

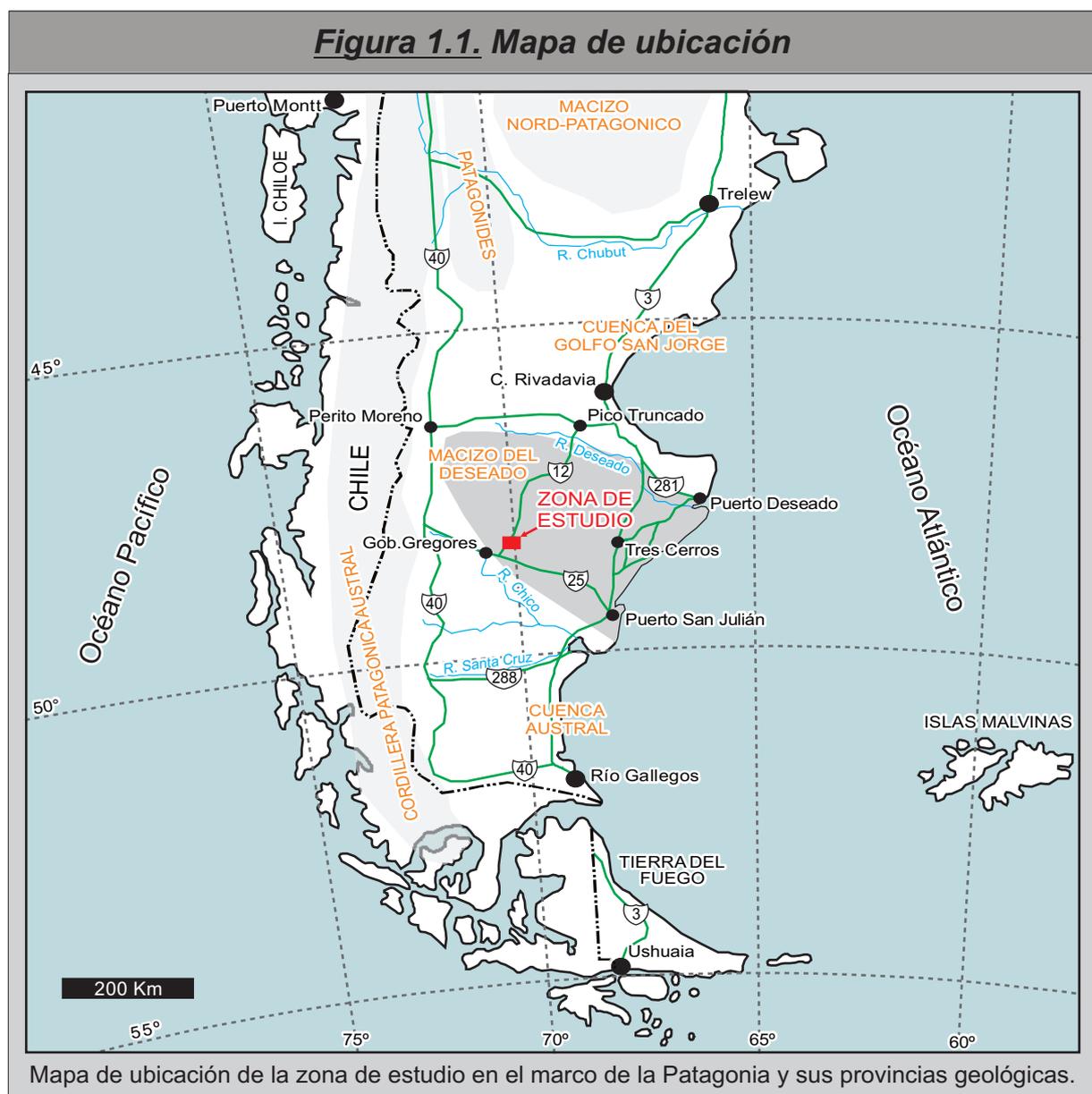
Capítulo 1:

Introducción al área de estudio.

1.1. Introducción y ubicación del área de estudio

El yacimiento argentífero Mina Martha se encuentra ubicado en el sector sudoccidental del Macizo del Deseado, a unos 50 km al NE de la localidad de Gobernador Gregores (Figura 1.1). Está en explotación desde el año 2001 y es propiedad de la empresa Coeur Argentina SRL, subsidiaria de Coeur d'Alene Mines Corporation.

Mina Martha se convirtió en Junio de 2002 en el segundo yacimiento de metales preciosos en entrar en producción en la región (Páez *et al.*, 2008). Se trata de un sistema de vetas de cuarzo-adularia alojadas en las rocas de la Fm. Chon Aike. Las estructuras mineralizadas comprenden múltiples episodios de relleno y brechamiento, con una mineralización de muy alta ley principalmente argentífera con oro y metales base asociados (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004). Posee una elevada relación Ag:Au, que oscila entre 900-1000:1 y una zona de alteración hidrotermal restringida, conteniendo adularia y cuarzo-



calcedonia ± sericita. La extracción es por métodos subterráneos (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004 y 2008; Páez *et al.*, 2008).

1.2. Trabajos previos en la zona

El Macizo del Deseado se caracteriza por la presencia de numerosos depósitos y manifestaciones epitermales, lo que permitió que Schalamuk *et al.* (1999) definiesen a esta región como una provincia metalogénica auroargentífera. La mayoría de las mineralizaciones epitermales observadas en el área pueden clasificarse como del tipo Baja Sulfuración (Guido and Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008), sin embargo durante la última década se han definido algunos depósitos de tipo Polimetálico y otros de tipo Sulfuración Intermedia (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004; Guido *et al.*, 2005; Jovic *et al.*, 2010).

El sistema de vetas presente en Mina Martha fue descubierto por la Compañía Minera Polimet, subsidiaria de Yamana Resources Inc., quienes lo bautizaron Proyecto Bacon (Figura 1.2; Bradley y Walters, 1999). El descubrimiento de los sectores de alta ley fue realizado durante una campaña de reconocimiento desarrollada en Abril de 1997, donde muestreos arrojaron valores en superficie de hasta 1250 g/t Ag. En función de estos resultados se realizó una corta campaña de perforaciones de reconocimiento durante 1998, definiendo los primeros sectores de alta ley, con contenidos mayores a 5000 g/tAg (Páez *et al.*, 2008).

Este descubrimiento llevó a la planificación de un intenso programa de perforaciones durante 1999, a lo largo de 75 metros en el rumbo de la veta Martha. Los resultados obtenidos permitieron definir tres

Figura 1.2. Mina Martha en el año 1999

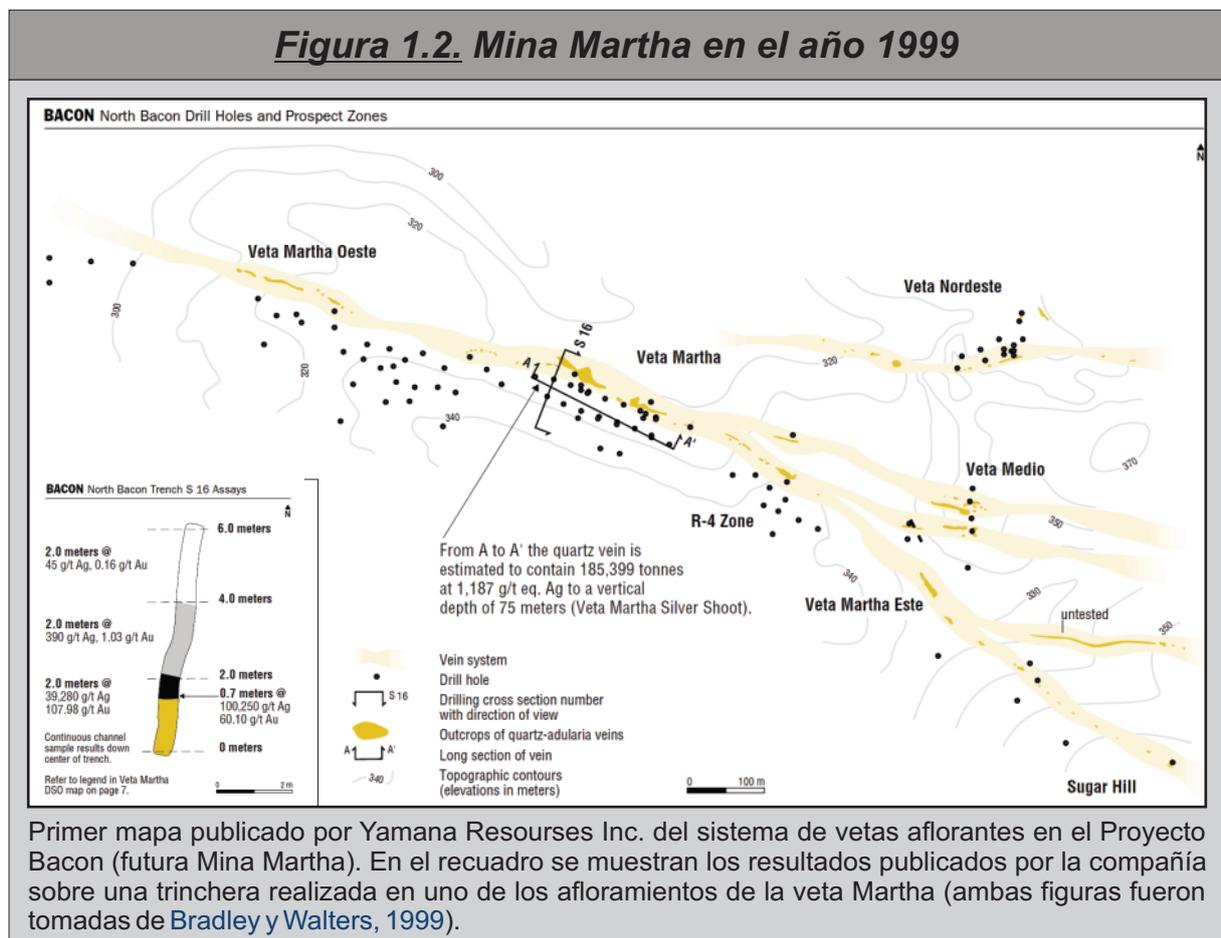
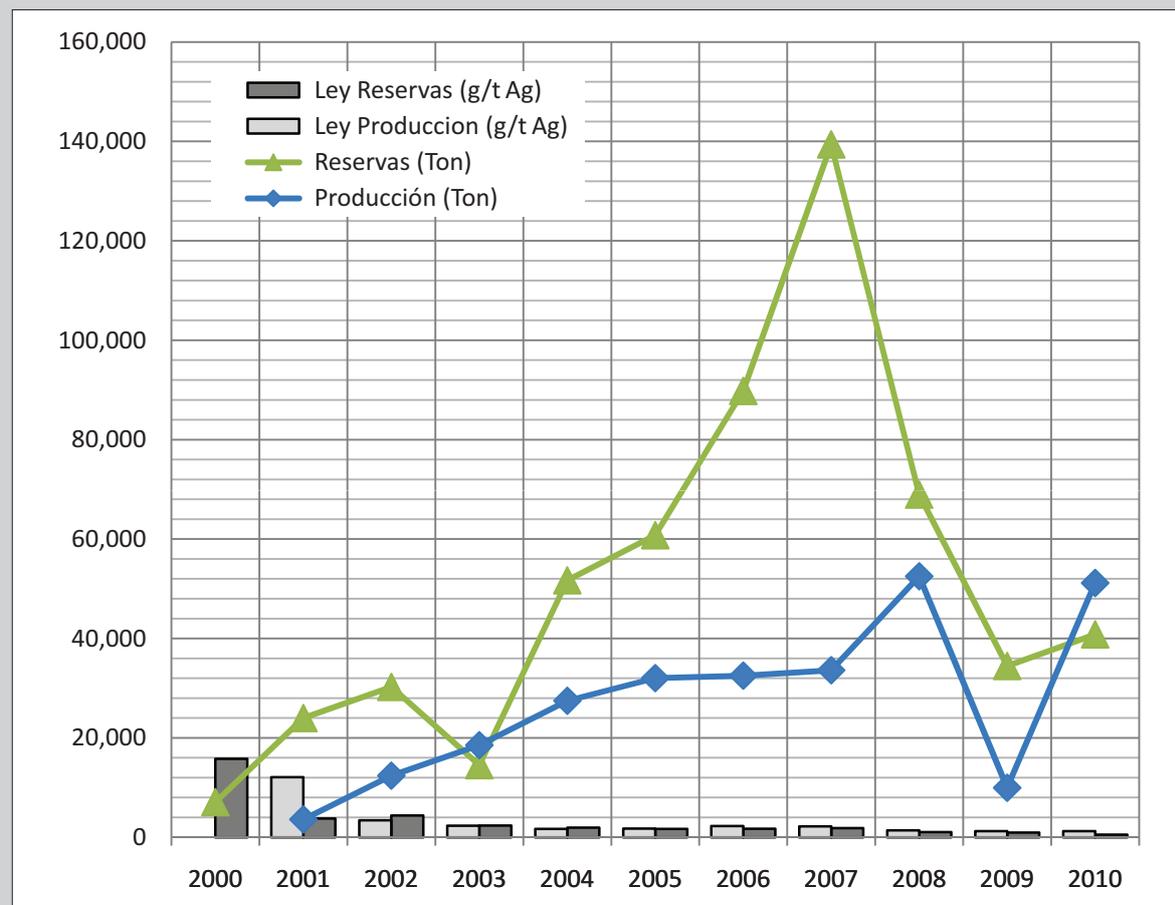


Figura 1.3. Producción vs. reservas del yacimiento

Gráfica mostrando la evolución de la producción y las reservas presentes en el yacimiento (Datos compilados de Páez *et al.* (2008), Sims (2010) y Krebs y Wheeler (2011)).

bolsones contiguos de muy alta ley (“Veta Martha Silver Shoot”), con tenores tan elevados que permitían su embarque directamente a fundición. Considerando una profundidad de 35 metros, estos bolsones, contenían recursos por unas 3,7 millones de onzas equivalentes de plata (con una ley de corte de 5000 g/t Ag eq.) dentro de 6.259 toneladas de mena con ley promedio del orden de 15.000 g/t Ag (Páez *et al.*, 2008).

En el año 2000 la empresa recibió la aprobación del estudio de impacto ambiental para la construcción de la mina, y firmó un acuerdo con un contratista para llevar a cabo el desarrollo y minado del yacimiento. Dichas tareas estaban planeadas para comenzar en Septiembre y Diciembre respectivamente, sin embargo el inicio de la producción fue postergado hasta Enero del 2001 (Torres 2002; Páez *et al.*, 2008).

El primer envío de mineral partió en Febrero de 2001, y las tareas de minado y envío continuaron hasta Agosto de 2001, cuando una fuerte tormenta de nieve interrumpió las operaciones. Los envíos de mineral desde las pilas de acopio se retomaron en Octubre y se sucedieron hasta Diciembre de 2001, sin embargo las operaciones de minado nunca fueron retomadas (Torres 2004; Páez *et al.*, 2008).

Durante la corta vida de las operaciones realizadas por Yamana Resources Inc. en Mina Martha, se realizaron 17 envíos que totalizaron unas 3.628 toneladas de mineral (Figura 1.3), que luego de su paso por la fundición rindieron un total de 1.840.000 oz de Ag eq. Esto representó un 20% menos de las toneladas y un 40% menos de las onzas planeadas originalmente. Esta diferencia se debió principalmente a malos inviernos que atrasaron la producción, el uso de métodos de minado

posiblemente inapropiados, y leyes inferiores a las anticipadas originalmente. Esta deficiencia en los contenidos de plata obtenidos, sumado al descenso de los precios de la plata hacia fines del 2001 hizo que Yamana tomara la decisión de buscar un comprador para las operaciones (Páez *et al.*, 2008).

En Abril de 2002, Coeur Argentina S.R.L. compro el 100% de las acciones de la Compañía Minera Polimet. Con esta compra Coeur adquirió Mina Martha y un paquete de proyectos altamente prospectivos alrededor del área de operaciones, que totalizaban unas 65.000 Ha. En ese momento Mina Martha poseía un estimado de 24.000 tn de recursos y reservas (Figura 1.3), con una ley promedio de 2,66 g/t Au y 3.776 g/t Ag (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). El plan de desarrollo y explotación estuvo basado en almacenamiento de zafras (shrinkage stoping). Se seleccionó un contratista y el desarrollo de la mina comenzó en Mayo de 2002 (Figura 1.4). El transporte del mineral se inició a finales de Junio de 2002. Algo de mineral fue extraído durante las tareas de desarrollo, sin embargo la mayoría del mineral transportado durante los dos primeros meses de actividad provino de las pilas de acopio dejadas en superficie por las actividades extractivas desarrolladas por Yamana. Para agosto de 2002, las pilas se agotaron y el mineral enviado provenía en su totalidad de las áreas desarrolladas de interior mina. El mineral extraído en Mina Martha era transportado en camiones más de 900 km para ser procesado en la planta de la Mina Cerro Bayo ubicada en Chile Chico, República de Chile, también propiedad de Coeur (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010).

Hacia fines de 2002, fue descubierto un recurso de menor ley justo al este de los trabajos subterráneos. Una evaluación de este recurso mostró que era factible de ser extraído mediante minería de superficie. Se diseñó y abrió un rajo, y las actividades de minado superficial comenzaron en Diciembre

Figura 1.4. Actividades extractivas en Mina Martha



Trabajos mineros en el área de Mina Martha. a) Vista del sitio de la mina en el año 2002; b) vista general del yacimiento en el año 2009; c) y d) Trabajos extractivos en los laboreos subterráneos (las fotos a y c son una cortesía de Coeur Argentina).

de 2002. La exploración desarrollada en inmediaciones de Mina Martha en 2002, también definió una nueva zona de alta ley llamada R4, 100 m al este de la mina. La rampa de acceso a la veta R4 se inició en Julio de 2003 y la extracción de mineral fue en Octubre de 2003. Durante ese año también se realizaron tareas exploratorias adicionales en las áreas R4, R4A, Nordeste y en el sector de las Vetas Del Medio, que permitieron reconocer otros sectores de alta ley (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). Las actividades de exploración del 2004, permitieron dar a conocer el descubrimiento de dos nuevas estructuras mineralizadas con alta ley llamadas Francisca y Catalina. También en el 2004, se perforaron las vetas existentes en profundidad, permitiendo identificar varias áreas nuevas con alta ley en las Vetas Martha, R4, Del Medio, Del Medio Norte, y Belén. Hacia finales del 2004, las reservas se habían incrementado en un 290% respecto al 2003 (Figura 1.3).

Durante el año 2005, Coeur anunció el descubrimiento de la veta Betty Oeste, ubicada a menos de un kilómetro al norte de la mina. Adicionalmente, las tareas exploratorias también definieron la extensión de las zonas mineralizadas de las vetas Martha y R4. Ese año las reservas se ampliaron en un 59% con respecto al año anterior (Figura 1.3; Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). La exploración desarrollada durante el 2006 se enfocó principalmente en definir la continuidad a lo largo del rumbo y en profundidad de las estructuras mineralizadas Martha, R4, Catalina y Francisca. Como resultado las reservas incrementaron un 50% respecto al 2005 y se comenzó a construir una planta de procesamiento (Figura 1.4).

Durante el año 2007 se completó la construcción de una pequeña planta de concentración por flotación, que fue terminada hacia finales del año. Desde entonces todo el mineral extraído del yacimiento ha sido procesado en el lugar. Finalmente, desde el año 2008 hasta la actualidad no se han encontrado nuevos cuerpos mineralizados en el yacimiento, por lo que las reservas de la mina han ido en disminución desde entonces (Figura 1.3; Sims, 2010; Krebs y Wheeler, 2011).

Por último, desde el descubrimiento del yacimiento en el año 1997 se han realizado un número reducido de trabajos científicos en el área (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004 y 2008; Márquez-Zavalía *et al.*, 2008; Páez *et al.*, 2008; Cedillo Frey *et al.*, 2009; Baluz *et al.*, 2010); de esta manera, el sistema de vetas presente en Mina Martha ha permanecido relativamente poco estudiado hasta el presente. En este marco, los trabajos de Gonzalez Guillot *et al.* (2004 y 2008) y Márquez-Zavalía *et al.* (2008) se enfocaron principalmente en la mineralogía de la mena, presentando un esquema paragenético simplificado de la mineralización y un estudio parcial de las sulfosales presentes en el yacimiento. Por otro lado, los trabajos de Cedillo Frey *et al.* (2009) y Baluz *et al.* (2010) se enfocaron mayormente en caracterizar las alteraciones hidrotermales observadas en sectores de baja ley dentro del yacimiento.

1.3. Objetivos, plan de trabajo y estructura de la presente Tesis Doctoral

1.3.1. Objetivos

El objetivo general de la presente tesis es avanzar en el entendimiento de la geología y las mineralizaciones presentes en el yacimiento argentífero Mina Martha. Dentro de este esquema se intentará avanzar sobre los siguientes aspectos:

- Reconocer y estudiar en detalle las unidades geológicas presentes en el área, determinar su ambiente y procesos de formación.

- Obtener datos petrográficos, geoquímicos e isotópicos de las unidades geológicas, que permitan reconstruir los procesos volcánicos actuantes en el área.
- Caracterizar las mineralizaciones: alteraciones hidrotermales, pulsos actuantes, mineralogía, tipos de fluidos mineralizantes, edad de las mineralizaciones y origen de los metales.
- Obtener datos petrográficos, calcográficos, mineralógicos, geoquímicos, isotópicos y de inclusiones fluidas de las mineralizaciones y sus rocas asociadas, que permitan caracterizarlas en detalle.
- Determinación de la relación espacial, temporal y genética entre las mineralizaciones y las unidades geológicas presentes en el área.
- Estudiar la estructura del área, caracterizando y determinando la relación de la misma con las unidades geológicas y la mineralización.
- Definir la génesis del yacimiento argentífero Mina Martha y comparar los resultados obtenidos con otros sectores del Macizo del Deseado.

1.3.2. Plan de trabajo

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en la sección anterior, se diagramó un plan de trabajo dividido en tres etapas de trabajo consecutivas.

La primer etapa se enfocó en los trabajos de campo donde se realizaron: análisis de los antecedentes éditos e inéditos del área; tareas de mapeo regional (1:50.000) y de semidetalle (1:5.000); muestreo de las unidades geológicas aflorantes; estudio detallado de testigos corona provenientes de perforaciones realizadas en la zona; estudio detallado de las labores mineras accesibles (galerías, piques, etc); muestreo específico de las mineralizaciones en superficie, labores mineras y perforaciones. Finalmente se realizó la integración de toda la información disponible en un Sistema de Información Geográfica (GIS), que permita manejar la información en una base de datos geoposicionada para toda el área Mina Martha.

La segunda etapa se enfocó en trabajos de gabinete donde se llevaron a cabo las siguientes tareas: estudios petrográficos de las unidades geológicas; estudios geoquímicos de roca (mayoritarios, trazas y tierras raras); geocronología de roca y mineralización; estudios petrográficos, calcográficos y de rayos X de las mineralizaciones y alteraciones hidrotermales; estudios de inclusiones fluidas en minerales de ganga (cuarzo, adularia) y mena (en minerales opacos con infrarrojo); y por último análisis isotópicos de la mineralización.

Finalmente, y a partir del procesamiento de los datos y la información obtenida en las etapas anteriores, se realizó una tercera etapa de interpretación integral abarcando los aspectos geológicos y de las mineralizaciones que dio por resultado el presente trabajo de Tesis Doctoral.

1.3.2. Estructura del presente trabajo de Tesis

La presente Tesis Doctoral ha sido organizada en un total de cinco capítulos: una introducción, tres capítulos donde se presentan y discuten las observaciones y resultados obtenidos, y un capítulo final con

conclusiones. Cada uno de los capítulos está organizado con una introducción, un desarrollo y unas consideraciones finales, de manera que cada uno pueda ser leído en forma independiente al resto, es por este motivo que cada capítulo también incluye una lista de las citas mencionadas en el texto.

En el Capítulo 1 se introduce al lector a la zona de estudio, mostrando su ubicación en el marco geográfico de la Patagonia, se discuten someramente los antecedentes de la zona, para finalmente discutir la forma en la cual se presenta la información dentro del presente trabajo de Tesis.

El Capítulo 2 describe el ambiente geológico en que se encuadra el yacimiento. Para ello se realiza una caracterización de las distintas facies volcánicas observadas en el área, discutiendo aspectos texturales y geoquímicos de las distintas unidades que conforman la roca de caja del sistema de vetas.

En el Capítulo 3 se realiza una caracterización de la mineralización observada con el fin de determinar la naturaleza de los fluidos hidrotermales que dieron origen al sistema de vetas presente en el yacimiento. Para esto discuten el esquema paragenético de las vetas, la mineralogía de la mena y la ganga, las alteraciones hidrotermales observadas y los análisis de inclusiones fluidas e isótopos estables.

El Capítulo 4 se centra en los controles estructurales que actuaron como trampas para los fluidos hidrotermales durante la formación del depósito. Para esto se realiza una descripción detallada de la estructuras syn y post-minerales observadas en el yacimiento, se analiza la cinemática de las estructuras mineralizadas y se discuten los controles que ejerció la estructura sobre los contenidos de metales.

Finalmente, el Capítulo 5 recopila las observaciones e interpretaciones de los capítulos anteriores con el fin de elaborar un modelo metalogénico que explique los factores que condicionaron la formación del yacimiento Mina Martha en el marco regional del Macizo del Deseado.

1.4. Referencias

- BAULUZ, B., CEDILLO, A., SUBIAS, I., PÁEZ, G. N., RUIZ, R., GUIDO, D. M., 2010. Hydrothermal clays at the Futuro Vein, Martha Mine silver epithermal deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Trilateral Meeting on Clays (2010TMC), Abstracts. Spain.
- BRADLEY, V.H., WALTERS, R.R., 1999. Yamana Resources Inc. annual report. 24p. Available at: <http://www.sedar.com>
- CEDILLO FREY, A., PÁEZ, G. N., RUIZ, R., BAULUZ LÁZARO, B., SUBÍAS PÉREZ, I., 2009: Mineralogía de la alteración hidrotermal en el yacimiento epitermal Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (Macla) 11: 57-58.
- ECHAVARRÍA, L.E., SCHALAMUK, I.B.A., ETCHEVERRY, R.O., 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. Journal of South American Earth Sciences 19: 415-432.
- FERNÁNDEZ, R.R., BLESA, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K., ANDRADA DE PALOMERA, P., TESSONE M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (4): 665-681.
- GUIDO, D., SCHALAMUK, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. In: Eliopoulos *et al.* (editors). Mineral Exploration and Sustainable Development. Balkema-Rotterdam, Vol I: 493-496.
- GUIDO, D.M., JOVIC, S.M. AND SCHALAMUK I.B., 2005. A new metallogenic association (Sn-Cd-In-Zn-Ag-Au) in the Deseado Auroargentiferous province, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge-8th SGA Meeting, Beijing, China, Volume 2: 965-968.
- GONZALEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R., GANEM, F., 2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.
- GONZALEZ GUILLOT, M., BIEL SORIA, C., FANLO

- GONZALEZ, I., SUBIAS PEREZ, I., MATEO GONZALEZ, E., 2008. Cobres grises y sulfosales de Plata del Yacimiento Epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz (Argentina). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Macla* (9):127-128.
- JOVIC, S.M., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., RÍOS, F.J., TASSINARI, C.C.G., RECIO, C., 2010. Pingüino In-bearing polymetallic vein deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina: characteristics of mineralization and ore-forming fluids. *Mineralium Deposita* 45: 735-763.
 - KREBS, M.J., WHEELER, D.E., 2011. Coeur D'Alene Mines Corporation, Annual Report: Form K-10. 143 p. Available at: <http://www.sedar.com>
 - MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M.F., BINDI, L., MÁRQUEZ, M., MENCHETTI, S., 2008. Se-bearing polybasite-Tac from the Martha Mine, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 94 (1): 145 - 150.
 - PÁEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.
 - PANZA, J., MARÍN, G., ZUBIA, M., 1998. Descripción de la Hoja Geológica 4969-I Gobernador Gregores, provincia de Santa Cruz. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. SEGEMAR.
 - SIMS, J., 2010. Martha Mine, Santa Cruz, Argentina: NI 43-101 Technical Report. 105 p. Available at: <http://www.sedar.com>
 - TORRES, I. E., 2002. The Mineral Industry of Argentina. En: *Minerals Yearbook 2000, Volume 3: International Mineral Industries of Latin America and Canada, Chapter 2: 1-10. USGS. Disponible en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>*
 - TORRES, I. E., 2004. The Mineral Industry of Argentina. En: *Minerals Yearbook 2001, Volume 3: International Mineral Industries of Latin America and Canada, Chapter 2: 1-10. USGS. Disponible en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>*
 - SCHALAMUK, I., DE BARRIO, R., ZUBIA, M., GENINI, A., ECHEVESTE, H., 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. In: *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.
 - SCHALAMUK, I., DE BARRIO, R.E., ZUBIA, M.A., GENINI, A. Y VALVANO, J., 2002. Mineralizaciones auroargentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico, provincia de Santa Cruz. XV Congreso Geológico Argentino, Relatorio Cap. IV-1: 1-35.