

CAPÍTULO I

Introducción y Objetivos

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción al área de estudio

La provincia geológica Macizo del Deseado (Feruglio, 1949) se encuentra ubicada en el sur de la Patagonia Argentina, provincia de Santa Cruz, abarcando un área de 60.000 km², que se extiende entre el río Deseado (límite norte que lo separa de la cuenca del Golfo San Jorge) y el río Chico (que limita al sur con la cuenca Austral) y, desde la costa Atlántica en el este, hasta Cordillera Patagónica Austral al oeste (Figura 1.1).

El Macizo del Deseado se caracteriza por la presencia de mineralizaciones de metales preciosos que se encuentran espacial, temporal y genéticamente relacionadas a un extenso magmatismo bimodal ocurrido en el Jurásico (Guido y Schalamuk, 2003). No obstante, la ubicación, génesis y estilo eruptivo de los centros emisores de este vulcanismo ha sido durante años motivo de numerosas discusiones (Panza, 1982; Echeveste *et al.*, 2001; Guido, 2004; Echavarría *et al.*, 2005; Sruoga *et al.*, 2008).

Esta provincia ha sido, desde el descubrimiento del Yacimiento Cerro Vanguardia, objetivo de diversos y numerosos estudios geológicos y metalogénicos. Durante estos últimos 20 años se han incrementado las tareas de prospección y exploración geológico-minera, y como resultado han sido localizados varios sectores con manifestaciones minerales epitermales y polimetálicas. Varios de estos depósitos cuentan con importante información geológica, estructural y metalogénica, sin embargo existen sectores del Macizo del Deseado que no han sido aun debidamente estudiados, siendo uno de ellos el sector sudoccidental.

Estos factores motivaron la realización de la presente investigación, seleccionándose el Distrito Cerro Primero de Abril como zona de estudio por la presencia de características atípicas en las unidades geológicas, sumado a una abundante concentración de depósitos minerales económicos (entre los cuales se destacan los proyectos Mina Martha y Manantial Espejo). El sector sudoccidental del Macizo representa una región con características geológicas distintivas y de gran potencialidad económica en la provincia metalogénica Deseado.

1.2. Estructura de la tesis doctoral. Definición de los objetivos y plan de trabajo

1.2.1. Objetivos

El objetivo general del proyecto es el entendimiento e interpretación de la geología regional y las mineralizaciones del Distrito Cerro Primero de Abril. Para esto, se definieron tópicos de trabajo a partir de los objetivos específicos que se aspiran alcanzar:

1) Reconocer y estudiar en detalle las unidades geológicas presentes en el Distrito, haciendo especial hincapié en la estratigrafía de la secuencia volcánica, determinando su ambiente y procesos de formación.

2) Obtención de datos petrográficos, calcográficos, mineralógicos, geoquímicos, geocronológicos e isotópicos de las mineralizaciones y de las unidades volcánicas del área, que permita reconstruir y caracterizar los procesos volcánicos, e interpretar su génesis.

3) Determinar la relación de la estructuración regional con las unidades volcánicas y con la mineralización, generando un modelo estructural del Distrito.

4) Identificar y estudiar en detalle las mineralizaciones del área. Utilizar técnicas analíticas que permitan la caracterización de las mismas.

5) Determinar la vinculación espacial, temporal y genética de las mineralizaciones con las unidades geológicas presentes en el Distrito.

6) Comparar los resultados obtenidos con los logrados por otros investigadores en el área Mina Martha, con el fin de enmarcarlos regionalmente en un modelo metalogénico distrital, extrapolando las conclusiones al ámbito de la provincia metalogénica del Deseado.

El objetivo final logrado fue definir el modelo geológico-metalogénico regional, explicando e

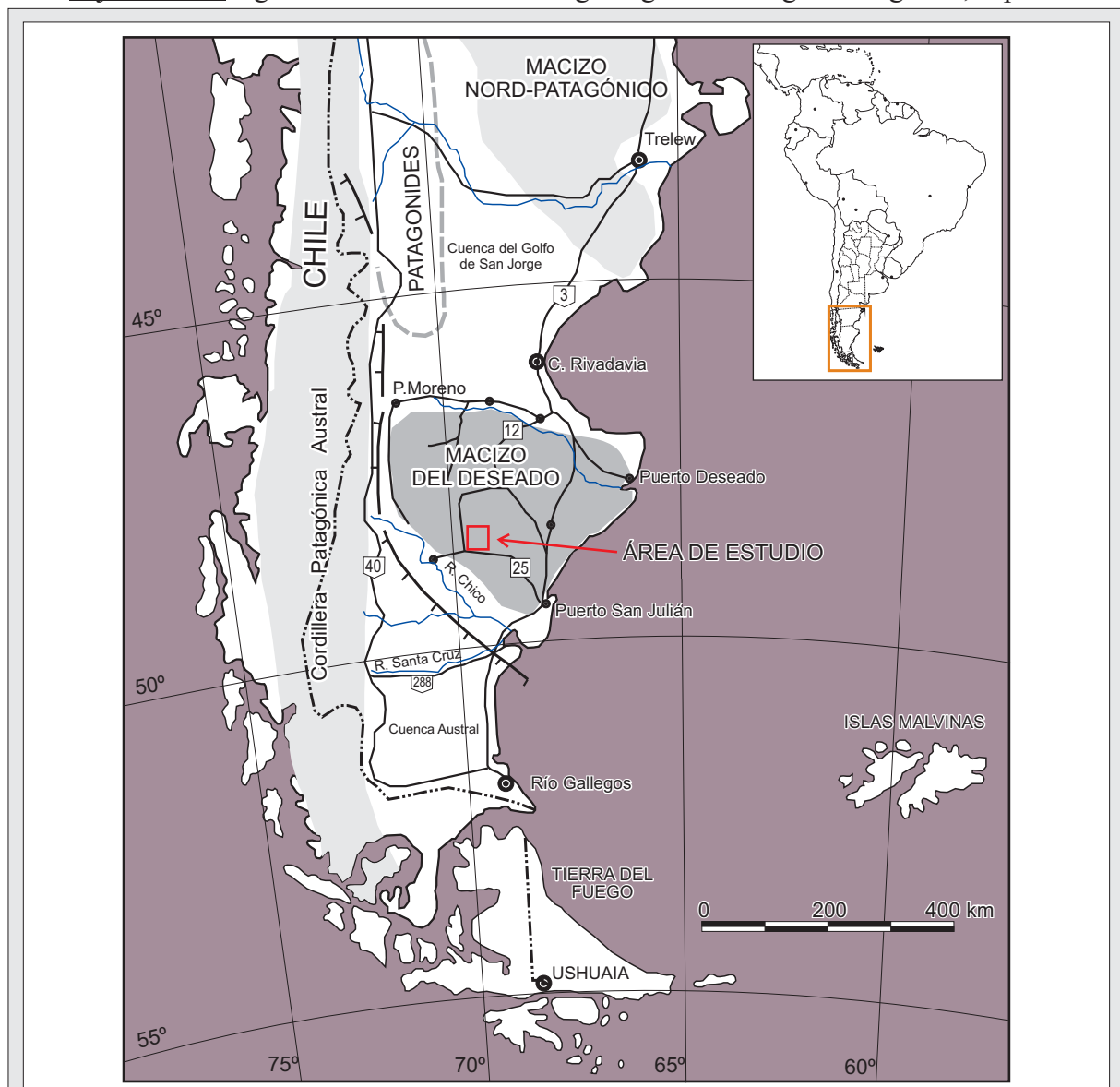


Figura 1.1. Mapa de ubicación regional de la entidad geológica Macizo del Deseado, con la localización del área de estudio.

integrando la geología, con las mineralizaciones presentes en el Distrito Cerro Primero de Abril.

1.2.2. Plan de trabajo

Para llevar adelante estas tareas y cumplir con los objetivos, se confeccionó un plan de trabajo conformado por tres etapas a realizarse consecutivamente:

La primera etapa (Figura 1.2) consistió en llevar a cabo los trabajos de campo, previa recopilación y análisis de los antecedentes éditos e inéditos (geológico y mineros) del área de interés, incluyendo fotos aéreas e imágenes satelitales. Luego, se realizó el reconocimiento de campo y un mapeo geológico regional (a escala 1:20.000) del Distrito con muestreo de las unidades geológicas aflorantes y de los distintos tipos litológicos, con énfasis en el entendimiento de las sucesiones volcánicas. Posteriormente, se relevó a escala 1:5.000 las estructuras mineralizadas, realizándose un mapeo geológico, estructural y metalogénico de detalle en cada una de ellas, tomando muestras para los estudios mineralógicos, geoquímicos y de caracterización de fluidos. Finalmente, se integró toda la información obtenida (base de datos geológica y metalogénica del Distrito) en un Sistema de Información Geográfica (SIG), dándole a toda la información obtenida un marco espacial claro y definido.

La segunda etapa (Figura 1.2) se enfocó en llevar adelante los trabajos gabinete y estudios de laboratorio, realizando estudios petrográficos y lito-geoquímicos (mayoritarios, trazas y tierras

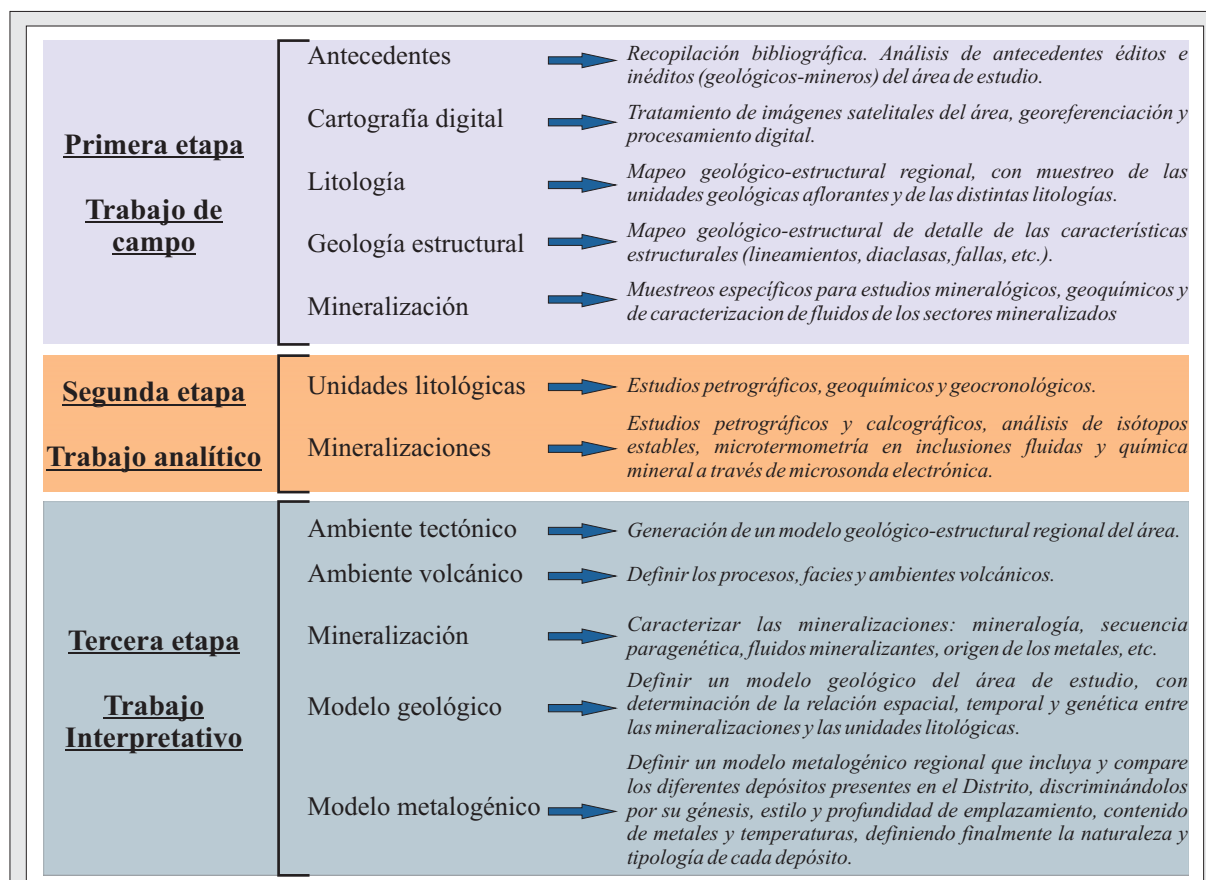


Figura 1.2. Diagrama conceptual de la estructura metodológica en etapas de trabajo consecutivas llevadas a cabo en la presente tesis doctoral, con el detalle de las tareas realizadas en cada una de ellas.

raras) y geocronológicos de las unidades geológicas jurásicas, junto a estudios petrográficos, calcográficos, inclusiones fluidas e isótopos estables sobre las mineralizaciones, permitiendo caracterizar los diferentes pulsos mineralizantes, los minerales de mena y de ganga, y las características del fluido hidrotermal que dio lugar a las mineralizaciones.

Por último, la tercera etapa (Figura 1.2) consistió en realizar un análisis profundo de los datos y la información recabada en las dos etapas previas, logrando descifrar e interpretar las características tan particulares de la geología y mineralizaciones del Distrito Cerro Primero de Abril, determinando además la relación espacial, temporal y genética existente entre ellas, para finalmente definir el modelo geológico-metalogénico en el cual se enmarcan.

1.2.3. Estructura de la presente Tesis Doctoral

Los resultados de esta investigación han sido organizados en cuatro capítulos, en donde se tratan separadamente los distintos aspectos geológicos y metalogénicos del área, y 7 anexos con los mapas regionales y de detalle confeccionados, descripción de las técnicas aplicadas, metodologías de preparación y equipos de laboratorios utilizados y finalmente, las tablas con los resultados geoquímicos correspondientes.

En el **capítulo I** (“Introducción y Objetivos”) se presenta el área de estudio, la estructura y los objetivos de la investigación, y se describen brevemente las distintas técnicas y metodologías utilizadas en los trabajos de campo y de gabinete y los análisis de laboratorios.

El **capítulo II** (“Geología”) comprende inicialmente un breve análisis del origen y los procesos intervinientes en la génesis de las provincias ígneas magmáticas en general y Chon Aike en particular, para luego realizar una caracterización de Macizo del Deseado y finalmente, exponer los resultados de los estudios de campo, de laboratorio y gabinete realizados en el Distrito Cerro Primero de Abril.

En el **capítulo III** (“Metalogénesis”) se estudian en detalle las tres áreas con presencia de estructuras vetiformes mineralizadas del Distrito (Wendy, Argenta y Malbec), describiendo en cada una de ellas sus características generales (mineralogía, esquema de pulsos mineralizantes, microtermometría, caracterización geoquímica y marco estructural). Luego, a partir de los resultados de isótopos estables de carbono, oxígeno y azufre, se realizó una primera aproximación sobre la génesis y evolución de los fluidos hidrotermales en el Distrito. Por último, y considerando su extensión y buen grado de preservación, se realizó una breve caracterización de los depósitos de *hot spring* presentes.

El **capítulo IV** (“Discusiones y Conclusiones”) integra toda la información obtenida, discutiendo las evidencias de campo y de gabinete que permitieron definir claramente el origen, naturaleza y la evolución de los dos sistemas magmáticos que interactuaron durante el jurásico, produciéndose fenómenos de mezcla de magmas que generaron una estructura volcánica de colapso tipo Caldera para el jurásico del Macizo del Deseado. También se discute la génesis y evolución de los fluidos hidrotermales y la fuente de los metales, evaluando las implicancias

genéticas de las texturas observadas en las estructuras en los procesos de precipitación mineral para finalmente, e integrando toda la información obtenida en el capítulo precedente, clasificar a que tipología de depósito mineral pertenece cada sistema mineralizado. Además, se definieron las relaciones temporales, espaciales y genéticas entre esta actividad magmática jurásica, los sistemas hidrotermales asociados y el marco estructural distrital, obteniendo así un modelo geológico-metalogénico para el Distrito Cerro Primero de Abril.

Es importante remarcar que esta investigación no solo aumentó el conocimiento del sector sudoccidental del Macizo, sino que además, al ser un edificio volcánico jurásico preservado claramente en el ámbito del Macizo, permite evidenciar la importancia relevante que estos edificios volcánicos han tenido en el desarrollo del vulcanismo jurásico.

Por último, en el apartado final se organizaron los **7 anexos** correspondientes al mapa geológico distrital ([anexo I](#)), descripción litofacial ([anexo II](#)), análisis litogeoquímicos ([anexo III](#)), datos geocronológicos $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ([anexo IV](#)), mapas metalogénicos de cada una de las tres áreas mineralizadas ([anexo V](#)), estudios de isótopos estables ([anexo VI](#)) y finalmente los estudios de química mineral ([anexo VII](#)) realizados con microsonda electrónica.

1.3. Área de estudio

El Distrito Cerro Primero de Abril, área de estudio del presente trabajo de tesis doctoral, se encuentra ubicado en el sector sudoccidental del Macizo del Deseado, entre los $48^{\circ} 31' 28''$ a $48^{\circ} 45' 35''$ de latitud sur y $69^{\circ} 44' 50''$ a $69^{\circ} 32' 15''$ de longitud oeste. Este sector abarca una superficie de $404,3 \text{ km}^2$ y se corresponde con el área centro sur de la Hoja Geológica 4769-I (Gobernador Gregores), del Servicio Geológico Minero Argentino, a escala 1:250.000, realizada por [Panza et al. \(1998\)](#).

Este Distrito está localizado a 50 km al NE de la localidad de Gobernador Gregores, Santa Cruz. Se accede a través de la ruta provincial n° 12 desde la localidad de Pico Truncado, y por la ruta provincial n° 25 a través de la localidad de Puerto San Julián (Figura 1.3).

Presenta un paisaje en donde la acción fluvial ha sido el agente modelador más importante, siendo también relevante los efectos producidos por la acción eólica y fenómenos de remoción en masa ([Panza et al., 1998](#)).

El sector sur del Distrito se caracteriza por un paisaje de lomadas negruzcas, bajas y redondeadas, en donde los afloramientos rocosos son en general poco marcados y el drenaje presenta un diseño dendrítico bien desarrollado, con poco control estructural. Por otra parte, en el sector centro y norte se constituye un paisaje más abrupto, con potentes mantos ignimbríticos que resaltan en el relieve formando altos paredones, abruptas crestas y pináculos de paredes subverticales. En estos sectores el drenaje es de tipo rectangular debido al fuerte control ejercido sobre los cursos de agua por diaclasas y fracturas, con un régimen efímero que no suele desarrollar planicies aluviales. Además, se reconocen en los sectores en donde dominan los depósitos sedimentarios retrabajados con un relieve suave y ondulado, una red de drenaje poco

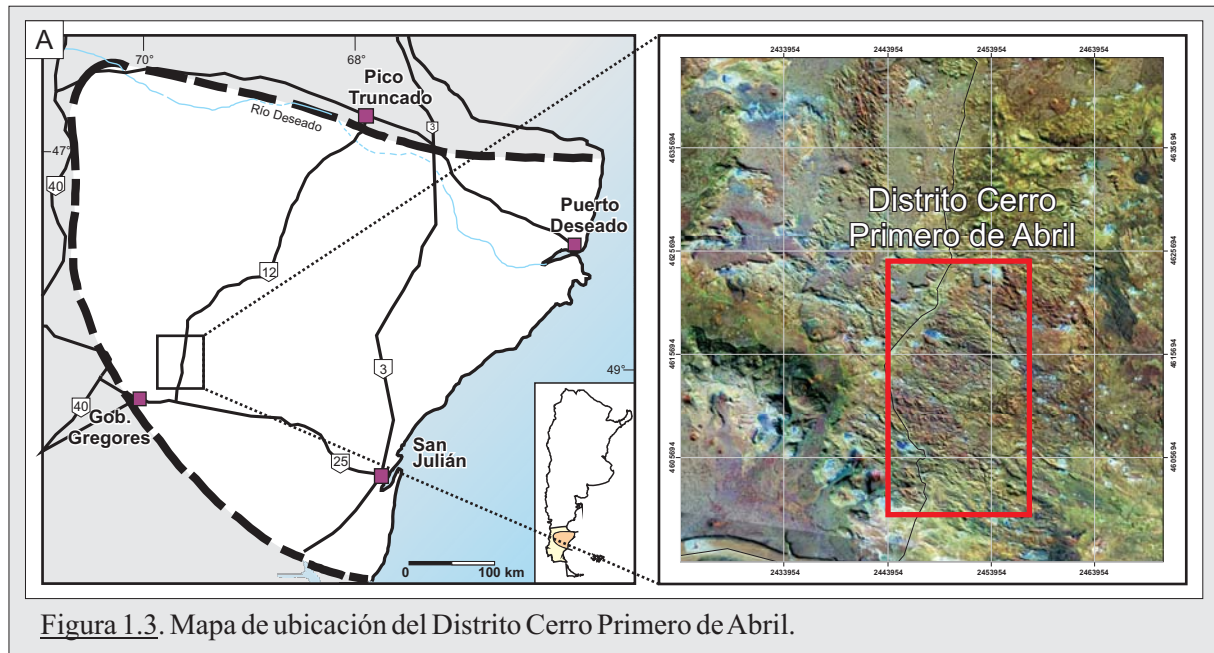


Figura 1.3. Mapa de ubicación del Distrito Cerro Primero de Abril.

desarrollada dada por la presencia de numerosas depresiones sin salida que determinan un diseño centrípeto multicuenal con pocos colectores que drenan hacia los bajos endorreicos (Panza *et al.*, 1998).

El clima de la región es semidesértico, de escasa pluviosidad que se da principalmente en épocas invernales y con un promedio anual de 200 mm. La presencia de fuertes vientos es normal en gran parte del año (con velocidades promedio de 20 a 45 km/h y ráfagas que superan los 120 km/h). Las temperaturas promedio en verano son de 13,5 °C y en invierno de 1,6 °C con una temperatura mínima promedio de -3,9 a 8 °C y una máxima promedio de 4,7 a 21,2 °C (www.smn.gov.ar).

La vegetación es de tipo estepa arbustiva de ambiente semidesértico, con especies características como el molle, calafate, mata negra, y coirón, mientras que la fauna autóctona está representada por guanacos, choiques, pumas, maras, armadillos, zorros grises y colorados, junto a numerosos roedores, lagartijas y arañas.

1.4. Técnicas, metodología y estudios realizados

1.4.1. Tareas de gabinete y de campo

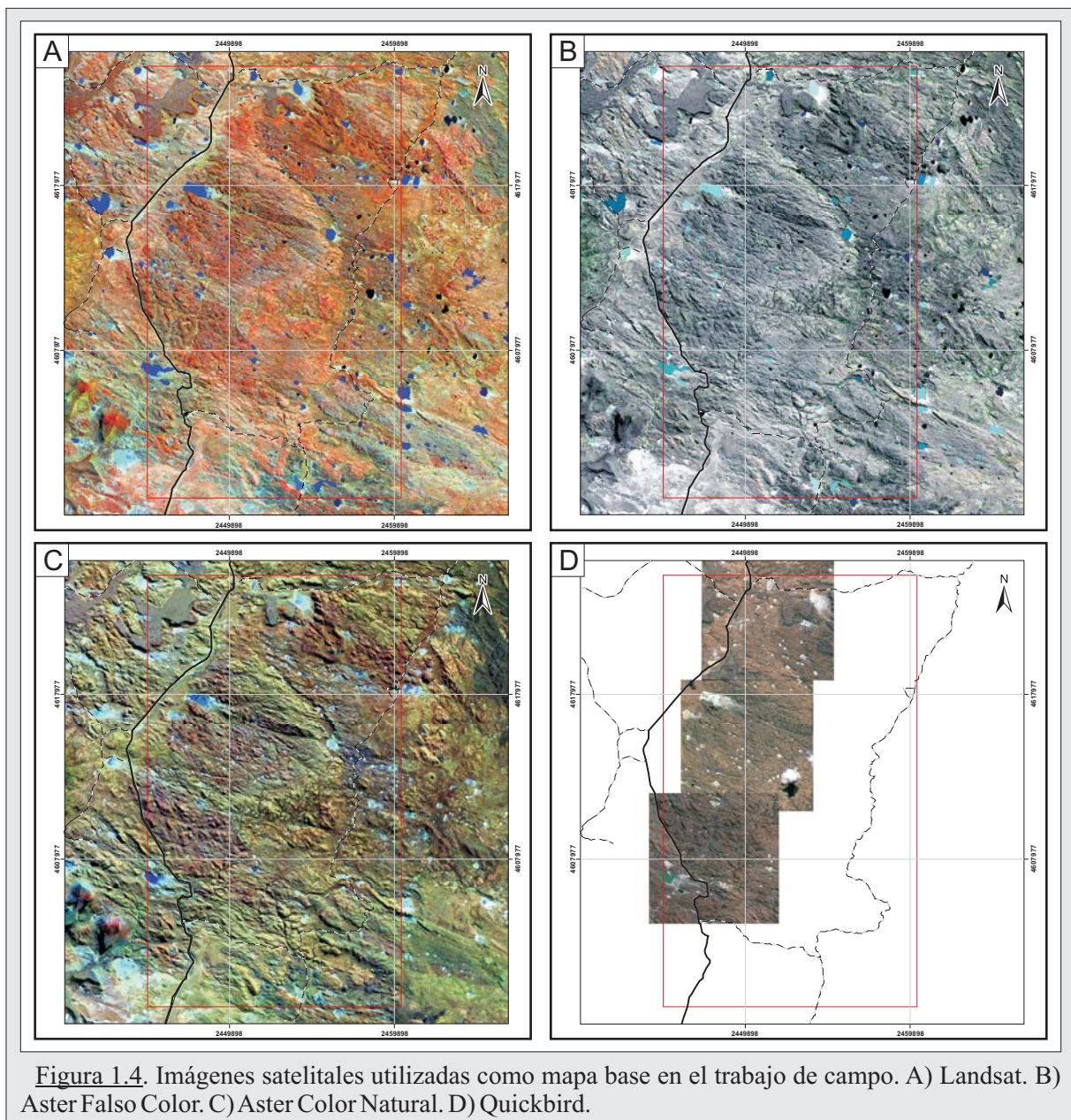
Cartografía digital y procesamiento de imágenes satelitales.

Previo a las tareas de campo se analizó e integró toda la información disponible del Distrito, contándose con antecedentes (mapas geológicos, puntos de muestreos con sus respectivos resultados, etc.) realizados por los equipos geológicos de las empresas que trabajaron previamente en algunos sectores del Distrito (Yamana Resources y Coeur Argentina), y con imágenes Aster, Landsat TM, Spot y Quickbird, todas ellas georeferenciadas en coordenadas

métricas Gauss Krugger, datum Campo Inchauspe-faja 2.

Se realizó una clasificación de las imágenes para ser utilizadas de acuerdo a dos escalas de trabajo. Para el mapeo geológico-estructural regional realizado a escala 1:20.000 se utilizaron dos imágenes satelitales Aster con una resolución espacial de 15 m (Figura 1.4-A y 1.4-B), y una imagen Landsat TM 5 con 30 m de resolución espacial utilizando una combinación de bandas RGB 741. Sobre esta imagen se realizó la fusión de la imagen pancromática del satélite Spot (Imagen TM-Spot), otorgándole una resolución espacial final de 10 m (Figura 1.4-C).

Para el mapeo geológico-metalogénico detallado realizado a escala 1:5.000 se utilizaron como base los mapas geológicos previos, el *mineral index* de las alteraciones hidrotermales elaborado a partir de un procesamiento especial de las imágenes Aster y las imágenes utilizadas en la etapa regional, incorporando a esta instancia de mapeo a las imágenes *Quickbird* de tres sectores en particular, las cuales poseen una resolución espacial de 30 cm (Figura 1.4-D).



Mapeo geológico regional y de detalle

Se realizó entre los meses de Enero de 2007 y Febrero de 2009, llevándose a cabo 7 campañas regionales de levantamiento y mapeo con muestreo de todas las unidades geológicas reconocidas, y 4 campañas de mapeo y muestreo de las mineralizaciones (áreas Wendy, Argenta y Malbec) en superficie y en testigos corona de perforaciones.

Se totalizaron 250 días de trabajo de campo, en donde el Distrito fue relevado a escala regional (1:20.000) y de detalle (1:5.000), tomándose 790 puntos de control con observaciones litológicas, de las mineralizaciones y datos estructurales, recolectando 285 muestras para los estudios analíticos (petrografía, geoquímicas, calcografía, microtermometría, etc.).

Los datos recabados en el campo (litología, contactos, lineamientos, estructuras mineralizadas, puntos de muestreo, etc.) fueron graficados sobre las imágenes satelitales, a las cuales se les sobreimpuso una grilla de coordenadas Gauss-Krüger Faja 2 (datum Campo Inchauspe). En el transcurso del mapeo, se identificaron las diferentes litologías presentes intentándose además, establecer las relaciones de campo entre las unidades volcanoclásticas reconocidas. Esta información obtenida está compilada para su tratamiento, junto con las imágenes satelitales previamente procesadas, en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

1.4.2. Trabajos de laboratorio

Estudios petrográficos y calcográficos

Para la caracterización petrográfica de las unidades litológicas se realizaron 102 secciones delgadas, mientras que para el estudio de los minerales que conforman la mena y ganga de las estructuras mineralizadas y los minerales productos de la alteración hidrotermal se realizaron 42 secciones delgadas y 26 pulidos calcográficos.

Estos estudios fueron realizados en el laboratorio del Instituto de Recursos Minerales (INREMI), de la Universidad Nacional de La Plata.

Geoquímica de roca

Durante los trabajos de campo se efectuó un muestreo geoquímico representativo de las unidades volcánicas aflorantes en la región, tomándose un total de 72 muestras de roca con un doble propósito; por un lado investigar las características geoquímicas del volcanismo de este Distrito y por el otro, utilizar los datos en la resolución de problemas estratigráficos generados a partir de la dificultad de asignar posiciones estratigráficas a determinados afloramientos.

La literatura sobre las ignimbritas del Macizo del Deseado ha demostrado que presentan dispersiones relativamente bajas en la distribución tanto de elementos mayoritarios como trazas, característica que nos permite utilizar los datos geoquímicos como un elemento más en la

caracterización de las unidades volcánicas.

Los análisis de elementos mayoritarios, trazas y elementos de tierras raras (ETR) han sido realizados en los Laboratorios ACME Argentina y Canadá, y sus resultados certificados constan en el Anexo III.

Geoquímica de las estructuras mineralizadas

Durante los trabajos de mapeo detallado no se realizó un muestreo sistemático de las estructuras mineralizadas para su análisis geoquímico, debido a que se contaba con la información de los análisis realizados por la empresa Coeur Argentina, propietaria de los cateos mineros.

Esta información integra una base de datos con 1483 análisis en Au, Ag, Cu, Zn y Pb sobre muestras de superficie (chips, canaletas, etc.) y 3053 análisis químicos en Au y Ag en muestras de testigos corona de perforaciones, la cual se utilizó en la caracterización geoquímica de las áreas Wendy, Argenta y Malbec.

Determinaciones geocronológicas

Se realizaron tres determinaciones geocronológicas en unidades volcánicas con la metodología “*Ar/Ar Step heating*”, utilizando como mineral descriptor a la sanidina, con el fin de ubicar temporalmente a las unidades más relevantes de la secuencia volcánica jurásica.

Las determinaciones geocronológicas se realizaron en el laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN). Los informes certificados emitidos por el laboratorio, en donde constan los resultados obtenidos, han sido recopilados en el Anexo IV.

Estudios de inclusiones fluidas

Se realizaron 90 análisis microtermométricos sobre 13 muestras de las estructuras presentes en las áreas Wendy, Argenta y Malbec, tanto en minerales transparente (cuarzo, calcita y adularia) como en minerales semitransparente (esfalerita y pirargirita) (Anexo V).

El objetivo buscado con esta metodología fue poder obtener las temperaturas de precipitación y la salinidad de los fluidos hidrotermales de cada área, realizando, en los casos en lo que fue posible, una discriminación de estas características para los distintos pulsos presentes en cada sistema mineralizado.

Los estudios de inclusiones fluidas se llevaron a cabo en el *Laboratorio de Inclusiones Fluidas y Metalogénesis (LIFM)* del *Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)*, Belo Horizonte, Brasil.

Estudios de isótopos estables

Estos estudios se llevaron a cabo analizando la composición isotópica del Carbono ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$) en 4 muestras de calcita, de azufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) en 19 muestras de galena, esfalerita, pirita y arsenopirita, y de oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en 28 muestras de cuarzo y adularia. Los mismos se han realizados para estimar el origen, naturaleza y evolución de los fluidos hidrotermales en el Distrito.

Los análisis de isótopos estables han sido llevados a cabo en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España. La descripción detallada de las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos han sido recopilados en el Anexo VI.

Estudios de microsonda electrónica

Se realizaron 31 análisis químicos puntuales sobre granos minerales utilizando una microsonda electrónica JOEL, modelo JCXA-8900RL, equipada con espectrómetros tipo WDS (*wavelength dispersive spectrometer*) y un espectrómetro tipo EDS (*energy dispersive spectrometer*). Las condiciones operacionales utilizadas fueron 20Kv (voltaje) y 25nA (corriente) con un tiempo de 40s por cada uno de los elementos analizados. Las condiciones analíticas fueron las siguientes: S ($\text{K}\alpha$, PETJ); Fe ($\text{K}\alpha$, LIF); Ag ($\text{L}\alpha$, PETJ); Cu, ($\text{K}\alpha$, LIF); Sb ($\text{L}\alpha$, PETJ); Zn, ($\text{K}\alpha$, LIF); Pb ($\text{M}\alpha$, PETJ).

Los análisis de microsonda electrónica se han realizado en el *Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Química-Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG-CDTN/CNEN)*, Belo Horizonte, Brasil. La descripción detallada de la metodología aplicada, estándares utilizados y los resultados obtenidos han sido recopilados en el Anexo VII.