

Tesis de Doctorado en Geología

**Modelado geológico del área del sinter,
proyecto La Josefina, provincia de
Santa Cruz.**

Lic. Mariano Ibaldi

Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 8 de marzo de 2016 y el 21 de abril de 2025, bajo la dirección del Dr. Diego Martín Guido (Profesor Titular de la cátedra de Geología de Yacimientos, FCNyM-UNLP e Investigador Principal de CONICET) y la co-dirección del Dr. Leonardo Strazzere (Profesor Adjunto de la cátedra de Geología Minera del Departamento de Geología, UNS e Investigador Adjunto de CONICET).

Licenciado Mariano Ibaldi



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Subsecretaría de Posgrado

La presente tesis ha sido aprobada el 5 de septiembre de 2025
mereciendo la calificación de 10 (Sobresaliente)

Para Ana e Isabel

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Sur por permitir continuar con mi educación y al CONICET por el apoyo económico para terminar esta tesis.

A mis directores los Doctores Diego Guido y Leonardo Strazzere, por los viajes y el conocimiento compartido a lo largo de todos estos años.

Al jurado de esta tesis: la Dra. Josefina Pons, el Dr. Mauricio González Guillot y la Dra. Gabriela Ferracutti por su disposición, correcciones y sugerencias que mejoraron sustancialmente la calidad del manuscrito final.

A las cátedras de Geoquímica, Petrología y Yacimientos de la Universidad Nacional del Sur por haber facilitado los microscopios y lupas.

A todas esas personas del Departamento de Geología y del Instituto Geológico del Sur que compartieron gentilmente sus conocimientos, experiencia, amistad y tiempo conmigo a lo largo de estos años, especialmente a:

Dra. Verónica Bouhier, Dra. Celeste D'Annunzio, Dra. Lenis Madsen, Dra. Agustina Cócola, Dra. Silvina Marfil, Dra. Leticia Lescano, Lic. Constanza Bournod, Dra. Vanesa Araujo, Lic. Melisa Tamborindeguy, Dr. Edgardo Navarro y a todo el grupo de Geología Argentina, en especial a la Dra. Mercedes Barros, la Dra. Cecilia Pavón Pivetta y al Dr. Daniel Gregori.

Al Dr. Mauro Geraldés y su equipo del Laboratorio de Geocronología e Isotopía de la Universidad Estatal de Río de Janeiro, Brasil por las dataciones realizadas.

A la Dra. Kathleen Campbell por aportar sus conocimientos y experiencia en el relevamiento y posterior estudio de las facies geotermales.

Al Lic. Andrés Lasry (Spectra Argentina) por su amistad, por facilitarme el OreXpress y ayudarme en la interpretación de los espectros.

Al los Lic. Jorge Garay y Vicente Sánchez por su amistad, enseñanzas y ayuda en muchas de las tareas de campo.

Al Lic. Danilo Silva que como Presidente de Cerro Cazador S.A. fue uno de los primeros en apoyar este proyecto.

A la empresa Cerro Cazador S.A. por financiar este trabajo en sus inicios y a Patagonia Gold S.A. por permitir la utilización de la información.

A mi gran familia, gracias por estar ahí siempre de una forma o de otra.

A mis grandes amigos: Alejandro, Walter y Matías. Gracias por su afecto, apoyo, confianza y los momentos compartidos.

A Ana e Isabel que estuvieron siempre en cada paso pequeño y grande; en cada tropiezo y acierto, gracias por compartir todo esto conmigo, gracias por todo.

Resumen

El proyecto La Josefina, localizado en el centro de la provincia de Santa Cruz, constituye un depósito epitermal de sulfuración baja a intermedia desarrollado en rocas del Complejo Bahía Laura de edad jurásica media a superior. El área del sinter, ubicada en el sector Noreste del proyecto, se diferencia del resto de los sectores por la ausencia de estructuras vetiformes de gran desarrollo, la presencia en superficie de una capa fuertemente silicificada con brechas hidrotermales asociadas y numerosos afloramientos de manifestaciones geotermales fósiles.

Se identificaron 14 litofacies y 6 asociaciones de facies que indican la evolución de un ambiente volcanoclástico primario, constituido por espesos flujos piroclásticos, a un ambiente volcanoclástico retrabajado y geotermal. Dataciones U-Pb realizadas sobre la parte superior de esta secuencia indican un intervalo temporal entre 157.8 Ma y 164.7 Ma, y registran una posible edad máxima de fallamiento en 143.6 ± 2.9 Ma.

El estudio estructural muestra el desarrollo de depresiones formadas por la interacción de estructuras NO-NNO a NNE-NE en las que se depositó la porción superior de la secuencia volcanoclástica-epiclástica. En estas depresiones se formaron brechas hidrotermales y mineralizaciones de Au diseminado asociadas a la silicificación del nivel superior de la secuencia y a los fluidos mineralizantes que circularon por las zonas de fractura.

Se determinaron tres eventos de mineralización hidrotermal y un evento supergénico. El primer evento es el portador de las mayores mineralizaciones de Au y los datos de inclusiones fluidas indican trayectorias de enfriamiento y dilución predominantes y escasas evidencias de ebullición. Las alteraciones hidrotermales observadas muestran una distribución en perfil similar a otros depósitos presentes en el proyecto La Josefina, con una zona de silicificación restringida a fracturas y brechas, rodeada de un halo rico en arcillas que grada a una zona rica en cloritas.

Se construyeron modelos geológicos y numéricos para estudiar la geometría y distribución de las rocas en el subsuelo, así como los depósitos epitermales asociados. El análisis exploratorio de datos muestra que las leyes de Au se concentran en la porción superior de la secuencia volcanoclástica, con promedios en el rango 0.03-0.72 g/t, y en las brechas hidrotermales, con promedios 1.16-6.35 g/t. Asimismo, el análisis variográfico mostró orientaciones coincidentes con las principales zonas de fractura.

Los modelos generados y su comparación con depósitos similares permitieron obtener guías para la exploración en la zona de estudio y el Macizo del Deseado. Estas guías consisten en la búsqueda de secuencias volcanoclásticas primarias y retrabajadas porosas con niveles impermeables que actúen como sello del sistema y zonas de fracturas en direcciones propicias entre NNO-NO a NNE-NE.

Las evidencias presentadas y analizadas en este trabajo permiten plantear un paradigma exploratorio diferente para esta región de la Patagonia o zonas caracterizadas por volcanismo en las que la prospección se realiza mayormente en busca de mineralización vetiforme.

Abstract

La Josefina project, located in central Santa Cruz province, is a low to intermediate sulfidation epithermal deposit developed in rocks of the Bahía Laura Complex of Middle to Upper Jurassic age. The sinter area, located in the *Noreste* sector of the project, is distinguished from the other sectors by the absence of well developed vein-like structures, the presence on the surface of a strongly silicified layer with associated hydrothermal breccias, and numerous outcrops of fossil geothermal manifestations.

14 lithofacies and six facies associations were identified, indicating the evolution from a primary volcanoclastic environment consisting of thick pyroclastic flows to a reworked and geothermal volcanoclastic environment. U-Pb datings performed on the upper part of this sequence indicate a temporal interval between 157.8 Ma and 164.7 Ma, and record a possible maximum faulting age at 143.6 ± 2.9 Ma.

The structural study shows the development of depressions formed by the interaction of NW-NNW to NNE-NE structures in which the upper portion of the volcanoclastic-epiclastic sequence was deposited. Hydrothermal breccias and disseminated Au mineralizations formed in these depressions, associated with the silicification of the upper level of the sequence and the mineralizing fluids that circulated through the fracture zones.

Three hydrothermal mineralization events and one supergene event were identified. The first event carries the greatest Au mineralization, and the fluid inclusion data indicate predominant cooling and dilution trajectories and little evidence of boiling. The observed hydrothermal alterations show a distribution profile similar to other deposits present in the La Josefina project, with a silicification zone restricted to fractures and breccias, surrounded by a clay-rich halo that fades into a chlorite-rich zone.

Geological and numerical models were constructed to study the geometry and distribution of subsurface rocks, as well as associated epithermal deposits. Exploratory data analysis shows that Au grades are concentrated in the upper portion of the volcanoclastic sequence, with averages in the range 0.03 to 0.72 g/t, and in the hydrothermal breccias, with averages of 1.16 to 6.35 g/t. Variographic analysis also showed orientations consistent with the main fracture zones.

The generated models and their comparison with similar deposits provided guidelines for exploration in the study area and the Deseado Massif. These guidelines consist of searching for primary and reworked porous volcanoclastic sequences with impermeable layers that act as a seal for the system and fracture zones in favorable directions between NNW-NW and NNE-NE.

The evidence presented and analyzed in this work allows us to propose a different exploration

paradigm for this region of Patagonia or for areas characterized by volcanism where prospecting is primarily conducted in search of vein mineralization.