10, M11) en la zona E y una (M12) fue tomada al S.

La alteración propilítica presentó una respuesta espectral de color verde sobre el centro-oriental, zonas de color naranja-rojizo representativa de la alteración fílica se observaron en la periferia occidental, el color amarillo indico alteración argílica con óxidos de hierro sobreimpuestas del centro hacia la periferia del sector y la alteración argílica avanzada de color blanco se concentra sobre el centro.

Se reconocieron dos eventos principales de alteración, el primer evento progrado (M10 - M12) caracterizado por emplazamiento, alteración y mineralización, y otro retrógrado (M9 - M11), observado en el centro oriental del sector en los niveles más superficiales, con presencia de litocapas, y zonas controladas litológicamente de alteración argílica avanzada (M9). (Anexo - Ficha 9 - Fig. 26).

Estas alteraciones constituyen una guía al estar ligadas también a la alteración potásica, generalizada por componentes controlados estructuralmente relacionados genéticamente a depósitos de tipo pórfido. La alteración argílica avanzada se definió sobre roca andesita, avanzada, con diseminados de goethita y venillas tipo D.

En el terreno, se observó una roca volcánica de color blanco con tonalidad rojiza, de grano fino, afanítica, hipocristalina, estructura maciza y textura pelítica. Su mineralogía se encuentra constituida con cuarzo, caolinita, carbonatos y venillas de óxidos de hierro de color pardo rojiza.

El análisis en corte delgado muestra una textura porfídica una matriz caolinítica, fenocristales de cuarzo y plagioclasa, parche de mineral verde probablemente supergénico, goethita distribuida y venillas limonitizadas tipo D, con hábitos y texturas distintas en comparación a otros sectores, producto de enriquecimiento supergénico.

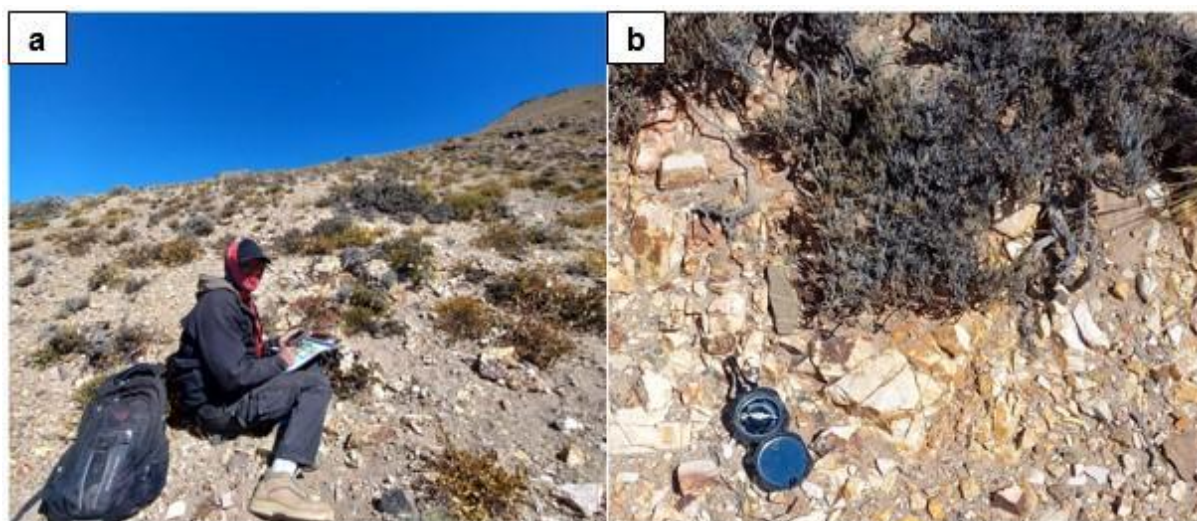


Fig. 26. Sector Los Bayitos. a) y b) Zona central argílica avanzada de Los Bayitos, (punto de muestreo, muestra 9).

La notable alteración hidrotermal que han sufrido estas rocas no permitió la clasificación petrográfica precisa; se infirió de modo general sobre las rocas que se encontraron en su proximidad, como andesita con alteración argílica avanzada sobreimpresa pervasiva y respuesta espectral de color blanco.

La alteración argílica (caolinita-clorita-pirita $\pm$ illita) (M9) se sobreimpone a un sistema de pórfido dominado por la alteración potásico o calco-sódica - propilítica durante el enfriamiento final, en partes superiores del sistema de pórfido de Cu.

A medida que las aguas meteóricas ingresaron al ambiente de pórfido, el enfriamiento y la neutralización de las aguas de bajo pH, responsables de la alteración fílica promovieron el desarrollo de la alteración argílica en los márgenes exteriores, dominada por clorita con dickita de mayor temperatura (que pasa a caolinita de menor temperatura (M9) y luego a illita en condiciones más neutrales).

En la zona E, se identificaron áreas con alteración propilítica sobre andesita, diseminados de pirita – magnetita y venillas tipo D (Anexo – Ficha 10).

A escala macroscópica, se observó una roca volcánica de color verde oscuro tonalidad negruzca, de grano fino, afanítica, hipocristalina, estructura maciza y textura pelítica. Contiene plagioclasa, carbonato y venillas de cuarzo con pirita, diseminados de pirita y magnetita.

A escala microscópica, el corte presentó una textura porfídica con fenocristales de calcita, plagioclasa, clorita, y epidoto predominante, venillas de carbonato, diseminados de pirita y magnetita, goethita/hematita predominantes, diseminados de manera uniforme.

En esta zona, la alteración (M10) fue definida como propilítica externa, que graduó desde una alteración prógrada interna, un vector guía importante hacia intrusiones de pórfido.

De igual manera, se reconoció alteración argílica pervasiva sobre roca andesita, con diseminados de pirita, goethita-hematita y venillas tipo A (Anexo - Ficha 11 - Fig. 27).

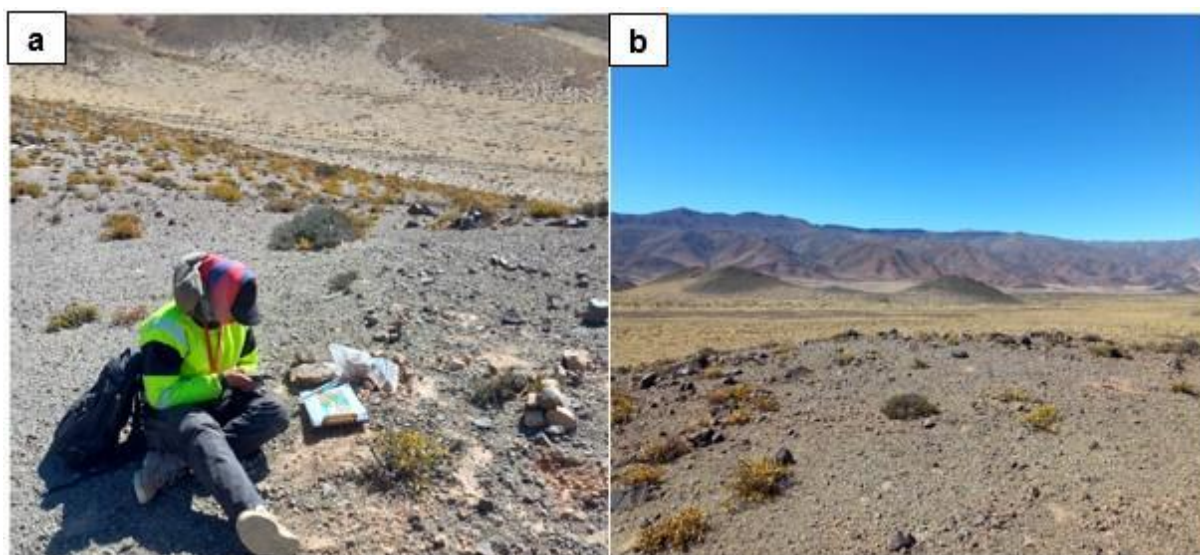


Fig. 27. Sector Los Bayitos. a) Zona E del sector punto de muestreo, muestra 11), b) Zona E con vista hacia el E de Lomas del Medio.

Además, en el mismo sector, se observó roca volcánica de color verde claro, tonalidad rojiza, de grano fino, hipocristalina, estructura maciza, textura afanítica. Incluye cristales de cuarzo incoloro anhedral, carbonato, venillas de cuarzo y diseminados de hematita de color negro.

El análisis de corte delgado presentó textura porfídica, matriz arcillosa y fenocristales de olivino y cuarzo. Se identificaron diseminados de pirita goethita-hematita, venillas de cuarzo y relictos de pirita. La goethita (que antes fue pirita por reemplazo pseudomórfico), aprovechó los límites de los espacios de los granos de cuarzo. Se identificó diseminado 3 % en el volumen total de roca.

La alteración argílica (M11) en etapas posteriores posiblemente pudo sobreimprimirse sobre la alteración fílica anterior según lo observado por zonas en la imagen satelital.

El evento progrado, se evidenció en la muestra 12 (M12), observándose alteración propilítica en la zona S del sector, en roca andesita, de estructura masiva y textura porfídica en escala macroscópica y microscópica, con diseminados de piritas y hematita-goethita y venillas tipo A. Ficha 4 - Fig. 28a.

A escala macroscópica, se observó roca volcánica de color violeta, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, con matriz fina, fenocristales de plagioclasas, cuarzo y máficos con diseminado de pirita, hematita-goethita y stockwork de venillas de cuarzo con pirita.

El análisis del corte delgado exhibió una matriz criptocristalina y fenocristales de plagioclasas alteradas en carbonatos y epidotos, biotita deformada por alteración y anfíboles alterados a apatitos, diseminado de hematita, venillas de cuarzo con goethita como reemplazo de pirita clasificadas tipo A.

El apatito presente en la muestra es un mineral accesorio común y se considera un trazador guía, ya que se determinó por estudios que es sensible a cambios fisicoquímicos producidos durante la interacción con los fluidos hidrotermales, cuya magnitud depende del tipo de alteración y/o tamaño de la intrusión (Acevedo Díaz, 2022).

En zonas de alteración potásica y propilítica, como en este caso, la concentración de apatitos constituye una herramienta efectiva de prospección rápida y eficiente para la búsqueda de este tipo de depósito (Acevedo Díaz, 2022).

La biotita deformada exhibió características ópticas de alteración secundaria que comúnmente reemplaza a minerales ferromagnesianos, siendo parte de la alteración potásica que se extendió lejos de la fuente de intrusión dentro de las rocas de caja permeables formando stockwork y diques/vetas observadas en este sector.

La alteración propilítica externa (M12), es indicio de una zonación mineral de la pared de la roca que se gradúa desde afuera hacia la alteración prógrada interna, común en rocas de caja fuera de un núcleo con alteración potásica.

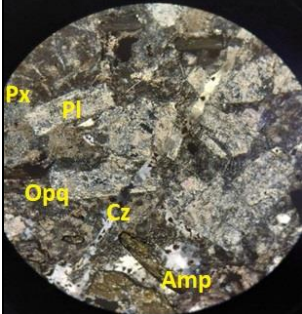
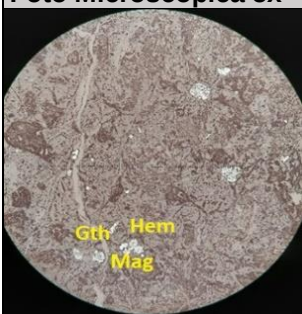
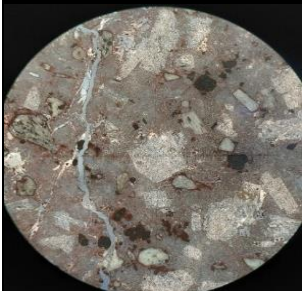
Se consideró a esta muestra (M12) como la más relevante del sector por la mineralización presente con contenido de minerales de interés económico.

Sobre esta zona se intruyeron diques de color gris oscuro, tonalidad pardo oscuro y claro, estructura tabular compuesta por siderita con pequeñas oquedades tapizadas por un material carbonático blanquecino, plagioclasas alteradas y parches de cuarzo. Fig. 28b.

Presentan limonitas blandas que se distribuyen irregularmente sobre la muestra y óxidos de hierro con brillo metálico. Se reconoció magnetita, con pirita (26°53'12.93"S, 66°59'20.23"O).

Los diques de la zona S que intruyeron como juegos conjugados NO-SE y NE-SO, interconectados, conformando un diseño estructural tipo stockwork, respondieron a la acción de un fracturamiento distensivo posterior.

Además, se reconocieron en este sector, diques porfídicos con materiales más rígidos de texturas coherentes que tienden a ser más delgados y verticales.

MUESTRA 12			
Coordenadas:	26°52'7.60"S 66°59'27.91"O	Sector:	Los Bayitos
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca ígnea volcánica de color violeta, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, con estructura masiva, textura porfídica, matriz fina, fenocristales de plagioclasas, cuarzo, máficos, diseminado de pirita y hematita brillo metálico-goethita pardo rojizo opaco y venillas de cuarzo con pirita.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta una textura porfídica, matriz criptocristalina, color pardo amarillento con fenocristales de anfíbol, biotita y plagioclasa alterados. Se observa plagioclasa incolora, subhedral, biotita de color castaño claro, subhedral-anhedral, hábito tabular, con sectores de alto relieve por epidotización y anfíboles prismáticos pardos con oxidación a apatito. Evidencia venillas de carbonato y cuarzo con opacos, como relleno.		
	NC: La matriz muestra colores de interferencia grises oscuros, con desvitrificación por sectores, fenocristales de plagioclasas carbonatizadas de color amarillo y epidotizadas, alto color de interferencia, cuñas por deformación, cuarzo gris, extinción ondulosa por deformación, inclusión de opacos y biotita con deformación de color castaño y pleocroísmo. <u>Abreviaturas:</u> Opq: Opacos (Whitney and Evans, 2010), Pl: Plagioclasa; Cz: Cuarzo; Amp: Anfíbol; Px: Piroxeno (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).		
DESCRIPCIÓN CALCÓGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte exhibe hematita, producto del reemplazo pseudomórfico de pirita 18 micrones y venillas de cuarzo con goethita (antes pirita). La goethita es de color gris azulado, forma euhedral, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. La hematita muestra textura martita, de color blanco grisáceo, pulido bueno, reflectividad alta y pleocroísmo débil. <u>Abreviaturas:</u> Gth: Goethita, Hem: Hematita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).		
	NC: La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris y reflejos internos marrón rojizo. La hematita evidencia anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo.		

Ficha 4. Descripción petrográfica y calcográfica de la muestra 12.

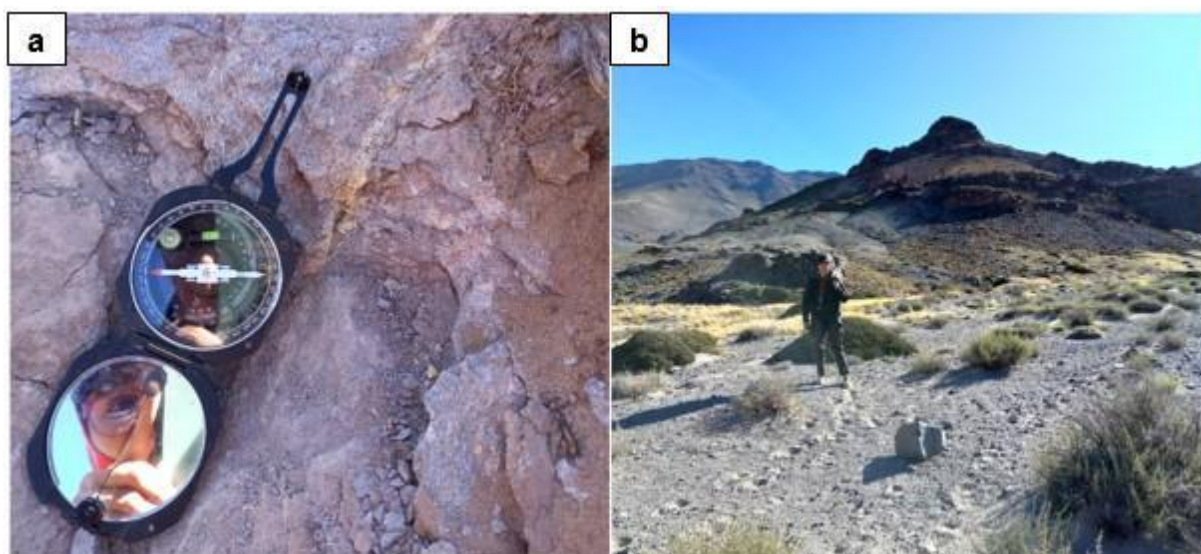


Fig. 28 Sector Los Bayitos. a) Zona S del sector, (punto de muestreo, muestra 12). b) Estructuras Vetiformes del sector (punto de muestreo, muestra 12).

Asociado a estos procesos de hidrotermalismo, se depositó la mineralización en forma de vetas, representada por la asociación pirita, parches de cuarzo, plagioclasa alteradas, calcita, siderita y óxidos de hierro.

La mineralogía de mena - ganga y de alteración hidrotermal definen un sistema epitermal de sulfuración baja a intermedia, derivado de la fuente magmática en profundidad. Cortan intrusiones de pórfido mineralizado y se extienden distancias considerables dentro de las rocas de la pared, por lo que los exploradores las utilizan como vectores para la búsqueda de mineralización.

El sector está integrado además de las vetas, por un denso entramado de venillas tipo A que las interconectan, conformando una zona de stockwork mineralizado. Estas estructuras se extienden hacia la periferia de los cuerpos, con mineralización progresivamente decreciente en abundancia y potencia.

Las venillas A y D que se detectaron localmente en las alteraciones propilítica (M9-M10) y argílicas (M11-M12); representa una alteración generalizada progradada de enfriamiento y mineralización, así como la sobreimpresión colapsante, tras una alteración progradada anterior.

Las venillas tipo A (M9-M12) identificadas en superficie, funciona como vector guía del inicio de la formación de un pórfido, indicando que los fluidos mineralizados alcanzaron temperaturas significativas y que intervinieron en cantidades importantes. En este caso, la pirita, indicaría las cercanías del depósito, definiendo un evento progrado.

A su vez, las venillas D (M10-M11) que se observaron, derivaron de una fuente magmática en profundidad, cortaron intrusiones de pórfido mineralizado y se extendieron distancias considerables dentro de las rocas de la pared, por lo que se reconocieron como vectores para la mineralización.

Las zonas con hematita y goethita, de colores castaños a marrones oscuros que son interpretadas como indicadoras de alta relación sulfuros Cu/sulfuros Fe y las zonas con hematita de color rojo carmesí, se vincularon con áreas con enriquecimiento supergénico (Cecenarro et al., 2014), dando la posible presencia de magnetita en profundidad (Barton &

Johnson, 2004), o una transición de hematita a magnetita en profundidad (Richards & Mumin, 2013).

La mineralización presente en venillas, junto con los diseminados, se relacionó con depósitos de pórfido ricos en oro, asociados a una paragénesis de mena compuesta por pirita, calcopirita y bornita. Este sector en profundidad presenta indicios de contener una raíz potásica conformando un sistema porfídico.

Además, la alteración fílica de la zona O y N, evidenciada a través de su respuesta espectral, por correlación, podría presentar la misma mineralización de otros sectores al compartir la misma época y ciclo volcánico.

Como resultado, el sector Los Bayitos presentó una clasificación muy favorable en cuanto a litología, estructuras y alteración hidrotermal con una puntuación de 10, lo que permitió definir y demostrar su potencial geológico. Tablas 33 - 34 -35. Fig. 29.

Guía Prospectiva: Litología III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Los Bayitos	Muy Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina-calcoalcalina-shoshonítica, textura porfídica; brechas; basamento metamórfico.	10

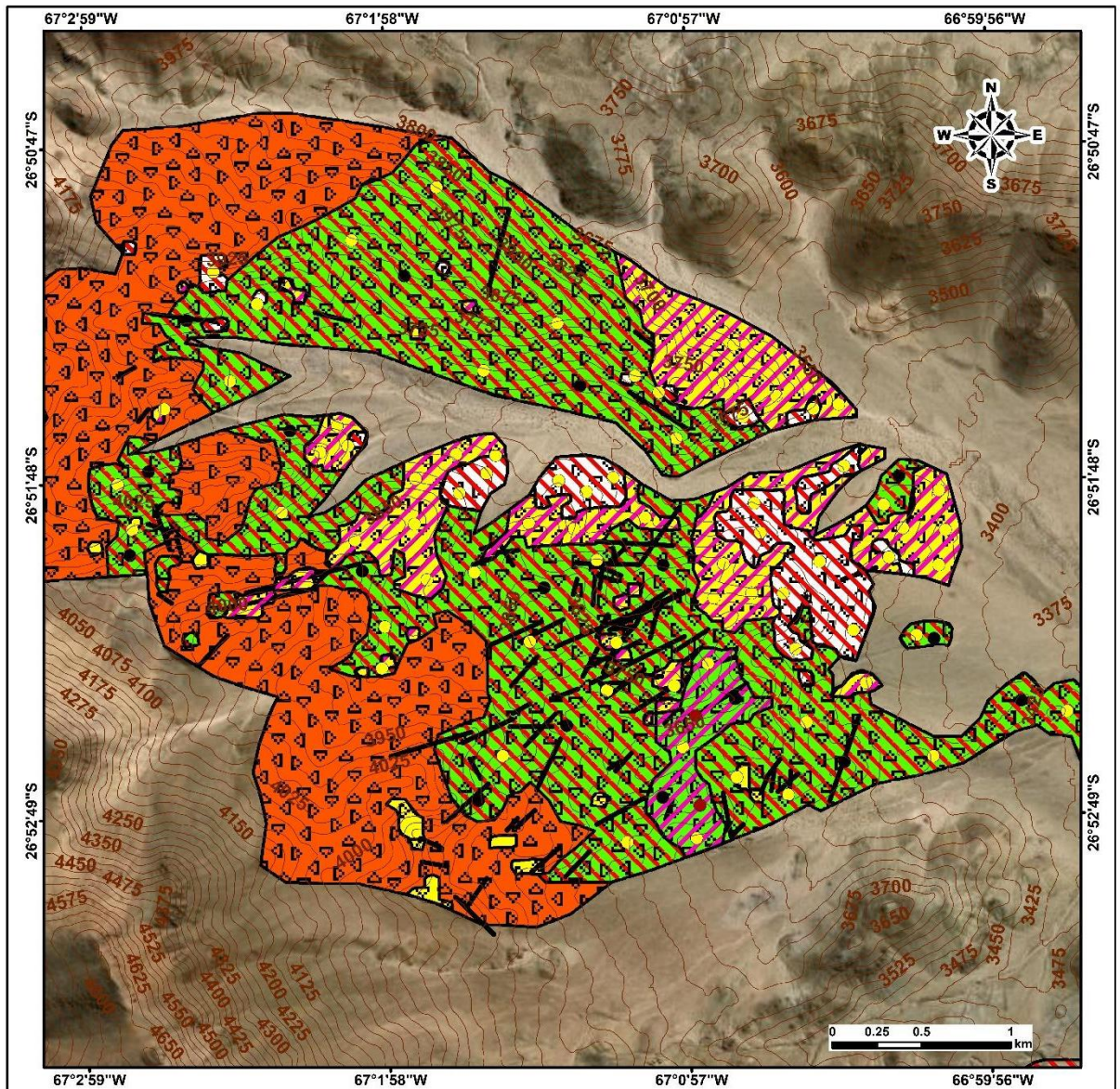
Tabla 33. Clasificación de la guía prospectiva de Litología de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Los Bayitos del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Los Bayitos	Muy Favorable	Todas las alteraciones presentes: potásica, calco-sódica, fílica, argílica, propilítica y silicificación con paragénesis o mineralización de interés económico (Cu, Au, Mo) en diseminados y en tipos de venillas	10

Tabla 34. Clasificación de la guía prospectiva Alteraciones Hidrotermales de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Los Bayitos del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Estructuras III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Los Bayitos	Muy Favorable	Estructuras tectónicas expansivas; fallas y diques syn-genéticos; stockwork, cruce de estructuras; venilleo mineralizados	10

Tabla 35. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Los Bayitos del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.



Sector Cerro Los Bayitos
Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Departamento Belén, Provincia de Catamarca

REFERENCIAS

LITOLOGÍA

Andesita

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Argilica Avanzada
 Argilica
 Propilítica
 Filica

MINERALIZACIÓN

Diseminado

Pirita
 Hematita
 Goethita
 Magnetita

Venilla

Tipo A
 Tipo D

ESTRUCTURA

Falla Supuesta
 Dique
 Stockwork

UNCA-FTCA
Licenciatura en Geología
Trabajo Final: Prospección Geológica-Minera en el
Complejo Volcánico Vicuña Pampa
Dpto. Belén, Prov. de Catamarca
Alumna: Gimena Beatriz Agüero

Fig. 29. Mapa del Sector Los Bayitos del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:30.000).

V.3.d. Sector Cerro Bayo

Este sector está constituido por rocas andesíticas, dacíticas y brechas, con diferentes tipos y grados de alteración, mineralización hipógena y supergena. Se recolectaron 7 muestras de rocas de manera estratégica: tres de ellas (M13, M14, M15) en la zona N, tres de ellas (M16, M17, M18) en la zona E, y una fue (M19) tomada al S.

En la zona N, la impregnación de óxidos de hierro generó una respuesta espectral de color rojo observándose una agrupación de diques de distinta naturaleza con alteración filica - argílica y una respuesta espectral azul, debido a la abundancia de sulfuros, óxidos de hierro y venillas. La alteración propilítica, sobre el sector N y E presentó una respuesta espectral de color verde, y la argílica, tonalidades de color amarillo.

En las zonas S y O, las brechas alteradas que componen Cerro Bayo Brecha, presentaron como respuesta espectral color amarillo con tonalidad naranja más intensa, en tanto la alteración potásica, manifestó una respuesta espectral de color magenta.

La muestra 13 (M13), pertenece a una dacita con estructura fluidal y textura porfídica, identificada tanto a escala macroscópica como microscópica. Presenta una fuerte impregnación de óxidos de hierro, diseminado de magnetita- hematita, y venillas tipo D (Anexo - Ficha 13 – Fig. 30a).

A escala macroscópica, se observó una roca volcánica de color rosado, de grano fino, hipocristalina, fanerítica, matriz fina y fenocristales de tablillas feldespato, cuarzo y máficos, fuerte impregnación de óxidos de hierro, diseminados de color gris, brillo metálico y vetilleo de óxidos de hierro.

El análisis en corte delgado presentó una matriz pilotáxica o traquítica compuesta por microlitos de plagioclasas con tablillas alineadas, con fenocristales de sanidina, cuarzo y máficos oxidados con impregnación de hierro, diseminados de magnetita - hematita y venillas de óxidos de hierro.

La muestra 14 (M14), que se recolectó sobre la Qda La Carpa, corresponde a una andesita con estructura fluidal y textura porfídica, observada tanto a escala macroscópica como microscópica. Evidencia alteración propilítica, diseminados de pirita y goethita-magnetita (Anexo - Ficha 14 - Fig. 30b).

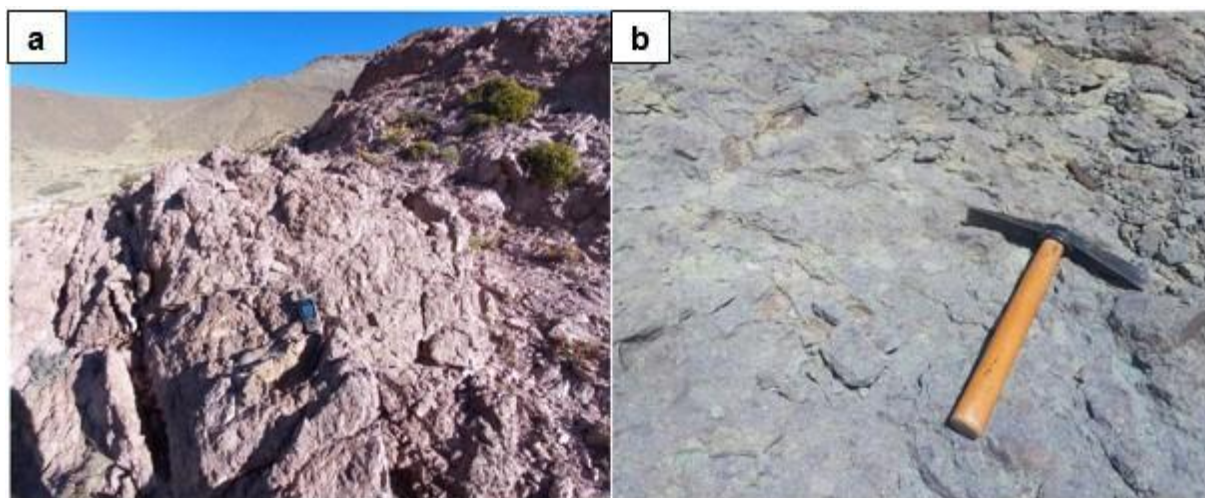


Fig. 30. Sector Cerro Bayo con Raíces, a) Roca dacita, zona N del sector (punto de muestreo, muestra 13), b) Roca andesita, zona N del sector, sobre Quebrada La Carpa (punto de muestreo, muestra 14)

Se observó, a escala macroscópica, una roca volcánica de color verde claro, de grano fino, hipocristalina, fanerítica, matriz fina y fenocristales de plagioclasas, cuarzo y máficos, carbonato y disseminados de pirita y magnetita.

El análisis en corte delgado presentó una matriz criptocristalina con fenocristales de plagioclasas, olivinos, anfíboles y piroxenos, disseminados de pirita 1% y magnetita-goethita 3%, opacos 4%.

Sobre una roca con alteración propilitica y un diseño estructural tipo stockwork, se intruyeron diques de distinta naturaleza, uno carbonático (dique 1= D1) que corresponde al mismo stockwork, otro dacítico (dique 2= D2), y otro carbonático con otras características (dique 3=D3).

El dique 1 (D1), corresponde a la muestra 15 (M15), se clasificó como roca volcánica con alteración argílica avanzada pervasiva, sin lograr definir el tipo de roca, debido a su grado de alteración. Posee estructura tabular, textura bandeada y rompecabezas sobreimpuesto, observada tanto a escala macroscópica como microscópica, con venillas tipo A (Anexo - Ficha 15 – Fig. 31).

El dique presentó una orientación R: N270° I:70° DI: N, color naranja-castaño, con drusas, bandeamiento de cuarzo, calcita y siderita, disseminados de hematita, venillas de cuarzo –óxidos de hierro de color marrón y venillas de sulfuros que cortan el bandeamiento.

El corte evidenció textura bandeada, desarrollo de cocarda con calcita, siderita y de cuarzo. Además, presenta sobreimpuesta, textura de rompecabezas, stockwork con venillas de cuarzo - hematita - especularita como reemplazo de piritas y venillas tipo A que cortan el bandeamiento. En la zona N del sector, existen áreas con óxidos de hierro derivados de la alteración de la siderita.



Fig. 31. Sector Cerro Bayo con Raíces, sobre Quebrada La Carpa a) Dique 1 (punto de muestreo, muestra 15), b) Zona de Stockwork (punto de muestreo, muestra 15).

El dique 2 (D2) se definió como dacita con alteración fílica, de color gris oscuro, textura afanítica, con cristales de cuarzo, biotita y máficos. Presentó los siguientes datos estructurales: R:310° I: 56° DI: NO (Fig. 32 - Fig. 33). Se observaron parches de sericita sobre

cuarzo lechoso, forma anhedral, carbonato blanco, calcita y siderita (reacciona con HCl) invadiendo la matriz con carbonato, óxidos de hierro, venillas de cuarzo, sulfuros, brillo metálico, venillas tipo A, diseminados de molibdenita en escamas y sulfuros de cobre, pirita, calcopirita.

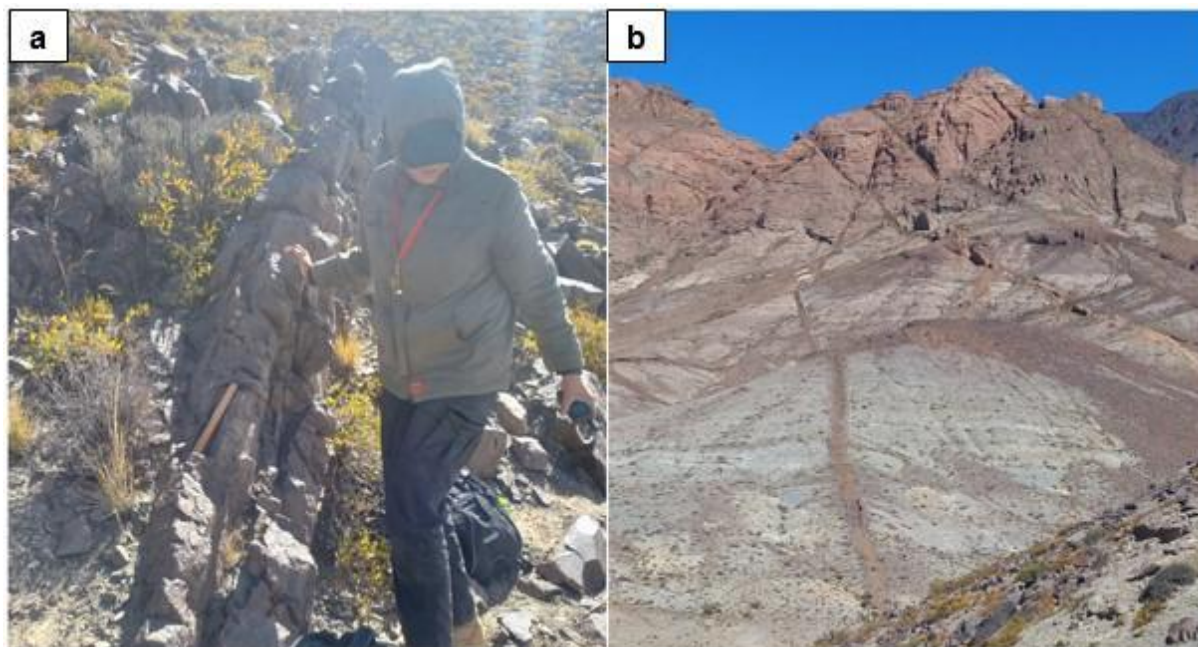


Fig. 32. Sector Cerro Bayo, sobre Quebrada La Carpa a) Dique 2, b) Zona N del sector con stockwork.

Con la lupa binocular, la molibdenita evidenció color gris azulado plateado, brillo metálico, raya gris, hábito de cristales tabulares hexagonales, masas foliadas, escamas, granos diseminados y fractura irregular. La pirita exhibió un color amarillo latón pálido, brillo metálico, hábito masivo con aristas cubicas y raya negra. Por su parte, la calcopirita mostro un color amarillo latón vivo e iridiscente, con brillo metálico y hábito masivo. Fig. 33.

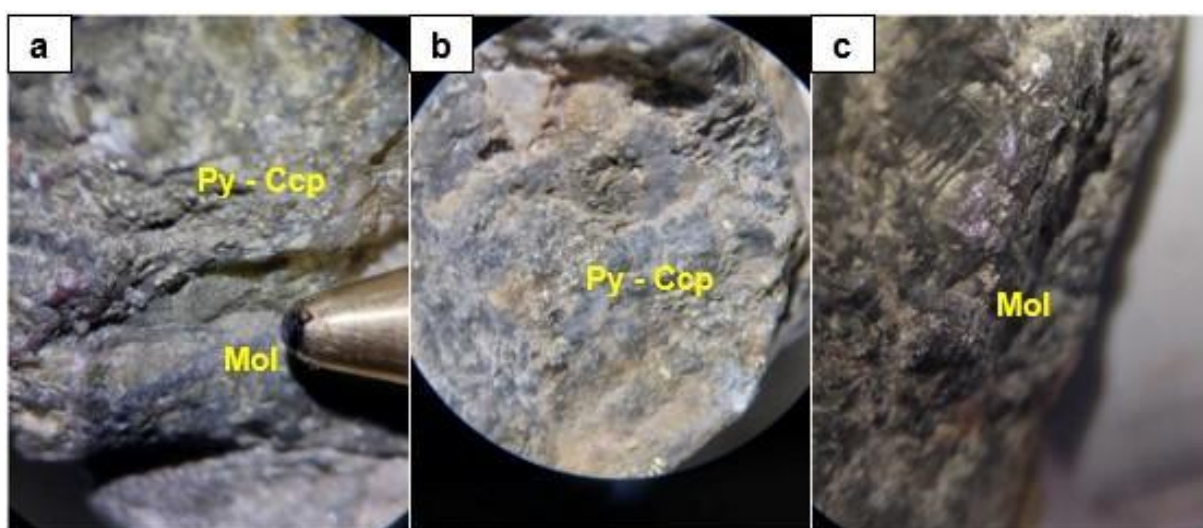


Fig. 33. Fotos D2 a) b) c) Fotos de observación con Lupa Binocular de Molibdenita (Mo), pirita (Py), calcopirita (Ccp) (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).

El dique 3 (D3) de la zona NE, sobre rocas definidas como andesitas con alteración propilítica ($26^{\circ}53'12.93''S$, $66^{\circ}59'20.23''O$) presento color gris pardo oscuro, con estructura tabular y textura porfídica fina.

Se observaron pequeñas oquedades tapizadas por un material carbonático blanquecino y siderita; junto con plagioclasas alteradas, hábito tabular; parches de cuarzo, matriz afanítica, diseminados de sulfuros de cobre pirita-calcopirita y especularita, venillas de cuarzo y venillas de yeso truncadas irregulares en algunos sectores.

La muestra 16, pertenece a dacita con alteración argílica, con diseminados de hematita y relictos de stockwork (Anexo - Ficha 16).

Se trata de una roca volcánica de color gris, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, estructura maciza, textura porfídica, matriz fina y fenocristales de cuarzo, biotita euhedral y máficos, diseminados de óxidos de hierro, hematita- magnetita color gris con brillo metálico.

El análisis de corte delgado presentó una textura porfídica, con matriz de caolín incolora anhedral de granos pequeños, roca muy oxidada, fenocristales de hornblenda bordes muy oxidados, biotita, cuarzo, epidota y titanita-leucoceno como mineral de alteración. Presenta venillas sin material de relleno que evidencian relictos de stockwork.

La muestra 17 (M17), pertenece a una brecha volcanoclástica alterada con carbonización y sericitización más marcada, diseminados de magnetita y goethita-hematita, venillas tipo A y venillas de carbonato (Anexo - Ficha 17 - Fig. 34a).

A escala macroscópica, se observó una roca volcánica de color verde-gris, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, estructura maciza, textura brechosa, diseminados de magnetitas, venillas de cuarzo y óxidos de hierro, pardo amarillento opaco.

El análisis en corte delgado evidenció una textura rompecabeza y un stockwork de venillas de cuarzo deformado, con bordes muy corroídos. También se identificaron venillas de carbonato cortando a las de cuarzo, cementadas principalmente por cuarzo, carbonato y sericita fina, además de anfíboles epidotizados y muscovita.

Los diseminados de magnetita y goethita-hematita por reemplazo, representan el 3% volumen total de roca, con stockwork de venillas de cuarzo, hematita como reemplazo de pirita denominadas tipo A, cortadas por venillas de carbonatos junto con los parches de carbonato.

Sobre esta zona se intruyó un dique (D4) del cual se extrajo la muestra 18 (M 18), de naturaleza andesítica con alteración argílica intensa y diseminados de goethita (Anexo - Ficha 18 – Fig. 34b).

Además, afloran otros diques volcánicos de color verde amarillo, tonalidad rojiza por óxidos de hierro, hipocristalina, estructura maciza, textura porfídica, matriz fina arcillas y fenocristales de plagioclasas, biotitas y anfíboles, con pátinas de carbonatos.

El corte presentó una textura porfídica, matriz pilotáctica tablillas de plagioclasa alteradas con matriz caolínica fenocristales de plagioclasas, biotita, anfíboles, diseminado de goethita +1% diseminado total de roca goethita, por reemplazo pseudomorfo de pirita.

La muestra 19 (M19), pertenece a brecha volcanoclástica alterada con carbonización y sericitización más marcada, estructura maciza, textura brechosa y diseminados goethita-hematita y magnetita.

Sobre el centro y SE del Cerro Bayo Brecha, se observó una roca volcánica de color gris, tonalidad verde turquesa por rellenos de crisocola, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, compuesta por litoblastos y cristaloblastos. matriz fina diseminados hematita-magnetita de color negro y brillo metálico.

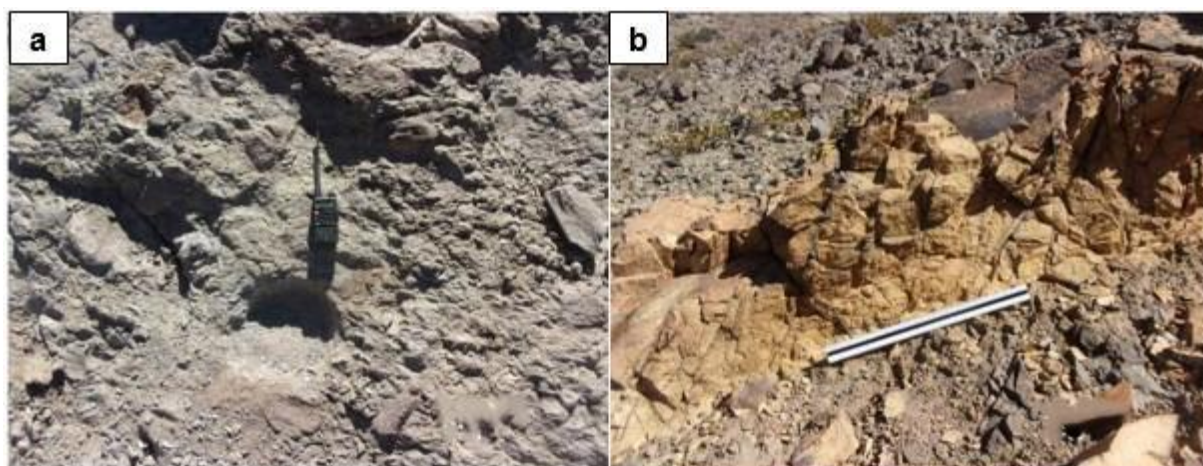


Fig. 34. Sector Cerro Bayo. a) Brecha volcanoclástica (punto de muestreo, muestra 17), b) Dique 4 (punto de muestreo, muestra 18)

El corte presentó una textura brechosa, matriz cinerítica vítrea, triza volcánica (ygriega) de toba caída de ceniza, con litoclastos de toba cristalina, andesita y cristaloblastos de plagioclas y anfíboles, con calcedonia desarrollada sobre matriz, siendo posterior.

Esta muestra se consideró como una de las más relevantes del sector por el contenido de minerales de interés económico. Ficha 5 - Fig. 35.

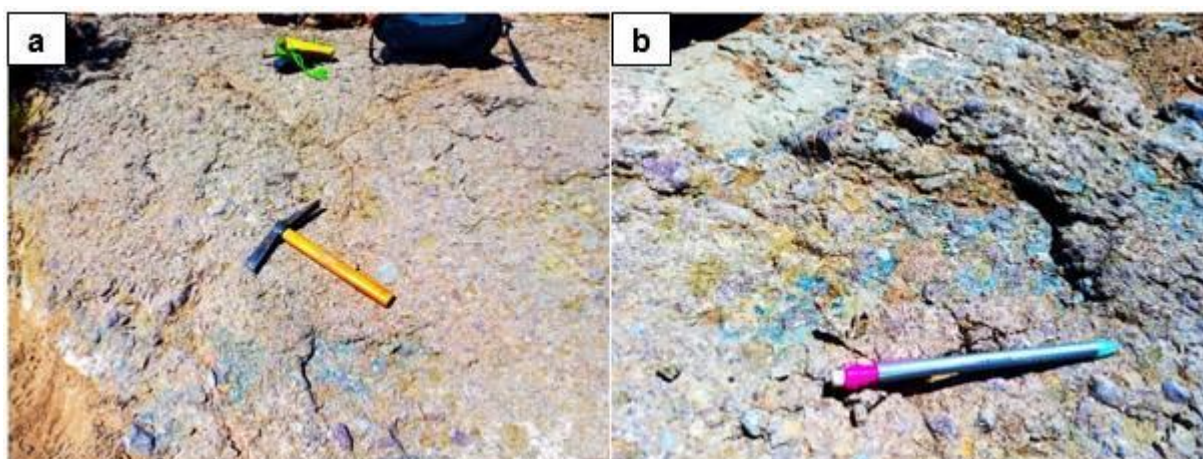
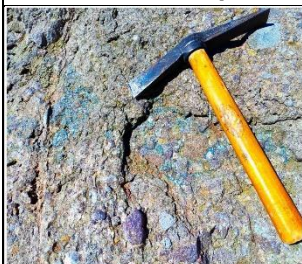
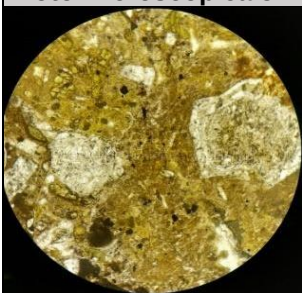
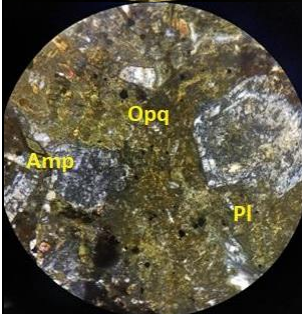
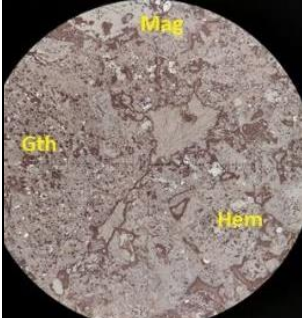
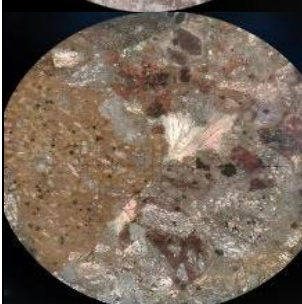


Fig. 35. Sector Cerro Bayo con Raíces. a) y b) Brechas con mineralización crisocola (punto de muestreo, muestra 19).

Al SE del sector, sobre una zona de falla supuesta, aflora ($26^{\circ}53'58.93''\text{S}$ $66^{\circ}58'54.52''\text{O}$) un cuerpo granítico (MGr) con abundante carbonato blanco que reacciona fuerte con HCl, compuesto principalmente de feldespato y venillas de cuarzo.

Se observaron magnetitas, venillas de cuarzo con malaquita con diques compuestos por feldespato, turmalina y cuarzo ($26^{\circ}53'51.73''\text{S}$ - $66^{\circ}58'46.44''\text{O}$). Fig. 36.

Sobre las quebradas La Carpa y La Cortaderita se encuentra una gran cantidad de óxidos de hierro y arcillas relacionados a zonas de fallas donde podrían haber actuado para la formación de depósitos.

MUESTRA 19			
Coordenadas:		26°54'9.11"S 66°59'29.20"O	Sector : Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRAFICA			
Foto de Campo	Foto de muestra de mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color gris, tonalidad verde turquesa por rellenos de crisocola, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, estructura maciza, textura brechosa, litoblastos y cristaloblastos, matriz fina y diseminados hematita- magnetita de color negro y brillo metálico.	
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta una matriz cinerítica vítrea de color amarillo con triza volcánica y griega de toba caída de ceniza, con litoclastos de toba cristalina y andesita, con cristaloblastos de plagioclasa incolora, habito tabular, forma subhedral y anfíboles de color castaño, formas anhedrales y habito prismático largo. La calcedonia con textura de relleno es posterior; no se forma con la brecha entre los litoclastos que crece sobre la matriz.		
	NC: La matriz presenta colores de interferencia pardo amarillento, con microcristales. La plagioclasa se encuentra carbonatizada, color de interferencia amarillo. Los anfíboles evidencian pleocroísmo, coloraciones pardo-oscuras, sin llegar a desarrollar clivaje		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney and Evans, 2010), Amp: Anfíboles ; Pl: Plagioclasa (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021).			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta diseminados de goethita-hematita y magnetita reemplazando a pirita. La hematita manifiesta color blanco grisáceo azulado, de relleno en venillas, con pulido bueno, reflectividad alta y con pleocroísmo débil. La goethita es de color gris azulado, forma anhedral diseminado y como relleno de venilla, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. La magnetita de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, textura martita, sin pleocroísmo, y reflectividad baja		
Abreviaturas: Gth: Goethita, Hem: Hematita, Mag: Magnetita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021).			
	NC: La hematita muestra anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La goethita evidencia anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La magnetita sin anisotropía, no exhibe reflejos internos. La hematita se presenta por reemplazo pseudomórfico orientado por parting [III] de magnetita y la goethita por reemplazo pseudomórfico de magnetita.		

Ficha 5. Descripción petrográfica y calcográfica de la muestra 19.

Considerando las guías prospectivas en el sector Cerro Bayo se distinguieron dos eventos principales de alteración bien marcados, el primero progrado con emplazamiento, alteración y mineralización y el otro, retrógrado.

El evento progrado, se representó con el desarrollo de una zona potásica (MGr), penetrativa y con venillas tipo A, caracterizada por una asociación de feldespato potásico-biotita, con cuarzo subordinado, mineralización supérgena, alteración propilítica (M14) y la presencia de venillas tipo A (M15 - D2 - M17) observadas en superficie indicando que los fluidos alcanzaron temperaturas significativas interviniendo en cantidades importantes.

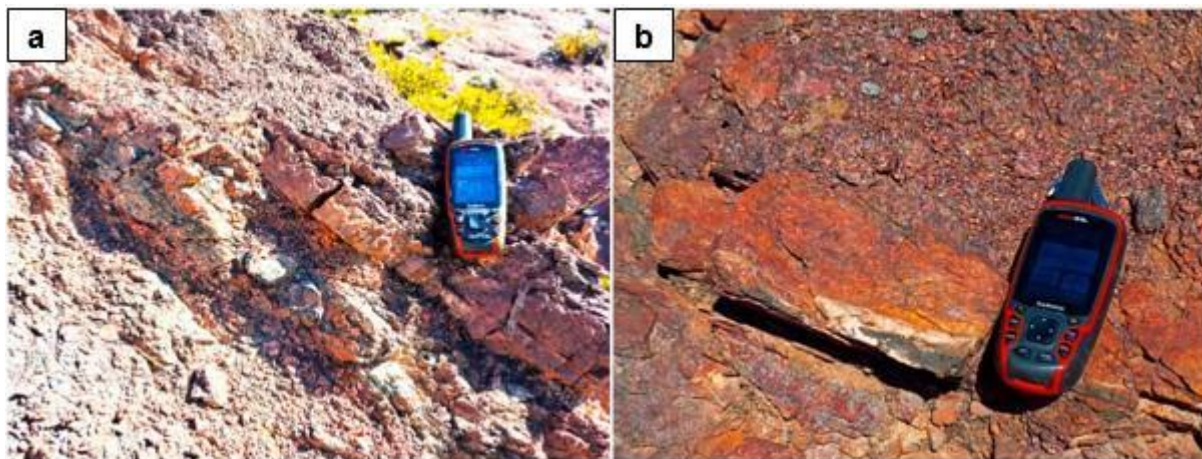


Fig. 36. Sector Cerro Bayo. a) y b) Sector Cerro Bayo con alteración potásica con venilla tipo A (punto de muestreo 26°53'58.93"S 66°58'54.52").

Conforma un sistema potásico - propilítico, representando el inicio de la mineralización de un pórfido reflejado comúnmente por el desarrollo de estas venillas.

El evento retrógrado, en los niveles más superficiales, se distinguió por zonas y diques con alteración argílica (M16-M18).

Como vector de mineralización se identificaron venillas tipo D (M13), que se extendieron a distancias considerables dentro de las rocas de la pared, derivadas de la fuente magmática y que en profundidad este tipo de venillas cortan intrusiones de pórfido mineralizado.

Además, se localizaron brechas con mineralización supérgena (M19).

De gran importancia fueron los procesos de oxidación y enriquecimiento secundario que se identificaron por la presencia de malaquita y crisocola que aparecen como minerales de alteración de otros que contienen cobre, en zonas de oxidación.

Como indicador mineralógico importante se encontró, titanita magmática (M16) considerada precursora del rutilo (TiO_2) hidrotermal en yacimientos de tipo pórfido Cu – Mo, en el cual la mineralización hipógena se distribuye principalmente dentro de stock de venas densas y una variedad de brechas magmáticas - hidrotermales (Camus, 1975; Cuadra, 1986; Skewes et al., 2002).

La alteración supergénica de los sistemas de sulfuros dieron como resultado productos que permitieron una interpretación sobre la mineralogía original del sector en profundidad.

La crisocola (M 19) es un mineral de alteración hidrotermal de baja temperatura en ambientes oxidantes o en zonas de oxidación sobre posibles acumulaciones de minerales de cobre primarios como la calcopirita, o la bornita.

La malaquita verde (MGr) un indicativo de un sistema supergénico y de oxidación afecta a minerales de cobre como la bornita y la calcopirita, además se considera una mena importante de cobre.

Las hematita y goethita de colores castaños a marrones oscuros son indicadores de una alta relación sulfuros de cobre/sulfuros de hierro y se vinculan con áreas de enriquecimiento supergénico secundario (Cecenarro et al., 2014) indicarían la posible presencia de magnetita en profundidad (Barton & Johnson, 2004), o la probable transición de hematita a magnetita en profundidad (Richards & Mumin, 2013).

Este sector se diferenció de los otros, por la presencia del Mo (D 1), con la paragénesis mineral compuesta de pirita-calcopirita y molibdenita que corresponde a la de los depósitos tipo pórfido cuprífero Cu-Mo (D1).

Se observaron diques mineralizados (D1-D2-D3-D4) que intruyeron con tres juegos conjugados N-S, NO-SE y NE-SO, interconectados conformando un diseño estructural tipo stockwork y en otras zonas de manera paralela. Respondieron a la acción de un fracturamiento distensivo posterior.

Se reconocieron diques dacíticos y andesíticos (D2-D4) porfídicos con materiales más rígidos de texturas coherentes y carbonáticos (D1), doble textura bandeada y brechada, delgados y verticales.

Asociado a estos procesos de hidrotermalismo, se depositó la mineralización representada por la asociación de pirita, parches de cuarzo, plagioclasa alteradas, calcita, siderita, y óxidos de hierro (D1-D3).

La mineralogía de mena - ganga y de alteración hidrotermal definen un sistema epitermal de sulfuración baja-intermedia derivadas de la fuente magmática en profundidad, cortan intrusiones de pórfido mineralizado que se extienden a distancias considerables dentro de las rocas de la pared, por lo que los exploradores las utilizan como vectores para la búsqueda de mineralización.

El sector está integrado además de diques, por un denso entramado de venillas que se interconectan, conformando una zona de stockwork mineralizado con venas. Estas estructuras se replican hacia la periferia de los cuerpos, con mineralización progresivamente decreciente en abundancia y potencia a mayores distancias de las vetas principalmente.

La mineralización presente en venillas junto con los diseminados se relacionó con depósitos de pórfido Cu-Mo a la que se asoció una paragénesis de mena compuesta por pirita, calcopirita y bornita.

Por último, como resultado el sector Cerro Bayo presentó una clasificación muy favorable de litología, estructuras y alteración hidrotermal con una puntuación 10, que lograron definir y demostrar la favorabilidad del sector. Tablas 36 - 37- 38. Fig. 37.

Guía Prospectiva: Litología III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Cerro Bayo	Muy Favorable	Roca ígnea portadora de mineralización, serie alcalina - calcoalcalina, textura porfídica; brechas ; basamento metamórfico o rígido	10

Tabla 36. Clasificación de la guía prospectiva de Litología de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Cerro Bayo del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

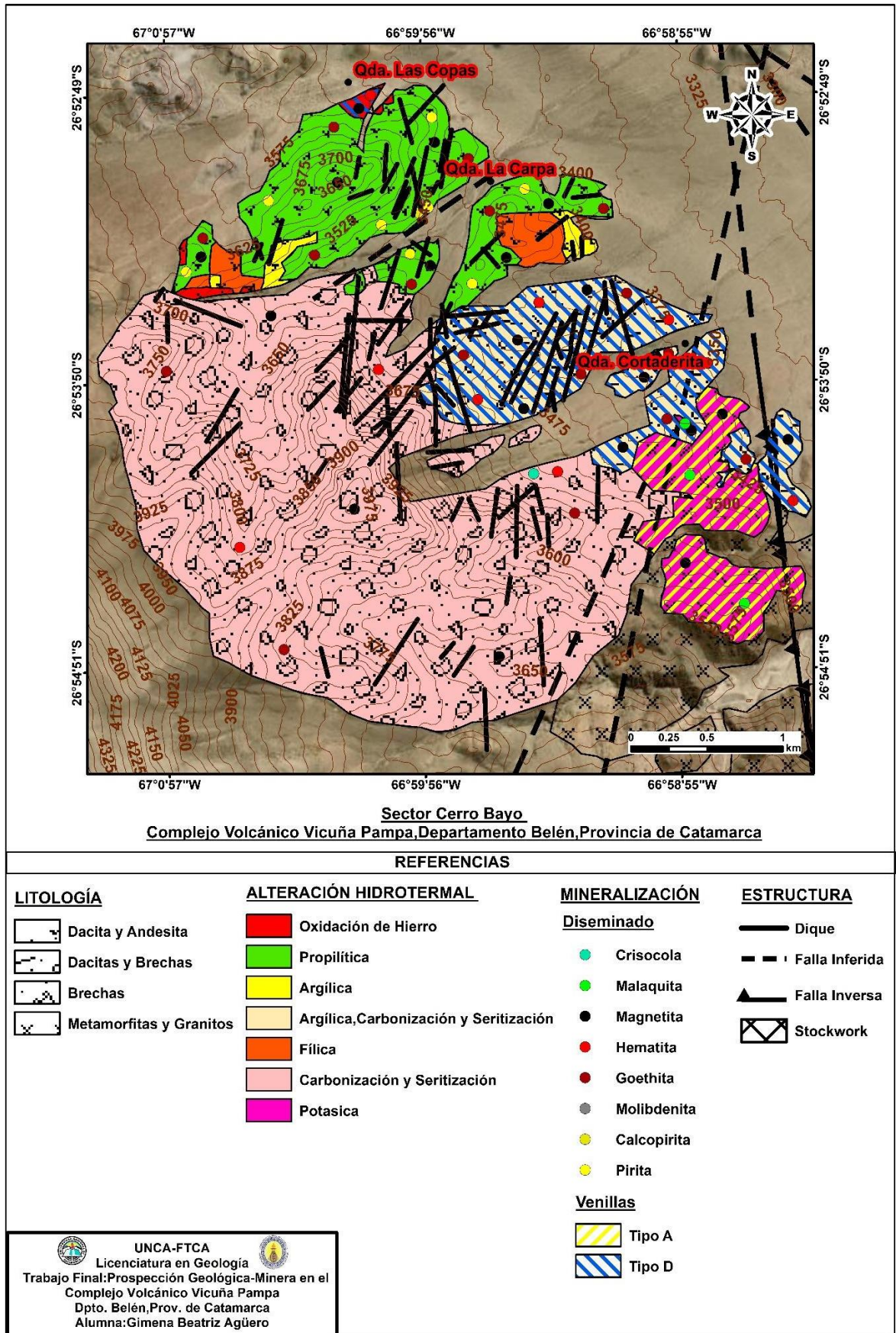


Fig. 37. Mapa del Sector Cerro Bayo del Complejo Volcánico Vicuña Pampa (escala 1:30.000).

Guía Prospectiva: Alteraciones Hidrotermales III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Cerro Bayo	Muy Favorable	Todas las alteraciones presentes potásica, calco-sódica, fílica, argílica, propilítica y silificación con paragénesis o mineralización económica de elementos principales (Cu, Au, Mo) en diseminados y en tipos de venillas	10

Tabla 37. Clasificación de la guía prospectiva Alteraciones Hidrotermales de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Cerro Bayo del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

Guía Prospectiva: Estructuras III					
Etapas	Escala	Sector	Clasificación	Descripción	Puntuación
Etapas III	1:30.000	Cerro Bayo	Muy Favorable	Estructuras tectónicas expansivas; fallas y diques singenéticos; stockwork, cruce de estructuras; venilleo mineralizados	10

Tabla 38. Clasificación de la guía prospectiva Estructuras de la Etapa III de acuerdo a su favorabilidad en el Sector Cerro Bayo del Complejo Volcánico Vicuña Pampa.

V.3.e. Evaluación Etapa III

Las áreas que se evaluaron en esta etapa presentaron una puntuación muy favorable clasificadas con alto potencial, con controles geológicos favorables para la formación de depósitos minerales por el que se prospecta.

El área seleccionada presenta la siguiente clasificación de guías y del área. Tabla 39:

Etapas	Escala	Área Seleccionada	Guías Prospectivas	Clasificación	Puntuación
Etapas III	1:30.000 - 1.10.000	Sectores: 1.Cerro La Lunareja 2.Lomas del Medio 3.Sector Los Bayitos 4.Sector Cerro Bayo	Litología	Muy Favorable	10
			Alteraciones Hidrotermales	Muy Favorable	10
			Estructuras	Muy Favorable	10
Resultado de Clasificación y Puntuación de Guías				Muy Favorable	30
Resultado en Porcentaje de Favorabilidad del Área				100%	
Resultado de Clasificación del Área				Alto Potencial	

Tabla 39. Resultado final de clasificación y puntuación de las guías prospectivas, con resultado del porcentaje y clasificación del área de acuerdo al potencial geológico-minero de las Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa en etapa II.

La evaluación final de las tres etapas en el área seleccionada, dio como resultado la clasificación muy favorable con un 100 % de favorabilidad con alto potencial. Tabla 40:



Etapa	Escala	Área Seleccionada	Clasificación	Puntuación
Etapa I	1:7.000.000 - 1:150.000	Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Muy Favorable	40
Etapa II	1:150.000 - 1:50.000	Raíces del Complejo Volcánico Vicuña Pampa	Muy Favorable	50
Etapa III	1:30.000 - 1:10.000	Sectores: 1.Cerro La Lunareja 2.Lomas del Medio 3. Sector Los Bayitos 4.Sector Cerro Bayo	Muy Favorable	30
Resultado Final de Clasificación y Puntuación de Guías			Muy Favorable	120
Resultado Final en porcentaje de Favorabilidad del Área			100%	
Resultado de Clasificación del Área			Muy Alto Potencial	

Tabla 40. Puntuación total y clasificación final del potencial geológico-minero del Complejo Volcánico Vicuña Pampa en etapa I, etapa II y etapa III.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

VI.1. Conclusiones

Se ha seleccionado el Complejo Volcánico Vicuña Pampa como área con potencial geológico-minero en el presente trabajo, debido a que está sujeto a una confluencia de varios factores favorables para alojar mineralización. Entre ellos se destaca un importante fallamiento en la parte central, la presencia de cuerpos raíces volcánicos con las típicas alteraciones hidrotermales que caracterizan a un yacimiento tipo pórfidos cupríferos, dispuestos en un arreglo concéntrico, enmarcado por rocas de composición alcalina - calcoalcalina, y presenta una variedad de texturas porfídica, equigranular y brechosas, con la intrusión de una serie de diques principalmente traquiandesitas.

Presenta una mineralización de Cu-Au y Cu-Mo en superficie, un magma fértil en términos de mineralización de origen hipógena y supergena, lo que han afectado a las áreas de alteración hidrotermal, con variables características texturales, mineralógicas, tipos de venillas, brechas, estructuras stockwork y diques mineralizados, texturas coherentes o brechadas o mezclas de ambas.

La localización y reconocimiento del área, mediante la ampliación de escala y la aplicación de guías prospectivas, posibilitaron identificar rasgos clave en el área de interés, que justifiquen estudios posteriores de mayor precisión y el avance hacia a la etapa de exploración.

Se determinó que el área posee indicadores genéticos de depósitos tipo pórfido cupríferos, que fueron validados en cada etapa y a distintas escalas mediante la metodología utilizada. En consecuencia, el área se define como prospecto minero con alto potencial geológico minero, con 100 % de favorabilidad.

El presente trabajo final comprueba y evidencia el potencial geológico minero del Complejo Volcánico Vicuña Pampa en esta etapa de prospección minera, concluyendo que la exploración es viable técnicamente.

VI.2. Recomendaciones

- Se recomienda continuar el estudio en el área, dado el potencial demostrado como prospecto minero.
- Para definir y conocer con mayor precisión su verdadero potencial, se sugiere proseguir con el mapeo a mayor detalle, estudios geofísicos y análisis químicos locales, los cuales permitirán obtener información más concreta. Estos procesos deberán realizarse mediante campañas exploratorias.



BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza, F. G., & Toselli, A. J. (1981). *Geología del Noroeste Argentino*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales.
- Acevedo Díaz, M. A. (2022). Apatitos de Origen Detríticos provenientes de los Sedimentos de los Sedimentos Adyacentes al Pórfido Cerro Colorado como un indicador de la presencia de Depósito de Pórfido Cuprífero. (*Tesis de Geólogo*). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago de Chile.
- Alonso, R. N. (1992). Estratigrafía del Cenozoico de la Cuenca Pastos Grandes (Puna Salteña) con énfasis en la Formación Sijes y sus Boratos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 189-199.
- Alonso, R. N. (2000). El Terciario de la Puna en tiempos de la Ingresión Marina Paranense. *Instituto Superior de Correlación Geológica*, 163-180.
- Alvarez, O., Giménez, M., Folguera, A., Spagnotto, S., & Braitenberg, C. (Junio de 2014). La Dorsal Asísmica Copiapó y su relación con la Cadena Volcánica Ojos del Salado-San Buenaventura y con la Zona de Subducción Horizontal Pampeana. *XIX Congreso Geológico Argentino*.
- Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M., & Isacks, B. L. (1997). The Evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Reviews Earth Planet*, 139-174.
- Allmendinger, R., Jordan, T., Palma, M., & Ramos, V. (1982). Perfil Estructural de la Puna Catamarqueña (25-27° S), Argentina. *Quinto Congreso Latinoamericano de Geología*, (págs. 499-518). Argentina.
- Angelelli, V. (1950). *Recursos Minerales de la República Argentina. Parte I: Yacimientos Metalíferos*. Buenos Aires: Coni.
- Araya Jaraquemada, P. (2015). Efectos de la Subducción de la Dorsal de Juan Fernández en la Geoquímica del Volcanismo de 18° a 33°S. (*Tesis de Grado*). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago de Chile.
- Aspilcueta, J. (1961). *Estudio Geológico-Económico Mina de Wolframita "El Aragonés", Departamento Belén, Provincia de Catamarca*. Buenos Aires: Carpeta 459, inéditos SEGEMAR.
- Auriemma, R. A. (1974). Estudio Geológico de la Región comprendida entre los Ríos El Bolsón y Vicuña Pampa, provincia de Catamarca. (*Tesis de Doctor*). Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Buenos Aires.
- Ávila, J. C., & Lazarte, J. E. (2010). *Mineralización en el basamento metamórfico de bajo grado de Catamarca y Norte de La Rioja, Argentina*.
- Ávila, J. C., & Lazarte, J. E. (2012). Metallogeny of Culampajá Gold District, Argentina. *Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ávila, J., Lazarte, J. E., Gianfrancisc, M., & Fogliata, A. S. (1999). Distrito Aurífero Culampajá, Catamarca. En E. O. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina* (págs. 557-562). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
- Bahlburg, H., & Breitzkreuz, C. (1991). Paleozoic evolution of active margin basins in the southern Central Andes (northwestern Argentina and northern Chile). *Journal of South American Earth Sciences* 4, 171-188.
- Bahlburg, H., & Hervé, F. (1997). Geodynamic evolution and tectonostratigraphic terranes of northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 869-884.
- Baldís, B. J., & Blasco, G. A. (1975). Primeros trilobites Ashgilianos del Ordovícico Sudamericano. *Acta I Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía*, (págs. 33-48). Buenos Aires.



- Barton, M., & Johnson, D. (2004). Footprints of Fe-oxide(-Cu-Au) systems. SEG 2004: Predictive Mineral Discovery Under Cover. *Centre for Global Metallogeny. Spec. Pub 33. The University of Western Australia*, 112-116.
- Bonarelli, G. (1913). Las Sierras Subandinas del Alto y Aguara Güe y los yacimientos petrolíferos del Distrito Minero de Tartagal. *Anales Ministerio de Agricultura, Sección Geología y Minería*, 1-50.
- Brackebusch, L. (1883). Estudio sobre la Formación Petrolífera de Jujuy. (págs. 137-252.). Córdoba: Academia Nacional de Ciencias.
- Bustos Quiñonez, Y. V., & Gonzabay Aguirre, K. J. (2017). Aplicación de la Teledetección Espacial Óptica y de Radar para el Análisis Geológico en la Concesión Santa Martha, Cantón Zaruma. (*Tesis de Grado Ingeniero en Geología*). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Guayaquil-Ecuador.
- Caffe, P., & Coira, B. L. (1999). Complejos de domos volcánicos del Mioceno Medio de Puna Norte. Un modelo geológico y metal. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales, vol. 35* (págs. 1569 -1578). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Caminos, R. (1972). Sierras Pampeanas de Catamarca, Tucumán, La Rioja y San Juan. En A. F. Leanza, *Geología Regional Argentina* (págs. 41-79). Córdoba: Academia Nacional de Ciencias.
- Caminos, R. (1979). Sierras Pampeanas Noroccidentales. En A. N. Ciencias, *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina* (págs. 225-291). Córdoba: Academia Nacional de Ciencias.
- Camus Infanta, F. (2003). *Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile*. Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Cardo, R., Godeas, M., Marquez, M., Ramallo, E., & Zanettini, J. C. (2015). *Las Fajas Metalogenéticas Cupríferas de la República Argentina*. Buenos Aires: Anales N° LIII.
- Carilla, J., Grau, A., & Cuello, S. (2018). Vegetación de la Puna argentina. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. E. Izquiero, & A. Grau, *La Puna argentina, Naturaleza y cultura* (págs. 143-156). Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Carten, R. B. (1986). Sodium-Calcium Metasomatism: Chemical, Temporal and Spatial and Relationships at the Yerington, Nevada, Porphyry Copper Deposit. *Economic Geology*, 1495-1519.
- Cecenarro, F. J., Dogliani, N. B., & Lira, R. (2014). Triángulo Composicional de Limonitas: una Cartilla Útil en la Interpretación de Afloramientos Lixiviados en Cobres Porfíricos. *XIX Congreso Geológico Argentino*.
- Cervi, R. (1947). *Informe sobre las Minas de Oro de Culampajá (Catamarca)*. Buenos Aires: Banco Crédito Industria Argentina.
- Chabert, M. R. (1999). El pórfiro cuprífero Inca Viejo, Salta. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales vol. 35*. (págs. 1429 -1436). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Charrier, R., Farías, M., & Maksaev, V. (2009). Evolución Tectónica, Paleogeográfica y Metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile Norte y Central e Implicaciones para las Regiones Adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 5-35.
- Chayle, W. (1999). Mina Pirquitas, Jujuy. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales, vol. 35*. (págs. 1593-1598). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Chernicoff, C. J., & Vargas, D. (1999). *Levantamiento Geofísico Aéreo Magnetometría y Espectrometría de Rayos Gamma Área Catamarca-Salta. Proyecto Pasma. Hoja Santa María 2766-I*. Buenos Aires: Subsecretaría de Minería de la Nación; Instituto de Geología y Recursos Minerales; Servicio Geológico Minero Argentino.



- Chernicoff, C. J., Richards, J. P., & Zappettini, E. O. (2002). *Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence*. Ore Geology Reviews.
- Coira, B. L. (1999). Potencialidad minera de sistemas megacaldéricos miocenos en Puna norte, Jujuy. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales*, vol. 35 (págs. 1557-1567). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., & Ramos, V. (1982). Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth-Science Reviews* 18, 303-332.
- Coira, B., Pérez, B., Flores, P., Mahlburg Kay, S., Woll, B., & Hanning, M. (1999). Magmatic sources and tectonic setting of Gondwana margin Ordovician magmas, Northern Puna of Argentina and Chile. *Geological Society of America*, 145-170.
- Cooke, D. R., Hollings, P., & Walshe, J. L. (2005). Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. *Economic Geology*, 801-818.
- Corbett, G. (1994). Regional structural control of selected Cu/Au occurrences in Papua New Guinea. *Geology, exploration and mining conference*, (págs. 57-70). Lae, Papua New Guinea.
- Corbett, G. (2012). Structural controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin* 56, 43-47.
- Corbett, G. (2018). Epithermal gold-silver and porphyry copper-gold exploration, *Short course manual: www.corbettgeology.com*.
- Corbett, G. (2019). Time in porphyry Cu-Au development- Exploration implications. *Pacrim, Auckland and Sydney Mineral Exploration Discussion Group*.
- Corbett, G., & Leach, T. (1998). Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization. *Society of Economic Geologists Special Publication* 6, 238.
- Cruzate, G. A., Moscatelli, G. N., & Panigatti, J. L. (2006). *GeoINTA*. (S. -I.-P. INTA., Editor) Obtenido de GeoINTA: <http://www.geointa.inta.gob.ar/descargas/>
- Cunningham, C. G., Zappettini, E. O., Vivallo, S. W., Celada, C. M., Quispe, J., Singer, D. A., . . . Schulz, K. J. (2008). *Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America*. Virginia, United States: United States Geological Survey (USGS).
- De Alba, E. (1979). Sistema de Famatina. En A. N. Ciencias, *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina* (págs. 143-184). Córdoba: Academia Nacional de Ciencias.
- De la Iglesia, H. J., & Givré, V. S. (1955). *Informe sobre la Inspección llevada a cabo en los Yacimientos de Tungsteno en la Provincia de Catamarca*. Buenos Aires: Ministerio de Industria. Dirección Nacional de Minería.
- Einaudi, M. T. (1997). *Mapping Altered and Mineralized Rocks and introduction to the "Anaconda Method"*. Stanford University. Einaudi.
- Fernández Lima, J. C., De la Iglesia, H. J., & Jutoran, A. (1955). *Estudio de las Minas de Oro del Distrito Culampajá, Departamento Belén, Provincia de Catamarca*. Buenos Aires.
- Ferpozzi, L., Turel, A., Vargas, D., Valladares, H., Jara, A., Siehankiewicz, D., & Casa, A. (2003). *Datos Geoquímicos Multielemento y Ubicación de Sitios de Muestreo de Sedimentos de Corriente del Plan Noa I Geológico-Minero Hoja 2766-I Santa María, Provincias de Catamarca, Tucumán y Salta, República Argentina*. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
- García, H. H. (1981). "Ribbon rock" en el distrito minero Papachacra, Departamento Belén, Provincia Catamarca. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología*, 89-94.
- García, H. H., Massabie, A. C., & Rosello, E. A. (1981). Contribución a la geología de La Cuesta, Depto. Belén, Prov. de Catamarca. *VIII Congreso Geológico Argentino*, (págs. 853-865). San Luis.



- García, H. H., Rosello, E. A., & Massabie, A. C. (1982). El depósito Tiburcio, ejemplo argentino de roca ribbon, Papachacra, Departamento Belén, Catamarca, Argentina. *Vº Congreso Latinoamericano de Geología* (págs. 735-750). Buenos Aires: Vº Congreso Latinoamericano de Geología.
- García, H. H., Rosello, E. A., & Massabie, A. C. (1982). El Depósito Tiburcio, ejemplo argentino de roca ribbon, Papachacra, Depto. Belén, Catamarca, Argentina., (págs. 735-750). Buenos Aires.
- Giménez, M., Acosta, G., Álvarez, O., Pesce, A., Lince Kinger, F., & Folguera, A. (2019). The subduction of the Copiapó aseismic ridge, is the causing of the formation of metallic minerals deposits in north of Chile and Argentina? *Geodesy and Geodynamics*, 1-6.
- González Bonorino, F. (1950). Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Asociación Geológica Argentina Tomo V*, 81-110.
- Grosse, P., Guzmán, S., & Petrinovic, I. A. (2017). Volcanes Compuestos Cenozoicos del Noroeste Argentino. *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA, Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino*.
- Guilbert, J. M. (1985). Geology, alteration, mineralization, and genesis of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca province, Argentina. En F. B. Pierce, *Porphyry copper deposits of the American Cordillera* (págs. 646-656). Tucson, Arizona: Geological Society Digest 20.
- Gustafson, L., & Hunt, J. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 70, 857- 912.
- Guzmán, S., Strecker, M. R., Marti, J., Petrinovic, I. A., Schildgen, T. F., Grosse, P., . . . Sudo, M. (2017a). *Construction and degradation of a broad volcanic massif: The Vicuña Pampa volcanic complex, Southern Central Andes, NW Argentina*. Geological Society of America Bulletin.
- Guzmán, S., Grosse, P., Martí, J., Petrinovic, I., & Seggiaro, R. (2017b). Calderas cenozoicas argentinas de la zona volcánica central de los Andes – procesos eruptivos y dinámica: una revisión. En C. M. Muruaga, & P. Grosse, *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA* (págs. 518-547). San Miguel de Tucumán: Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino.
- Japas, M. S., & Ré, G. H. (2005). Geodynamic impact of arrival and subduction of oblique aseismic ridges. (págs. 408-410). Barcelona: 6º Symposium on Andean Geodynamics.
- Keidel, J. (1927). Sobre las relaciones geológicas entre la Puna y la Cordillera Principal o Cordillera de Los Andes. *Academia Nacional de Ciencias, Córdoba*, 295-307.
- Lazarte, J. E. (1992). La Formación Chango Real (NW de Sierras Pampeanas, República Argentina), Ejemplo del Magmatismo Paleozoico, Cámbrico? Diferencias Geoquímicas con Batolitos Ordovícicos. *Estudios Geológicos*, 257-267.
- Lazarte, J. E. (2008). *Geoquímica de las rocas filonianas asociadas a la etapa tardía y post magmática del Granito Papachacra, Sierras Pampeanas, Catamarca, Argentina*.
- Lazarte, J. E. (2019). Magmatismo máfico en el basamento de la sierra de Papachacra, Sierras Pampeanas de Catamarca: aspectos geológicos y geoquímicos., (págs. Acta Geológica Lilloana 31 (2): 1–33).
- Lazarte, J. E., Ávila, J. C., Fogliata, A. S., & Gianfranciso, M. (2006). Granitos Evolucionados Relacionados a Mineralización Estanno-Wolframífera en Sierras Pampeanas Occidentales. En *Temas de la Geología Argentina I* (págs. 75-104). Tucumán: INSUGEO, CONICET, UNT.
- Leanza, A. F. (1958). Geología Regional. En *La Argentina, Suma de Geografía* (págs. 217-349.). Buenos Aires: Editorial Peuser.
- Mahlburg Kay, S., & Mpodozis, C. (2001). Central Andean Ore Deposits Linked to Evolving Shallow Subduction Systems and Thickening Crust. *GSA Today*, 4-9.
- Martínez, F., Fogliata, A. S., & Hagemann, S. G. (2016). Análisis de balance de masas en la roca de caja con alteración hidrotermal asociada a la mineralización aurífera del distrito Culampajá, Catamarca, Argentina., (págs. Acta geológica lilloana 28 (2): 403–414).



- Méndez, V. A., Navarini, A., Plaza, D., & Viera, V. (1973). Faja Eruptiva de la Puna Oriental. *Actas V, Congreso Geológico Argentino Tomo IV*, (págs. 89-100).
- Milana, J. P., & Kröhling, D. (2017). First data on volume and type of deflated sediment from Southern Puna Plateau and its role as source of the Chaco-Pampean loess. *Quaternary International*, 126-140.
- Ministerio de Minería Gobierno de Catamarca. (2021). *Catamarca Minera, una Oportunidad de Inversión*. San Fernando del Valle de Catamarca. Obtenido de <https://catamarcaminera.ar/>
- Mon, R. (1979). Esquema tectónico de los Andes del Norte Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70-76.
- Morláns, M. C. (1995). Regiones Naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas (2a. ed). *Revista de Ciencia y Tecnología de la UNCa. Vol. I, No.2*, 1-42.
- Müller, D., & Forrestal, P. (1998). The shoshonite porphyry Cu–Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca Province, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 64, 47-64.
- Norma IRAM 11.603:2012. (2012). Acondicionamiento Térmico de Edificios, Clasificación Bioambiental de la República Argentina. IRAM.
- Penck, W. (1914). La geología del Valle de Fiambalá y las cordilleras limítrofes al Norte, de Tinogasta (Prov. Catamarca). *Ministerio de Agricultura Nacional, Boletín XVII*, 270-277.
- Perovic, P. G., Trucco, C. E., Tellaeché, C., Bracamonte, C., Cuello, P., Novillo, A., & Lizárraga, L. (2018). Mamíferos puneños y altoandinos. En *Serie Conservación de la Naturaleza 24: La Puna argentina: naturaleza y cultura* (págs. 182-206). Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Petrinovic, I. A., Grosse, P., Guzmán, S., & Caffé, P. J. (2017). Evolución del Volcanismo Cenozoico en la Puna Argentina. En C. M. Muruaga, & P. Grosse (Edits.). San Miguel de Tucumán: Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA, Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino.
- Pollard, P., Pelenkova, E., & Mathur, R. (2017). Paragenesis and Re-Os molybdenite age of the Cambrian Ak-Suk porphyry Cu-Au-Mo deposit, Tyva Republic, Russian Federation. *Economic Geology*, 112, 1021-1028.
- Ramos, V. (1999). Rasgos Estructurales del Territorio Argentino. En R. Caminos, *Geología Argentina* (págs. 715-784). Buenos Aires: Servicio Geológico Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ramos, V. A. (1988). *Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America: a Collisional History of Southern South America*. Episodes.
- Ramos, V. A. (1997). El Segmento de Subducción Subhorizontal de los Andes Centrales. *Acta Geológica Hispánica*, (págs. 5-16).
- Ramos, V. A. (1999). Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. En R. Caminos, *Geología Argentina* (págs. 41-96). Buenos Aires: Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ramos, V. A. (2015). *La orogenia famatiniana (Ordovícico medio a tardío) en el margen continental protoandino de América del Sur: nuevas evidencias y sus implicancias tectónicas*. La Serena, Chile: 14^a Congreso Geológico Chileno, Actas digitales, ST1 Tectónica y Deformación Cortical Andina.
- Ramos, V. A. (2017). Las Provincias Geológicas del Noroeste Argentino. *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA* (págs. 42-56). San Miguel de Tucumán: Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino.
- Ramos, V. A., & Coira, B. (2008). Evolución Tectónica Preandina de la Provincia de Jujuy y Áreas Aledañas. En *Relatorio del XVII Congreso Geológico Argentino* (págs. 401-417). Jujuy: Relatorio del XVII Congreso Geológico Argentino.
- Ramos, V. A., & Folguera, A. (2009). Andean flat-slab subduction through time. *The Geological Society of London*, 31–54.



- Rapela, C. W., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R. J., Galindo, C., & Saavedra, J. (2001). Lower Paleozoic Orogenies at the proto-andean margin of South America, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology*, 23-41.
- Ricci, H., González, O., Lutz, M., Peralta, H., Barber, F., & Estrada, D. (1983). *Seminario Oro y Plata en la Argentina, Prospectos de Interés de la Subsecretaría de Minería en la Región Noroeste*.
- Richards, J., & Mumin, A. (2013). Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu $\pm$ Mo $\pm$ Au deposits. *Geological Society of America*, Vol. 41, 767-770.
- Riller, U., Petrinovic, I., Ramelow, J., Greskowiak, J., Strecker, M., & Oncken, O. (2001). Late Cenozoic tectonism, caldera and plateau formation in the central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 188, 299-311.
- Riller, U., & Oncken, O. (2003). Growth of the Central Andean Plateau by Tectonic Segmentation Is Controlled by the Gradient in Crustal Shortening. *The Journal of Geology*, 367-384.
- Rojas, N., Drobe, J., Lane, R., & Bonafede, D. (1999). El pórfiro cuprífero de Taca Taca Bajo, Salta. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales*, vol. 35 (págs. pp. 1321–1331.). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Root, D. H., Menzie, W. D., & Scott, W. A. (1992). *Computer Montecarlo simulation in quantitative resource estimation: Proceedings Nonrenewable Resources*. London: Oxford University Press.
- Rosello, E. A. (1983). Geología del Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Departamento Belén, Provincia de Catamarca. (*Tesis de Doctor*). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Rosello, E. A., & García, H. H. (1984). Geología y yacimientos minerales de Papachacra, Departamento Belén, Catamarca. *IX Congreso Geológico Argentino*, (págs. 245-259). Bariloche.
- Rosello, Eduardo A. (1980). Nuevo Complejo Volcánico Vicuña Pampa, Departamento Belén, Provincia de Catamarca. *Asociación Geológica Argentina, Revista XXXV*.
- Rosenbaum, G., Giles, D., Saxon, M., Betts, P. G., Weinberg, R. F., & Duboz, C. (2005). Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau: Insights into the formation of ore deposits in Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 18 – 32.
- Rubinstein, N. A., Segal, S. J., & Zappettini, E. O. (1999). El pórfiro cuprífero de Taca Taca Alto, Salta. En E. Zappettini, *Recursos Minerales de la República Argentina, Anales*, vol. 35. (págs. 1333-1336). Buenos Aires: SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Ruggiero, C. (1973). Área de Reserva N°41, Sector Vaca Vizcana, Estudio Geofísico por Polarización Inducida. *Servicio Geológico Minero Nacional*.
- Rusk, B., Reed, M., & Dilles, J. (Rusk, B.G., Reed, M.H., and Dilles, J.H., 2008). Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana. *Economic Geology*, 103.
- Sabins, F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews* 14, 157-183.
- Salfity, J. (1985). Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. *4° Congreso Geológico Chileno*, 119-137.
- Santana Canales, C. E., Sepulveda Arias, D. N., & Toledo Rubilar, P. V. (2013). *Ciclo Andino*. Concepción, Chile: Universidad De Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ciencias de la Tierra.
- Sasso, A. M., & Clark, A. H. (1998). The Farallón Negro Group, north-west Argentina: magmatic, hydrothermal and tectonic evolution and implications for Cu–Au metallogeny in the Andean back-arc. *SEG Newsletter* 34, 8-18.
- Sauzuk, S. (2012). *Geografía de Catamarca*. Obtenido de Geografía de Catamarca: <https://geografiacatamarca.blogspot.com/2013/09/climas-de-catamarca.html>

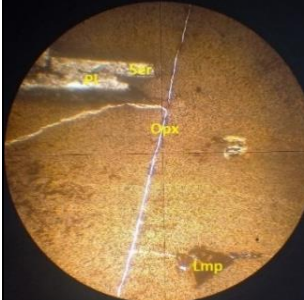
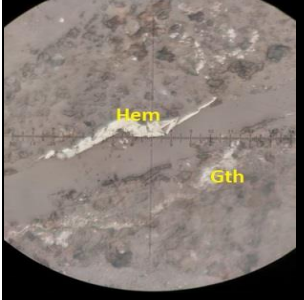


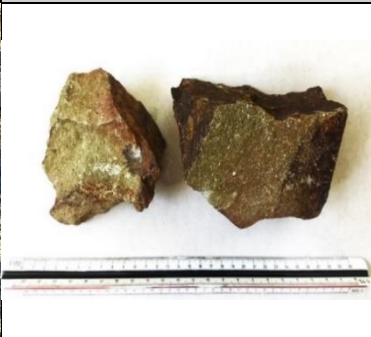
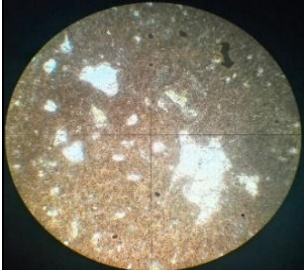
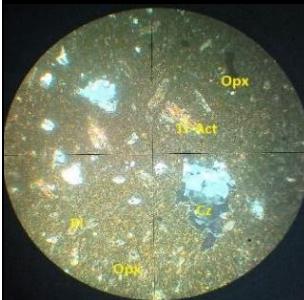
- SEGEMAR. (1926). Plan Noa I Área de Reserva N° 41 Vaca Vizcana. *Servicio Geológico Minero Argentino*.
- Seggiaro, R. E., Caffè, P. J., Becchio, R., Galli, C., Arnosio, M., & Da Poian, G. (2014). Evolución tectónica andina de las sierras de Hualfín, Capillitas y extremo sur de Aconquija, Provincia de Catamarca, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 500 - 512.
- Sillitoe, R. (1972). A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 799-815.
- Sillitoe, R. (1973). The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 799-815.
- Sillitoe, R. H. (2000). Gold Rich Porphyry Deposits: Descriptive and Genetic Models and Their Role in Exploration and Discovery. *Society of Economic Geologists Reviews*, 315-345.
- Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.
- Singer, D. A., Berger, V. I., & Moring, B. C. (2002). Porphyry copper deposits of the world: Database, maps, and preliminary analysis. *US Department of the Interior, US Geological Survey*.
- Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture. (1975). *Soyl Taxonomy*. United States: Agriculture Handbook N° 436.
- Tait, M. A., Cas, R. F., & Viramonte, J. G. (2009). The origin of an unusual tuff ring of perlitic rhyolite pyroclasts: The last explosive phase of the Ramadas Volcanic Centre, Andean puna, Salta, NW Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 183, 1-16.
- Turner, J. C. (1962). Estratigrafía de la Región al naciente de la Laguna Blanca, Catamarca. *Asociación Geológica Argentina Revista Tomo XVII*, 11-45.
- Turner, J. C. (1970). The Andes of Northwestern, Argentina. *Geologische Rundschau*, 1028-1063.
- Turner, J. C. (1972). Puna. En A. F. Leanza, *Geología Regional Argentina* (págs. 91-116). Córdoba: Academia Nacional de Ciencias.
- Turner, J. C. (1973). *Descripción Geológica de la Hoja 11d., Laguna Blanca Provincia de Catamarca*. Buenos Aires: Carta Geológico-Económica de la República Argentina Escala 1:200.000.
- Turner, J. C., & Méndez, V. (1979). Puna, Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias, Vol. I*, 13-56.
- Ulrich, T., & Heirinch, A. C. (2002). Geology and Alteration Geochemistry of the Porphyry Cu-Au Deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 1719-1742.
- Uyeda, S., & Kanomari, H. (1979). Back-arc opening and the mode of subduction. *Journal Geophys*, 1049-1061.
- Viramonte, J. G., & Petrinovic, I. A. (1990). Cryptic and partially buried calderas along a strike-slip fault system i the Central Andes. En *Symposium international "Géodynamique andine": résumés des communications* (págs. 317-320). Paris: ORSTOM, Symposium International "Géodynamique Andine", Grenoble (FRA).
- Warr, L. N. (2021). IMA-CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine*, 291-320.
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 185-187.
- Yañez, G. A., Ranero, C. R., von Huene, R., & Diaz, J. (2001). Magnetic anomaly interpretation across the southern central Andes (32°-34°S): The role of the Juan Fernandez Ridge in the late Tertiary evolution of the margin. *Journal of Geophysical Research*, 6325-6345.
- Zappettini, E. O. (2017). Metalogénesis y su Relación con la Evolución Tetonomagmatica y Tectonosedimentaria de la Región Noroeste, República Argentina. *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA, Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino*, 939-961.

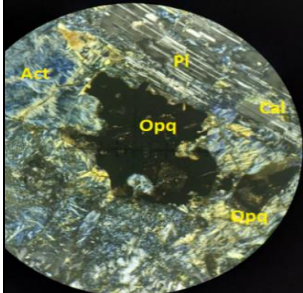
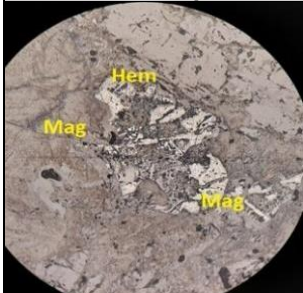


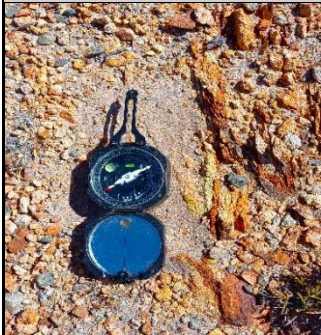
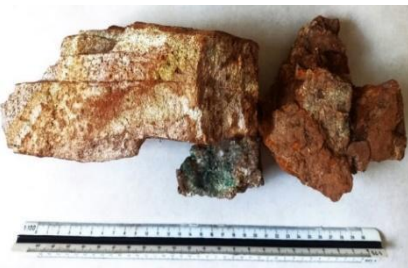
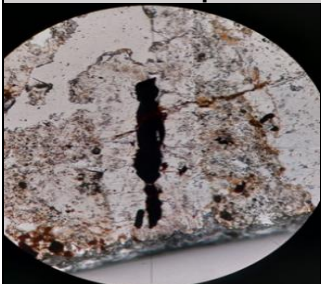
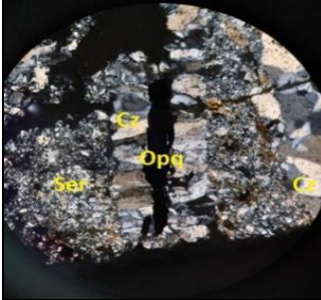
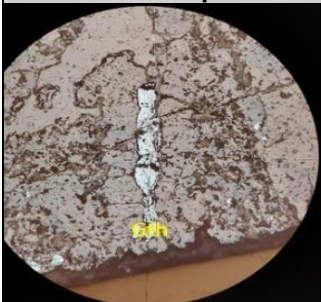
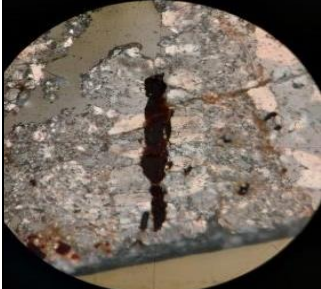
- Zappettini, E. O., & Gozálvez, M. R. (2021). *Potencial en Recursos Minerales del territorio continental de la República Argentina (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Li, K, B)*. Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas N° 44.
- Zentilli, M. (1974). Geological evolution and metallogenic relationships in the Andes of northern Chile between 26° and 29° south. (*Thesis of Doctor*). Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.

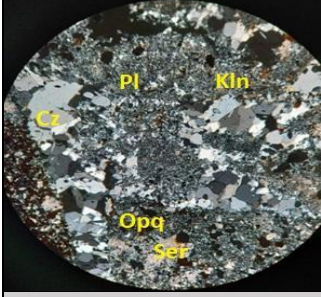
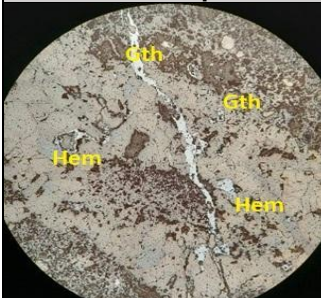
ANEXO

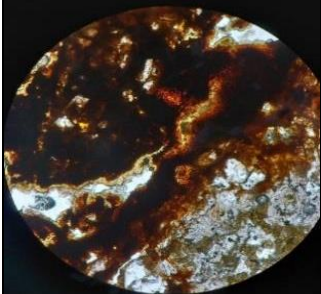
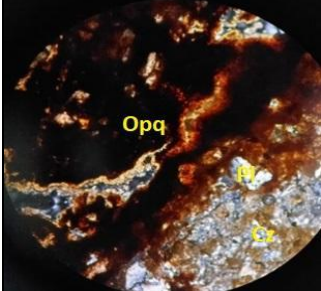
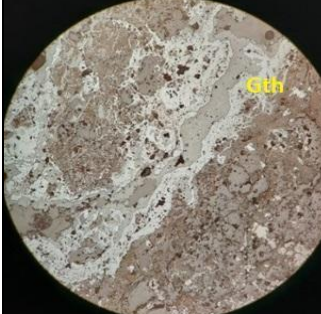
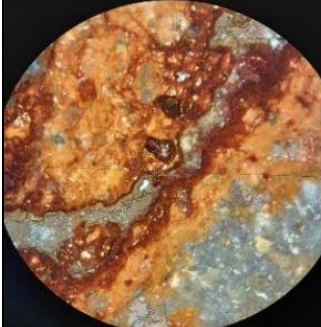
MUESTRA 1			
Coordenadas:	26°50'38.90"S 66°59'28.21"O	Sector:	La Lunareja
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca de color pardo con ligera tonalidad naranja. Presenta estructura tabular y textura afanítica con patinas de carbonato de color blanco (reacciona con HCl). Se observan hematita, especularita de color negro con raya roja y venillas de óxidos de hierro.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: Se observa una textura porfídica con pasta felsítica devitrificada, de coloración marrón claro con fenocristales euhedrales representativos de plagioclasas alteradas, cuarzos inalterados, lamprabolita desferritizadas y alteración fílica muy fuerte. Las plagioclasas incoloras, habito tabular, formas subhedrales, se presentan alteradas con carbonatos y sericita. La lamprabolita es de color pardo-oscuro con formas anhedrales por alteración y el cuarzo incoloro con formas anhedrales, de relieve muy bajo.		
	NC: La matriz presenta colores de interferencia de color pardo claro. Los fenocristales de plagioclasas se encuentran fracturadas, no poseen maclas. Los anfíboles se exhiben con coloraciones pardo-oscuros a negras, sin llegar a desarrollar clivaje. El corte evidencia venas de carbonato y cuarzo con leve extinción ondulosa y opacos distribuidos.		
<u>Abreviaturas:</u> Ser: Sericita, Opx: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclase, Lmp: Lamprabolita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).			
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: La hematita especularita es de color blanco grisáceo azulado sobre venilla, con pulido bueno y reflectividad alta, partes que se perdió del pulido del corte, con pleocroísmo débil La goethita muestra color gris azulado, de pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. La goethita y hematita especularita con textura de relleno en vetillas perdidas.		
<u>Abreviaturas:</u> Hem: Hematita, Gth: Goethita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021)			
	NC: La hematita muestra anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris.		

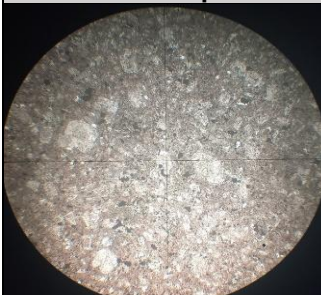
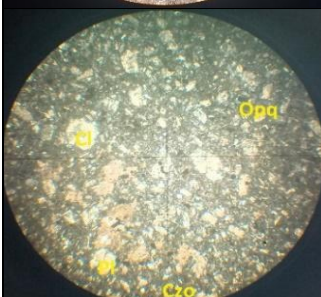
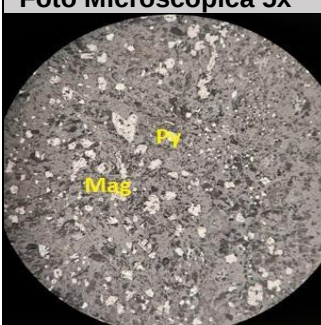
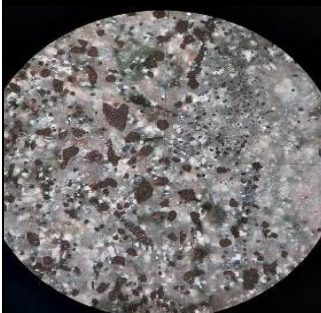
MUESTRA 3			
Coordenadas:	26°50'38.90"S 66°59'28.24"O	Sector:	La Lunareja
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca de color verde con ligera tonalidad rojiza. Presenta una estructura masiva y una textura porfídica. Se observan fenocristales de epidoto, máficos y cuarzo subordinado sobre una matriz fina, patinas de carbonato (reacciona con HCl), geoda con cristales de cuarzo y óxido de hierro goethita. Se visualiza pirita de color amarillo y especularita de color negro, brillo metálico y venillas de óxidos de hierro.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta una textura porfídica, con matriz entre microcristalina a criptocristalina de color pardo-amarillo, compuesta por fenocristales de plagioclasas, habito tabular subhedrales, anfíboles incoloros, muy fibrosos tremolita-actinolita, cuarzoes incoloros anhedral y opacos. Se observan epidotos en plagioclasas. Existen relictos de anfíboles y piroxenos por alteración.		
	NC: La matriz muestra colores de interferencia grises oscuros, con microlitos de plagioclasas muy alterados cuyos colores de interferencia son pardo-grisáceos, presenta oquedades rellenas por cuarzo. Los opacos se distribuyen a lo largo de todo el corte como pseudomorfos de piroxénos y anfíboles. Algunas plagioclasas evidencian agregados con colores de interferencia altos propios del proceso de epidotización. Microlitos de plagioclasas rodean a fenocristales de tremolita-actinolita.		
<u>Abreviaturas:</u> Opx: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclase, Cz: Cuarzo; Tr- Ac: Tremolita -Actinolita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).			
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta cristales de pirita, goethita y hematita. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, reflectividad alta y bastante sonado. La goethita de color gris azulado, de forma euhedral, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, con pulido bueno y reflectividad alta y pleocroísmo débil.		
	NC: El corte presenta cristales de pirita, goethita y hematita. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La goethita de color gris azulado, de forma euhedral, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, pulido bueno. reflectividad alta y pleocroísmo débil.		

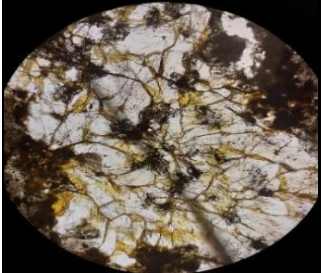
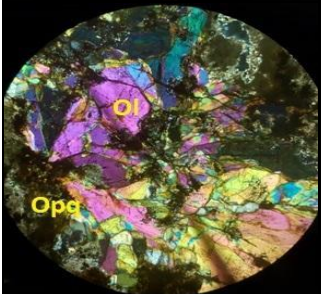
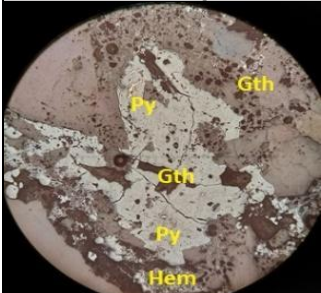
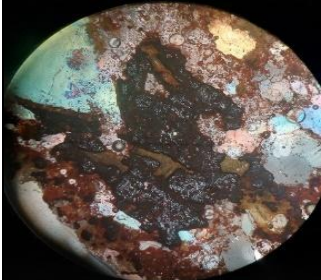
MUESTRA 4			
Coordenadas:	26°51'33.40"S 66°59'24.42"O	Sector:	La Lunareja
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca de color verde oscura con tonalidad blanquecina-rojiza, de grano grueso, hipocristalina, con estructura masiva y una textura granular con plagioclasas, cuarzo, carbonatos y máficos con venillas de magnetita-hematita de color rojo y oxidación de goethita.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: Presenta textura granular con fuerte alteración, con fenocristales de plagioclasas incoloras de habito tabular carbonatizadas, actinolita de color verdoso con habito fibroso abundante de color verde oscuro, clorita de color verde claro como alteración de piroxenos. Anfíboles y piroxenos carbonatizados. No se observan relictos de olivino. por opacos euhedrales a anhedrales, asociados a fenocristales actinolitas. incoloros y anfíboles prismáticos pardos con bordes de oxidación.		
	NC: Las plagioclasas se encuentran muy fracturadas, carbonatizadas de color amarillo, algunas presentan agregados con colores de interferencia altos propios del proceso de epidotización. La actinolita(anfíbol) cuentan con bastante pleocroísmo de color verde oscuro a claro. Los opacos se distribuyen a lo largo de todo el corte.		
<u>Abreviaturas:</u> Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclase, Cz: Cuarzo, Ac: Actinolita ; Cal: Calcita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta hematita de color blanco grisáceo azulado, con textura martita se presenta por reemplazo pseudomorfo de magnetita orientado por parting [III] con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil y magnetita de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, sin pleocroísmo, con pulido muy bueno, con una reflectividad baja y asociada a la actinolita como cristales y relleno de venillas que crecen sobre plagioclasas, siendo posterior con emplazamiento selectivo.		
<u>Abreviaturas:</u> Hem: Hematita, Mag: Magnetita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021)			
	NC: La hematita evidencia anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La Magnetita sin anisotropía, no presenta reflejos internos.		

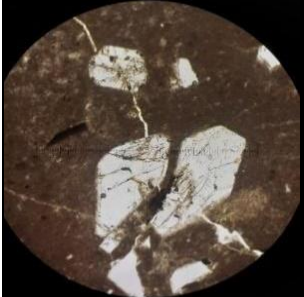
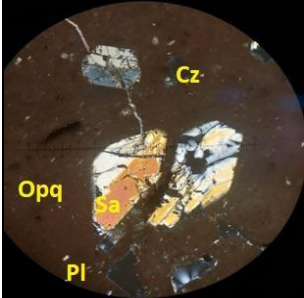
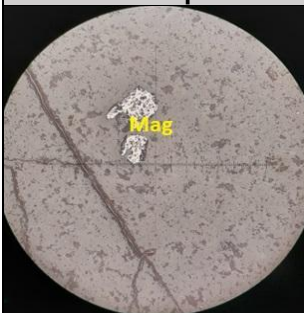
MUESTRA 6			
Coordenadas:	26°52'18.02"S 66°59'4.61"O	Sector:	Lomas del Medio
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca ígnea volcánica de color blanco con tonalidad verdosa- marrón rojiza, de grano fino, hipocristalina, con estructura tabular y una textura rompecabezas con cuarzo como relleno y en venillas, con patinas de malaquita de color verde (reacciona con HCl) y goethita pardo –rojiza sobre cuarzo (limonita)y sílice en drusas y geodas.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte tiene una textura rompecabezas jig-saw, vetilleo multidireccional stockwork de color claro, se observa venillas de carbonato incoloras y venillas de cuarzo incoloras con opacos como relleno. Impuesto sobre textura porfídica con fuerte alteración con fenocristales de cuarzo incoloro, anhedral, como relleno y microcristales, incoloros, anhedrales con una matriz fina microcristalina de sericita incolora con formas anhedrales. Presenta opacos distribuidos en todo el corte.		
	NC: Los granos de cuarzo presentan colores de interferencia amarillo a gris anhedrales de varios tamaños. La sericita se observa con pleocroísmo débil en tonos amarillo pálido con habito micáceo. Se reconocen venas de óxidos de hierro, de cuarzo y carbonato. Se reconocen opacos distribuidos en el corte		
Abreviaturas: Opx: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclasa, Cal: Calcita(Whitney & Evans, 2010; Warr,2021)			
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta pirita diseminada +/- 1 % y goethita/hematita en venillas que antes fueron sulfuros. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil (fotos 10x).		
Abreviaturas: Gth: Goethita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021).			
	NC: La hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La pirita isótropa no presenta reflejos internos. Venillas de cuarzo con sutura central de goethita que antes fue pirita 0.58 mm/0.12 mm y Venillas de carbonatos 0.68 mm de espesor con óxidos de goethita/hematita. Evidencia textura de reemplazo pseudomorfico goethita-pirita y venillas con relictos hábitos cúbicos.		

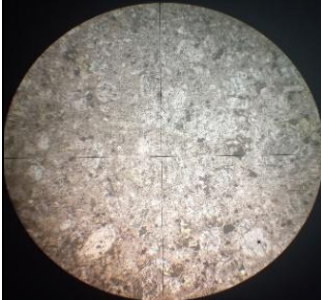
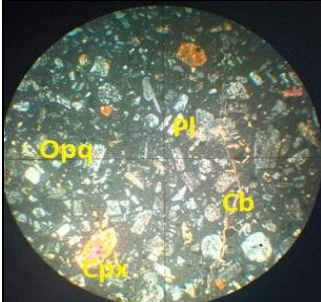
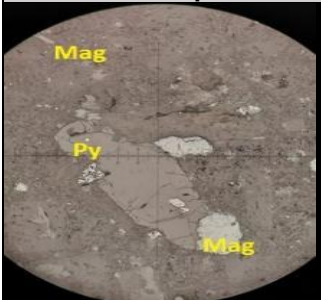
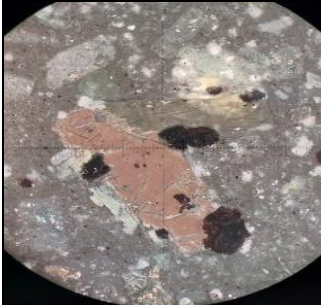
MUESTRA 8			
Coordenadas:	26°52'21.43"S 66°59'6.32"O	Sector:	Lomas del Medio
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color pardo-rojizo con tonalidad pardo amarillento, de grano fino, hipocristalina, con estructura tabular y una textura rompecabezas stockwork con venillas de cuarzo con hematita de color negro y goethita de color rojiza, con diseminados de pirita y goethita.	
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta una textura rompecabezas con venillas de cuarzo con textura de dientes de perro con relieve alto con opacos y venillas de carbonato incoloro como relleno, impuesta sobre una textura porfídica con una matriz de color pardo-amarilla con abundante caolinita incolora anhedral y limonita impregnada, compuesta por microlitos de plagioclasas incoloras con habito tabular, epidoto, con cuarzo incoloro anhedral y sericita fina microcristalina incolora con formas anhedrales sobreimpuestos en el corte.		
	NC: El corte tiene tonalidades de color gris y rojizas por sectores. La caolinita se observa con leve pleocroísmo. El cuarzo con colores de interferencia gris-amarillo, extinción ondulosa y venas de cuarzo con opacos que aprovecharon espacios abiertos entre granos de cuarzo. La sericita tiene pleocroísmo débil en tonos amarillo pálido con habito micáceo. Presenta opacos distribuidos en todo el corte.		
Abreviaturas: Opx: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclasa; Cl: Clorita; Cz: Cuarzo; Ser: Sericita; Kln: Kaolinita (Whitney & Evans, 2010; Warr, 2021).			
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta diseminados de relictos de pirita -1% y un 3% de goethita y hematita. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La hematita se presenta de color blanco grisáceo azulado, de relleno en venillas, con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral diseminado y como relleno de venilla, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja.		
	NC: La hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La magnetita sin anisotropía, no presenta reflejos internos. La goethita tiene anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La venilla de cuarzo de 1.8 de espesor y 3.6 mm de largo es atemporal respecto a la de goethita de 0.12 mm de espesor es posterior, corta la de cuarzo, la goethita aprovecha los límites de los granos del cuarzo.		

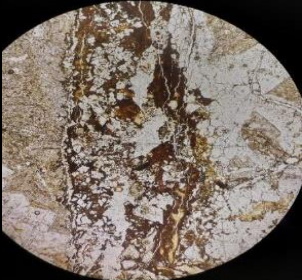
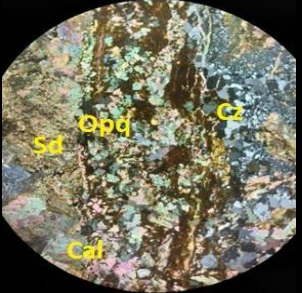
MUESTRA 9			
Coordenadas:	26°52'16.53"S 67°0'24.70"O	Sector:	Los Bayitos
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color blanco con tonalidad rojiza, de grano fino, afanítica, hipocristalina, con estructura maciza y una textura política con cuarzo incoloro anhedral, caolinita y carbonatos de color blanco (reacciona con HCl) con venillas de goethita de color pardo rojiza.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: Presenta una textura porfídica, con matriz criptocristalina de color pardo, con fenocristales cuarzo y plagioclasas y mafitos. La matriz con abundante arcilla caolinita incolora anhedral de granos pequeños, compuesta por fenocristales de cuarzo incoloro anhedrales sin alteración, plagioclasa incoloras subhedrales y mafitos muy alterados a biotitas, presenta mineral verde sin definir claro de hábito botroidal impuesto como parches. Y venilla de óxido de hierro con vesículas por partes con bordes festoneados de la textura coloforme. Corte limonitizado.		
	NC: La matriz evidencia colores de interferencia amarillos, matriz caolinitica con leve pleocroísmo, por el grado pervasivo de alteración. Se observa cuarzo anhedral y plagioclasas con macla polisintética epidotizadas con colores de interferencia alto y mafitos muy alterados de color marrón como biotita. Presenta venillas de opacos con vesículas en sectores. Los opacos se distribuyen a lo largo de todo el corte también.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclasa; Cz: Cuarzo (Whitney & Evans, 2010; Warr, 2021).			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta goethita distribuidos y venillas de goethita. La goethita de color gris azulado, de forma euhedral a anhedral distribuida y como relleno de venilla con textura coloforme, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. El relleno de la venilla se perdió, con espacios abiertos centrales 55x20.		
Abreviaturas: Gth: Goethita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr, 2021).			
	NC: La goethita muestra anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo.		

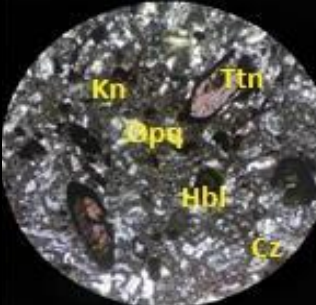
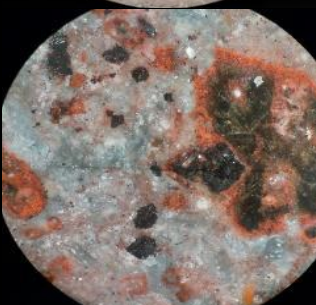
MUESTRA 10			
Coordenadas:	26°52'17.13"S 67° 0'7.30"O	Sector:	Los Bayitos
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color verde oscuro con tonalidad negruzca, de grano fino, afanítica, hipocristalina, con estructura maciza y una textura pelítica con plagioclasa, carbonato y venillas de cuarzo con pirita diseminados de pirita y magnetita de color negro con brillo metálico ,y goethita de color pardo rojizo.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: Presenta una textura porfídica, con matriz criptocristalina con coloración parda con fenocristales de plagioclasas, mafitos, y clorita. La clorita es de color verde, con habito tabular, con forma anhedral como mineral de alteración, reemplazó de anfíbol, la plagioclasa incolora de habito tabular subhedral, epidoto de color verde amarillento con relieve alto y calcita anhedral incoloro de relieve bajo. Se observan venillas de carbonato incoloro como relleno.		
	NC: La matriz presenta una coloración pardo oscura, se observa a las plagioclasas muy carbonatizadas de color de interferencia amarillo y epidotos de color de interferencia azul, se identifica del tipo clinozoicita, y la clorita presenta pleocroísmo moderado en tonos verdes. El carbonato se observa de color con color interferencia en tonos amarillos. Se observa la inclusión de opacos distribuidos en el corte. Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclasa; Czo: Clinozoicita; Cl: Clorita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).		
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta pirita % y magnetita % diseminada de manera uniforme en todo el corte. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, con forma sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La Goethita de color gris azulado, de forma euhedral, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La magnetita de color gris con tinte rosado, con direcciones octaédricas, sin pleocroísmo, con pulido muy bueno, con una reflectividad baja (0.31 micron). Abreviaturas: Mag: Magnetita, Py: Pirita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).		
	NC: La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La Hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La Magnetita sin anisotropía, no presenta reflejos internos. La pirita isótropa no evidencia reflejos internos. La hematita se manifiesta por reemplazo pseudomorfico orientado por parting [III] de Magnetita.Textura de reemplazo pseudomorfico de goethita a pirita reemplazo de halo o centrípeto.		

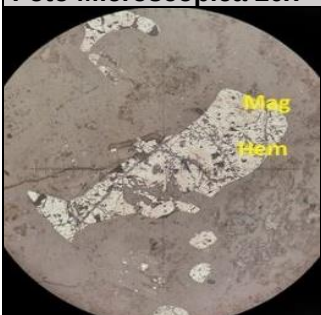
MUESTRA 11			
Coordenadas:	26°52'25.31"S 67° 0'20.60"O	Sector:	Los Bayitos
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color verde claro con tonalidad rojiza, de grano fino, hipocristalina, con estructura maciza y una textura afanítica con cristales de cuarzo incoloro anhedral y carbonato (reacciona con HCl) y venillas de cuarzo diseminados de hematita de color negro.	
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: Se observa una textura porfídica con matriz criptocristalina con fenocristales de olivino, cuarzo y opacos, con un grado de alteración pervasivo. La matriz presenta coloración pardo oscura, con abundante arcilla, y fenocristales de olivino incoloro anhedral fracturado irregular de relieve alto y cuarzo, incoloros anhedral, como rellenos. Presenta venillas de cuarzo incoloro como rellenos con opacos.		
	NC: La matriz presenta colores de interferencia pardo oscuro y los fenocristales de olivino presenta colores de interferencia alto con serpentinización y cuarzo de color gris con formas anhedrales y extinción ondulosa. Venillas de cuarzo con extinción ondulosa. Existen opacos distribuidos en todo el corte. Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Ol: Olivino (Whitney and Evans, 2010; Warr,2021)		
DESCRIPCION CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: Se observa diseminado 3 % el volumen total de roca de goethita. hematita-pirita y venillas tipo A con relictos de pirita en vetillas, goethita antes fue pirita cambio por reemplazo pseudomorfo, la goethita aprovecho los límites de los espacios de los granos de cuarzo. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, con forma sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La Goethita de color gris azulado, de forma euhedral, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, con pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. Abreviaturas: Gth: Goethita, Hem: Hematita, Py: Pirita (Whitney & Evans, 2010; Warr,2021).		
	NC: La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La Hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La pirita isótropa no evidencia reflejos internos. La hematita se presenta por reemplazo pseudomórfico orientado por parting [III] de magnetita. Textura de reemplazo pseudomórfico de goethita a pirita reemplazo de halo o centripeto.		

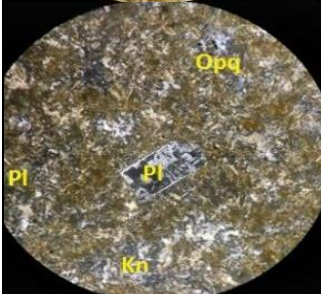
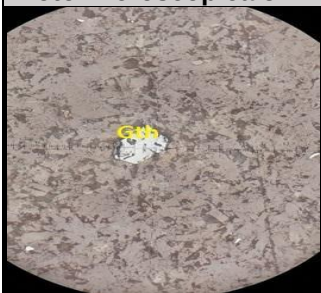
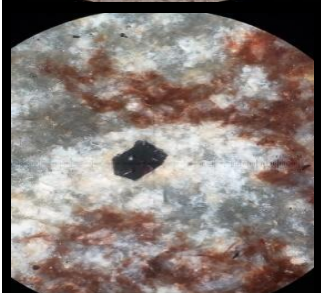
MUESTRA 13			
Coordenadas:	26°52'47.52"S 67° 0'5.72"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca ígnea volcánica de color rosado, de grano fino, hipocristalina, fanerítica, con estructura fluidal y una textura porfídica con matriz fina y fenocristales de tablillas feldespato, cuarzo y máficos, con fuerte impregnación de óxidos de hierro, diseminados de color gris con brillo metálico. Presenta vetilleo de óxidos de hierro.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta una textura porfídica con matriz con matriz micro a criptocristalina de color pardo impregnada por óxidos de hierro con fenocristales de sanidina, cuarzo y máficos. La sanidina se observa incolora, con forma euhedral-subhedral inalterada, con habito tabular; el cuarzo se observa incoloro, con forma anhedral y los máficos se observan fuertemente oxidados.		
	NC: La matriz se compone de plagioclasas orientadas con textura pilotaxica o traquitica. La sanidina presenta maclas carlsbad de dos individuos y los máficos oxidados se encuentran cortados por venillas con material perdido. Muestra distribución de opacos en todo el corte y presenta venillas con material perdido del corte.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclas; Cz: Cuarzo;Sd: Sanidina; (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010).			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta magnetita y hematita por reemplazo pseudomorfo de pirita. Venillas con bordes de óxidos de hierro con relleno perdido. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La magnetita es de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, con textura martita, sin pleocroísmo, con pulido muy bueno, con una reflectividad baja. La hematita se produce por reemplazo pseudomorfo orientado por parting [III] de magnetita.		
Abreviaturas: Mag: Magnetita (Warr,2021;Whitney & Evans, 2010)			
	NC: La hematita con anisotropía fuerte de color azul a gris exhibe reflejos internos de rojo profundo. La magnetita sin anisotropía, no presenta reflejos internos. La pirita isótropa no presenta reflejos internos.		

MUESTRA 14			
Coordenadas:	26°53'25.83"S 67° 0'1.64"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca ígnea volcánica de color verde claro, de grano fino, hipocristalina, fanerítica, con estructura maciza y una textura porfídica con matriz fina y fenocristales de plagioclasas, cuarzo y máficos con carbonato (reacciona con HCl) y diseminado de pirita de color amarillo con brillo metálico y magnetita de color negro con brillo metálico.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: Se observa una textura porfídica con matriz criptocristalina de color amarillo con fenocristales de plagioclasas, olivinos, anfíboles, clinopiroxenos y opacos. La plagioclasa evidencia habito tabular, incolora. Clinopiroxeno incoloro muestra clivaje típico, relieve alto con maclas, con olivino muy fracturado con iddingsita, además de inclusión de opacos todo el corte. Presenta venillas de carbonato incoloro y se observa calcedonia incolora a marrón claro como textura de relleno.		
	NC: La matriz presenta colores de interferencia oscuros. Clinopiroxeno tiene color de interferencia alto, leve pleocroísmo, con extinción inclinado, con habito prismático corto. El olivino muestra color de interferencia alto y sin pleocroísmo. Los anfíboles evidencian hábito tabular largo y colores de interferencia amarillos. La calcedonia con habito fibroso con extinción paralela. Venillas de carbonato con color de interferencia amarillo.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclase; Cpx: Clinopiroxeno ; Cb: Carbonato (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010)			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 50x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta diseminados de pirita 1% y Magnetita-Goethita 3%, total diseminados de opacos 4%. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral diseminado y como relleno de venilla, con pleocroísmo débil y reflectividad baja. La magnetita de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, con textura martita, sin pleocroísmo con una reflectividad baja. Pirita de color blanco amarillento o amarillo suave, sin pleocroísmo, con reflectividad alta y bastante sonado. La magnetita y la goethita por reemplazo pseudomorfo de pirita.		
	NC: La goethita evidencia anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La Magnetita sin anisotropía, no muestra reflejos internos. La pirita es isótropa sin reflejos internos.		
Abreviaturas: Mag Magnetita, Py: Pirita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021).			

MUESTRA 15			
Coordenadas:	26°53'14.41"S66°59'56.01"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca de color naranja-castaño, con bandeamiento de cuarzo y carbonatos calcita, siderita (reaccionan con HCl), venillas de cuarzo con óxidos de hierro goethita de color marrón y venillas de sulfuros piritas que cortan el bandeamiento. Hematita color negro con brillo metálico diseminada. Presenta calcita de color blanco como textura de relleno en forma de drusas.	
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta textura bandeada con desarrollo de cocarda de calcita con clivaje perfecto, con relieve alto y muy alterado, de siderita con relieve alto de color amarillo-marrón y de cuarzo presenta relieve alto, incoloro, de forma anhedral, textura sobreimpuesta de rompecabezas con venillas de cuarzo que cortan el bandeamiento. Evidencia zonas con óxidos de hierro derivados de la oxidación de la siderita.		
	NC: La calcita muestra colores de interferencia alto, pleocroísmo alto y siderita de color marrón con clivaje perfecto romboédrico. El cuarzo presenta color gris, extinción ondulosa, relleno con inclusión de opacos en zonas intergranulares. E observa distribución de opacos en el corte.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Cz: Cuarzo; Sd: Siderita; Cal: Calcita (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010)			
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: EL corte presenta goethita diseminada y venillas de hematita especularita. La goethita de color gris azulado, de forma euhedral, pleocroísmo débil, pulido bueno y reflectividad baja. Hematita con textura martita, de color blanco grisáceo, pulido bueno, reflectividad alta y pleocroísmo débil.		
Abreviaturas: Gth: Goethita, Hem: Hematita (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010).			
	NC: La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, reflejos internos marrón rojizo o amarillo amarronado. La hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo.		

MUESTRA 16			
Coordenadas:	26°53'38.91"S 66°59'5.60"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca ígnea volcánica de color gris, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, con estructura maciza y una textura porfídica con matriz fina y fenocristales de cuarzo, biotita euhedral y máficos con diseminados de óxidos de hierro gris hematita-magnetita gris con brillo metálico	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta textura porfídica, matriz con caolín, incolora anhedral de granos pequeños, roca muy oxidada, fenocristales de hornblenda de color verde con bordes muy oxidados, de biotita de color marrón subhedral, habito tabular, el cuarzo incoloro anhedral relieve muy bajo, sin clivaje, Epidota verde amarillo relieve alto, se ve titanita-leucoceno color verde, habito romboidal, forma subhedral-anhedral, relieve alto alteración de titanita, esfenas de titanita. Muestra venillas sin material evidencian relictos de stockwork		
	NC: La matriz evidencia colores de interferencia grises oscuros. hornblenda con pleocroísmo en parte central, hábitos prismáticos, coloraciones pardo-oscuros a negras, sin llegar a desarrollar clivaje. biotita pleocroica, habito tabular y titatinita-leucoceno, birrefringencia fuerte extrema y color de interferencia alta. Los opacos se distribuyen a lo largo de todo el corte. Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Hbl: Hornblenda; Cz: Cuarzo; Kn: Caolinita; Ttn: Titanita (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010).		
DESCRIPCIÓN CALCOGRÁFICA			
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte muestra hematita martitizada (hematita) por reemplazo pseudomorfo de magnetita. La hematita de color blanco grisáceo, pulido bueno y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La hematita se presenta por reemplazo pseudomorfo orientado por parting [III] de magnetita.		
	Abreviaturas: Mag: Magnetita (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010). NC: La hematita con anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo.		

MUESTRA 17			
Coordenadas:	26°53'38.90"S 66°59'5.20"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Brecha volcánica de color verde-gris, de grano grueso, hipocristalina, fanerítica, con estructura maciza y una textura inequigranular y rompecabezas, con diseminados de magnetitas de color negro con brillo metálico, con venillas de cuarzo y óxidos de hierro pardo amarillento opaco.	
Foto Microscópica 10x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta textura rompecabeza y stockwork de venillas de cuarzo incoloro deformado en bordes muy corroídos y venillas de carbonatos incoloro, cortando a las venillas de cuarzo, cementada principalmente por cuarzo y carbonato, y se observa sericita fina microcristalina incolora con formas anhedrales, con anfíboles con hábito tabular largo y colores de interferencia amarillos epidotizados en secciones con relieve alto y muscovita incolora ,subhedral, con habito tabular.		
	NC: El carbonato evidencia colores de interferencia alto y el cuarzo de color de interferencia bajo gris con extinción ondulosa como relleno con inclusión de opacos. La sericita se observa con pleocroísmo débil en tonos amarillo pálido con habito micáceo, el epidoto muestra colores de interferencia alto en anfíboles y la muscovita con colores de interferencia fuerte, hasta de segundo orden. El corte presenta la inclusión de opacos distribuidos. Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Cb: Carbonato; Cz: Cuarzo; Ser: Sericita (Warr,2021; Whitney & Evans, 2010).		
DESCRIPCIÓN CALCÓGRÁFICA			
Foto Microscópica 20x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta diseminados 3% volumen total de roca de magnetita y goethita-hematita por reemplazo, y en venillas de cuarzo. La hematita exhibe color blanco grisáceo azulado, de relleno en venillas y reflectividad alta con pleocroísmo débil. La goethita de color gris azulado, de forma anhedral diseminado y como relleno de venilla, con pleocroísmo débil y reflectividad baja. La magnetita de color gris con tinte rosado, de forma anhedral, con textura martita, sin pleocroísmo, con una reflectividad baja. Abreviaturas: Gth: Goethita, Hem: Hematita (Whitney and Evans, 2010; Laurence N. Warr,2021).		
	NC: La hematita muestra anisotropía fuerte de azul a gris y reflejos internos de rojo profundo. La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo. La magnetita sin anisotropía, no evidencia reflejos internos. La hematita se produce por reemplazo pseudomorfo orientado por parting [III] de magnetita y la goethita por reemplazo pseudomorfo de magnetita.		

MUESTRA 18			
Coordenadas:	26°53'38.77"S 66°59'5.21"O	Sector:	Cerro Bayo
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA			
Foto de Campo	Foto de Muestra de Mano	Descripción Macroscópica	
		Roca volcánica de color verde amarillo con tonalidad rojiza por óxidos de hierro, hipocristalina, con estructura maciza con textura porfídica, con matriz fina arcillas y fenocristales euhedrales de plagioclasas, biotitas y anfíboles pardos con formas euhedrales a subhedrales. Presenta patinas de carbonatos (reacciona con HCl).	
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta textura porfídica con matriz de color pardo amarillento compuesta por abundante caolinita incolora, anhedral de granos pequeños y plagioclasas orientadas con textura pilotaxica o traquitica. Exhibe fenocristales de plagioclase incolora con forma subhedral con habito tabular alteradas carbonitizadas, de relieve bajo; anfíboles de color castaño con formas anhedral con habito prismático largo y biotita con forma subhedral de color castaño alrededor de anfíboles producto de alteración. Presenta opacos distribuidos en el corte.		
	NC: La matriz tiene colores de interferencia grises oscuros, con microlitos de plagioclasas muy alterados cuyos colores de interferencia son pardo-grisáceos. Los anfíboles presentan pleocroísmo, coloraciones pardo-oscuros a negras, sin llegar a desarrollar clivaje, la biotita muestra pleocroísmo, con habito tabular y las plagioclasas presentan color de interferencia gris-blanco de primer orden con maclas.		
Abreviaturas: Opq: Opacos (Whitney & Evans, 2010), Pl: Plagioclase; Cz: Cuarzo; Kn: Caolinita (Warr, 2021; Whitney & Evans, 2010).			
DESCRIPCIÓN CALCÓGRÁFICA			
Foto Microscópica 5x	Descripción Microscópica		
	NP: El corte presenta +1% diseminado total de roca goethita, antes pirita. La goethita de color gris azulado, de forma euhedral, con pleocroísmo débil, con pulido bueno y reflectividad baja. La goethita por reemplazo pseudomorfo de pirita.		
	NC: La goethita presenta anisotropía notable de gris azulado a gris, con reflejos internos marrón rojizo o amarillo amarronado.		
Abreviaturas: Gth: Goethita, Hem: Hematita (Warr, 2021; Whitney & Evans, 2010).			