



Gobierno Regional de Atacama



Universidad de Atacama

Informe Final

Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC-FNDR 2014)

Universidad de Atacama

“Implementación de un laboratorio regional de investigación aplicada en geología económica: una plataforma para la innovación y transferencia tecnológica en prospección, exploración y explotación minera de pequeña escala”

FIC-1402

Período de Evaluación: (01/11/2014 al 30/04/2016)

Fecha de Presentación del Informe: 30/06/2016



Índice de contenidos

1 Resumen ejecutivo del proyecto.....	3
2 Contexto y justificación del proyecto.....	4
3 Estado de avance del proyecto.....	5
3.1 Logro por Objetivos del Proyecto.....	5
3.2 Logro de los Indicadores (indicadores de cumplimiento).....	19
3.3 Análisis Cualitativo del Avance de los Indicadores.....	22
3.4 Análisis de ejecución financiera.....	22
3.5 Dificultades durante su ejecución (externas e internas).....	22
3.6 Resumen Ejecución del Proyecto (\$ Nominales).....	23
4 Hitos de difusión.....	23
4.1 Publicación acerca de postulaciones al proyecto.....	23
4.2 Charlas de difusión en colegios.....	23
4.3 Reportaje televisivo en Televisión Nacional de Chile.....	25
5 Desafíos futuros.....	28
6 Conclusiones.....	28
7 Anexos.....	29



1 Resumen Ejecutivo del Proyecto

La formulación y ejecución de este proyecto nace de la urgente necesidad de los pequeños mineros de la Región de Atacama de obtener asesoría geológica especializada y recursos tecnológicos para evaluar, certificar y jerarquizar las características geológicas y mineralógicas de los recursos que albergan sus propiedades. Para cumplir con esta importante misión, el Departamento de Geología de la Universidad de Atacama instaló de forma permanente un Laboratorio de Geología Económica. Este laboratorio cuenta con avanzados equipos analíticos consistentes en un microscopio de luz transmitida para análisis mineralógicos, un equipo de fluorescencia de rayos X para determinar y cuantificar composiciones químicas (especialmente metales) y un susceptímetro magnético para cuantificar minerales de Fe. Paralelamente se conformó un grupo de investigación conformado por 4 académicos (2 de ellos con grado de doctor) y 12 alumnos tesistas de la carrera de geología.

Durante los primeros 15 meses (tiempo de duración del proyecto), este centro de investigación finalizó la evaluación geológica y mineralógica de 12 propiedades mineras de la Región. Para este propósito se levantaron mapas geológicos de las distintas propiedades, los cuales incluyeron información referente a la distribución espacial de las unidades litológicas (tipos de roca), estructuras geológicas (vetas, fallas, etc) y zonas mineralizadas de interés económico. Además se recolectaron muestras representativas para ser sometidas a detallados análisis mineralógicos, geoquímicos y geofísicos. Alrededor de 200 muestras fueron analizadas mediante un microscopio de luz transmitida y reflejada con el fin de determinar las especies minerales presentes y su abundancia relativa. Posteriormente, más de 500 muestras fueron analizadas mediante fluorescencia de rayos X (S1 Titán) con el fin de determinar y cuantificar los elementos metálicos de interés económico. Adicionalmente se confeccionaron informes geológicos que incluyen detallada información respecto a las características litológicas, mineralógicas y geoquímicas de las propiedades estudiadas. Finalmente se establecieron modelos genéticos y se evaluó el potencial económico de los sectores estudiados.

En conclusión, la ejecución del proyecto permitió generar información geológica fundamental para incrementar el nivel de certidumbre acerca del potencial económico de 12 propiedades mineras de la Región de Atacama pertenecientes a pequeños productores. Además se instaló de manera indefinida capacidades humanas y analíticas al servicio de la pequeña minería, particularmente aplicables a la exploración y explotación de yacimientos operados por este sector económico.



2 Contexto y justificación del proyecto

Es indiscutible que la investigación científica es fundamental para la generación de nuevos conocimientos. No obstante, estos cobran mayor valor cuando presentan una utilidad práctica e inmediata en la sociedad. Es por esto que durante los últimos años, nuestro país ha impulsado fuertemente la realización de investigación científica aplicada, es decir estudios cuyos resultados impacten positivamente en los sectores productivos o en las diferentes áreas del quehacer humano.

Como se sabe, el desarrollo económico y social de la región de Atacama en gran parte está sustentado por la actividad minera en diferentes escalas productivas. Por una parte la gran y mediana minería opera con modernos y eficientes sistemas tecnológicos los que son administrados por capital humano altamente calificado. No obstante, particularmente desventajosa es la situación de los pequeños empresarios mineros, quienes no cuentan con recursos tecnológicos ni asesoría continua y especializada que certifique las características geológicas y mineralógicas de los recursos que albergan sus propiedades. Considerando que en Chile gran parte de las actividades productivas ligadas a la pequeña minería se concentran en la Región de Atacama, es urgente la instalación de un ente científico-técnico especializado y de carácter regional dedicado exclusivamente a asesorar a este importante sector económico.

Consecuentemente, la Universidad de Atacama, principal institución académica y científica a nivel regional, a través de su Departamento de Geología, lidera la puesta en marcha de un centro regional de investigación destinado a la innovación y asesoría geológica en temas de exploración y explotación minera a pequeña escala. La ventaja comparativa de este centro radicará en su elevada eficiencia operativa, debido a la utilización de equipos analíticos portátiles capaces de acceder directamente a las pertenencias mineras y recolectar información geológica de manera rápida, precisa y con bajo costo, resultados que finalmente se plasmarán en informes, mapas y recomendaciones geológicas prácticas con el fin de optimizar las labores mineras.

En el presente informe se explican los niveles finales de logro obtenidos para los diferentes objetivos propuestos en el proyecto. El detalle de los resultados científicos y técnicos obtenidos en las diferentes propiedades mineras es anexado en 12 informes y mapas geológicos.



3 Estado de Avance del Proyecto

3.1 Logro por Objetivos del Proyecto

Objetivo General del Proyecto: Fomentar la investigación científica orientada a la innovación y transferencia tecnológica en procesos de prospección, exploración y explotación en la pequeña minería.

Objetivo Específico 1: Desarrollar técnicas innovadoras, rápidas y de bajo costo que permitan optimizar las actuales actividades de prospección, exploración y explotación de yacimientos operados por pequeños empresarios mineros en la región de Atacama.

Hitos asociados a objetivo específico 1				
Descripción de Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditables
1. Compra de equipos: Adquisición de capacidad analítica en las áreas de mineralogía, petrofísica y petroquímica	Diciembre de 2014	Julio de 2015	Si	-Órdenes de compra -Facturas -Existencia física de equipo de fluorescencia de rayos X portátil y susceptibilímetro magnético en Laboratorio del Departamento de Geología. -Inventario oficial de la Universidad de Atacama
2. Visitas en terreno y análisis geológico: Captura espacial de información litológica, estructural, mineralógica, geoquímica y magnética en las diferentes propiedades mineras	Agosto de 2015	Diciembre de 2015	Si	-Resoluciones de salidas a terreno emitidas por la decanatura de la Facultad de Ingeniería. -Muestras geológicas codificadas
3. Confección de secciones transparentes y pulidas: Obtención de secciones de rocas idóneas para la realización de estudios mineralógicos microscópicos	Agosto de 2015	Diciembre de 2015	Si	-Existencia física de secciones transparentes y pulidas codificadas en Laboratorio del Departamento de Geología. -Órdenes de compra y facturas asociadas a los insumos. -Boleta de honorarios de Técnico Preparador de Muestras (Sr. Jesús López)

Hitos asociados a objetivo específico 1				
Descripción de Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditables
4. Análisis microscópico de muestras geológicas: Caracterización mineralógica detallada de muestras geológicas	Agosto de 2015	Diciembre de 2015	Si	-Existencia de descripciones mineralógicas y fotomicrografías en capítulos de “alteración y mineralización” en los informes técnicos.

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 1:

a) Compra de equipos e instalación física del laboratorio

Para cumplir con el primer objetivo específico del proyecto, primero se hizo necesaria la instalación física del laboratorio de geología económica, la cual se llevó a cabo en dependencias del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama (*ver figura 1*). Como aporte de la universidad, el centro cuenta con estaciones de trabajo (3 computadores y 3 escritorios), muebles de oficina (3 libreros), acceso a internet y un microscopio de luz transmitida con cámara acoplada para la descripciones mineralógicas (*ver figura 2*). Adicionalmente en el laboratorio se instaló bibliografía asociada a geología económica.



Figura 1. Laboratorio de geología económica instalado en dependencias del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama.



Figura 2. Microscopio de luz transmitida para el estudio microscópico de muestras (Aporte de la Universidad de Atacama).

Los equipos adquiridos a través del proyecto consistieron en una fluorescencia de rayos X portátil modelo S1 Titán de marca Bruker (ver figura 3) y un susceptibilímetro magnético modelo KT-10 de marca Terraplus (ver figura 4). Estos equipos, se encuentran completamente operativos en dependencias del Departamento de Geología y potenciarán la capacidad analítica en las áreas de mineralogía, petrofísica y petroquímica de la institución y de la Región de Atacama. El equipo de fluorescencia de rayos X ha permitido generar información cuantitativa, de manera rápida y con bajo costo (teóricamente costo cero) acerca de la composición química de las rocas y minerales de cada propiedad minera, en especial aquellos elementos de interés económico (ver capítulos de geoquímica de informes en anexo 1).



Figura 3. Equipo de fluorescencia de rayos X S1 Titán



Figura 4. Susceptibilímetro magnético modelo KT-10 marca Terraplus (Aporte del proyecto).

Por otra parte, el equipo de susceptibilidad magnética, ha entregado información cuantitativa acerca de la presencia y cantidad de minerales de Fe presentes en las rocas (ver capítulos de susceptibilidad magnética de informes en anexo 1), permitiendo evaluar de manera objetiva el potencial económico de este metal en cada propiedad. Asimismo esta información ha permitido diferenciar rocas estériles (sin valor económico) de aquellas rocas mineralizadas. Los instrumentos, además de encontrarse al servicio de la pequeña minería, también están disponibles para el desarrollo de proyectos científicos y tesis de pregrado en la Universidad de Atacama.

En general, la instalación y el funcionamiento del laboratorio ha permitido desarrollar técnicas innovadoras, rápidas y de bajo costo para la prospección, exploración y explotación de yacimientos operados por pequeños empresarios mineros en la región de Atacama. Lo anterior debido a que se han establecido parámetros geológicos particulares para cada una de las 12 propiedades mineras estudiadas, los cuales serán útiles tanto en la exploración de nuevos recursos como en la explotación de las actuales reservas (ver capítulos de discusión y conclusiones en informes en anexo 1:).



Objetivo Específico 2: Asesorar geológicamente a pequeños empresarios mineros mediante la transferencia de conocimientos geológicos y mineralógicos que eleven el nivel de certidumbre acerca de la ocurrencia y calidad de los recursos minerales que albergan sus propiedades.

Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
1. Confección de informes y mapas geológicos a empresarios: Transferencia de resultados a pequeños empresarios mineros de la región.	Enero de 2016	Mayo de 2016	Si	-Existencia de 12 informes geológicos y mapas de las propiedades mineras.

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 2:

Los 12 informes y mapas geológicos preparados para los propietarios mineros contienen información litológica, estructural, mineralógica, geoquímica y geofísica de los diferentes yacimientos. Finalmente se establece un modelo genético para cada yacimiento útil para la exploración de nuevos recursos. Toda esta información permitió incrementar el nivel de certidumbre geológica acerca de la ocurrencia y calidad de los recursos minerales que albergan sus propiedades.

a) Información litológica

La información litológica tiene relación con los diferentes tipos de rocas presentes en las propiedades mineras, las cuales son descritas en los informes y representadas gráficamente en los mapas geológicos. La relevancia de esta información litológica radica en que algunos tipos de roca son completamente estériles (sin valor económico) mientras que otras litologías son favorables para la ocurrencia de minerales económicamente rentable. Esta información ya constituye la primera gran guía de exploración y explotación de recursos y reservas minerales para los pequeños empresarios mineros. A continuación se ejemplifica esta situación en la propiedad minera María Carolina donde se han determinado litologías estériles y económicas:



Vista Panorámica y Geología de la Mina María Carolina

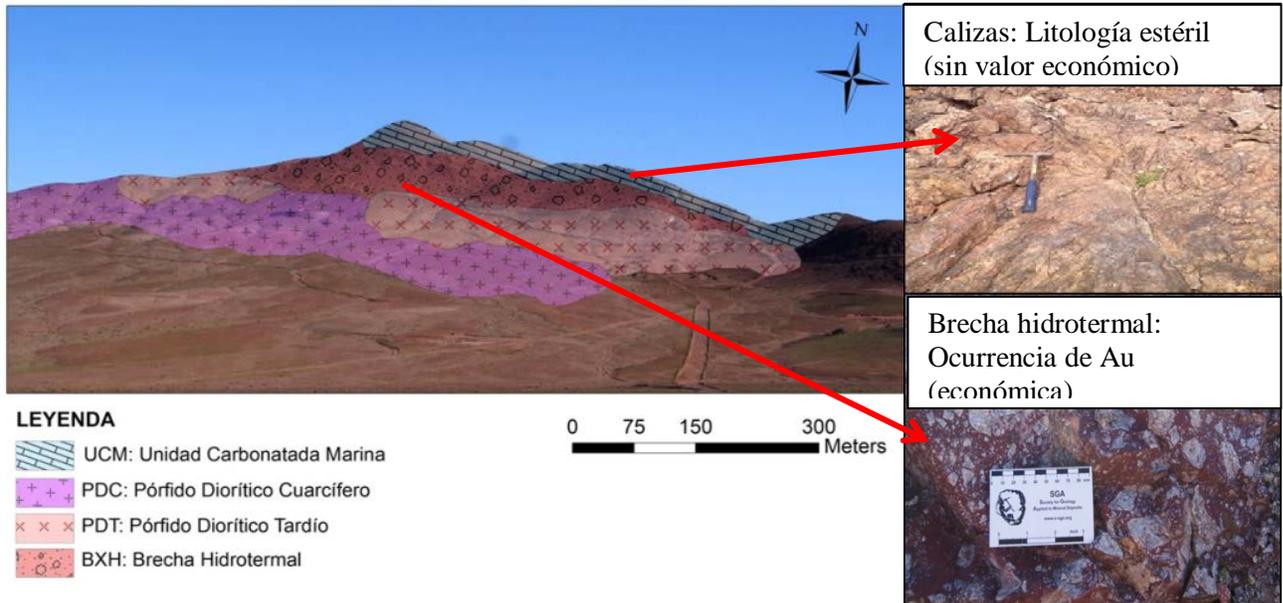


Figura 5. Ejemplo de litología estéril y litología mineralizada en la propiedad minera María Carolina.

b) Información estructural

La información estructural levantada en las diferentes propiedades mineras consiste en fallas geológicas, diques y vetas (ver figura 6). Se especifican aspectos tales como su distribución espacial, composición, aspectos geométricos (rumbo, manteo, corrida, espesor) y relaciones cronológicas. Con especial énfasis se describen las estructuras vetiformes, ya que en la mayoría de los casos corresponden a las estructuras que hospedan los minerales de interés económico. La información estructural es registrada junto a la información litológica en los mapas geológicos.



Figura 6. Ejemplo de Veta de Fe-Cu- Au paralela a dique diorítico en distrito minero Sierra Monardes.



c) Información mineralógica

La información mineralógica consistió en la descripción microscópica detallada de alrededor de 200 muestras a través del estudio de secciones transparentes y pulidas mediante microscopía de luz transmitida y reflejada respectivamente. Mediante la microscopía de luz transmitida fue posible precisar la litología y alteración de las unidades geológicas, mientras que a través de la microscopía de luz reflejada se pudieron establecer con certeza las especies mineralógicas de interés económico (ver figura 7).

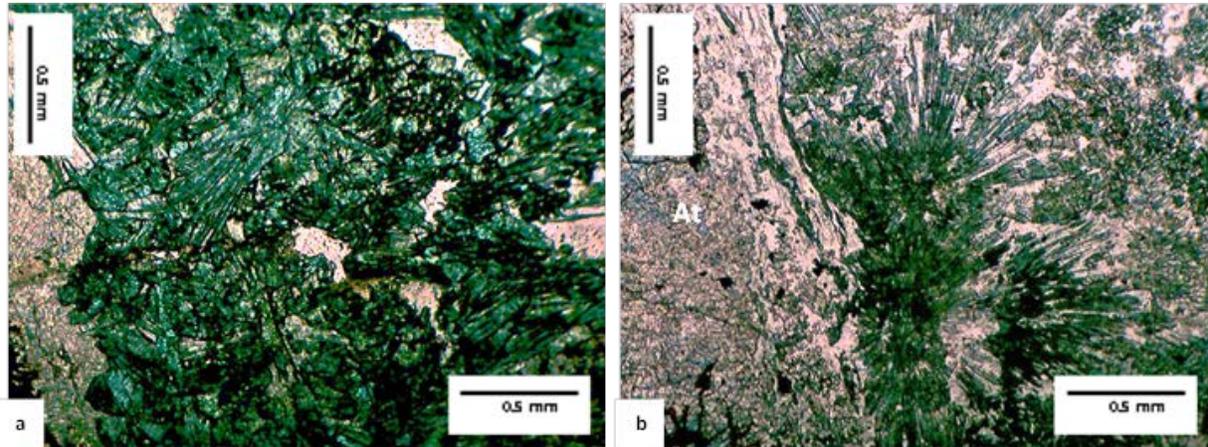


Figura 7. Fotomicrografías de agregados de atacamita (cloruro de Cu) de la propiedad minera Soesmi.

d) Información geoquímica

Se recolectaron alrededor de 500 muestras representativas desde las diferentes unidades litológicas que conforman los yacimientos con la finalidad de determinar su composición química y cuantificar aquellos elementos de interés económico. De esta manera fue posible definir de manera cuantitativa aquellas zonas mineralizadas de mayor potencial económico (ver figura 8).

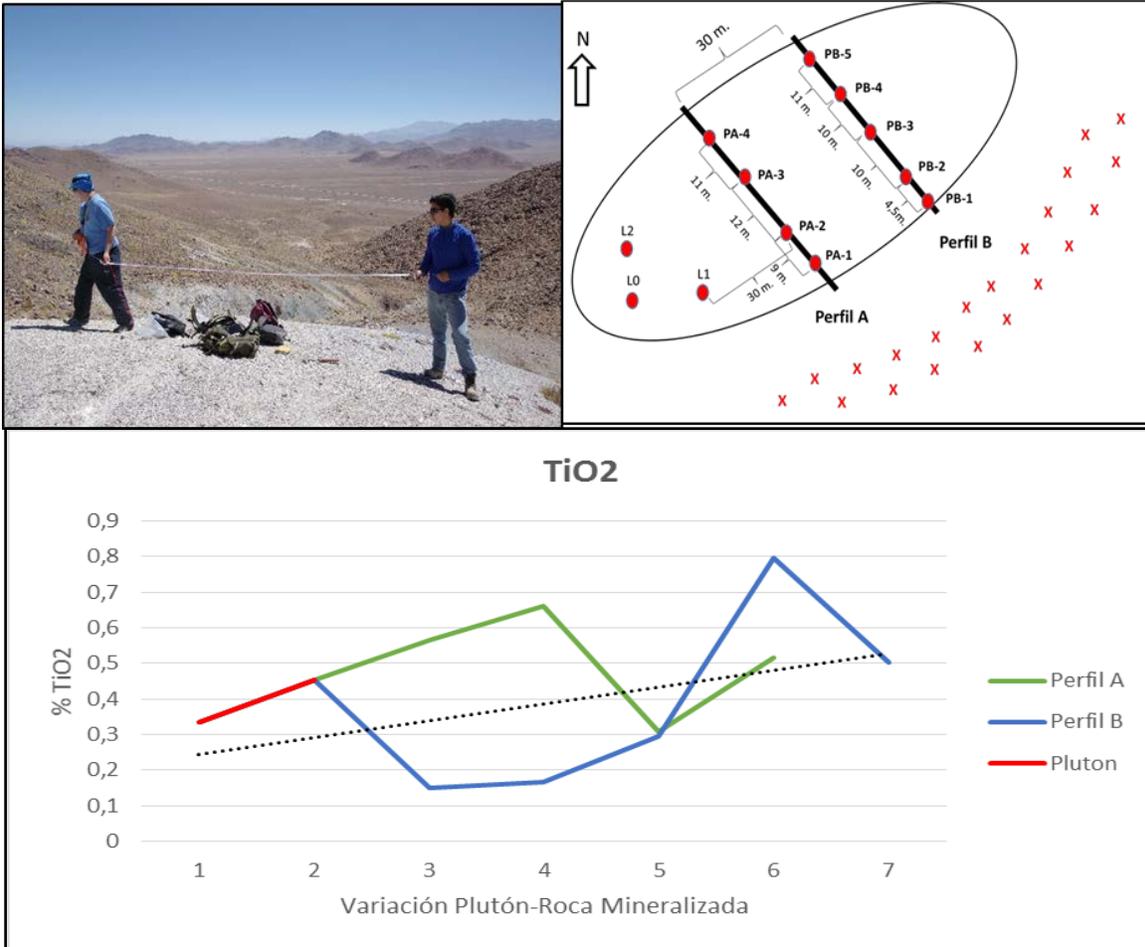


Figura 8. Estrategia de recolección de muestras representativas y ejemplo de concentraciones de Titanio en la propiedad minera La Campana.

e) Información geofísica

Más de 500 mediciones de intensidad de susceptibilidad magnética fueron medidas en las unidades litológicas y zonas mineralizadas de las diferentes propiedades mineras mediante el susceptibilímetro magnético KT-10. Esta información fue de utilidad para contrastar zonas estériles de aquellas zonas mineralizadas, especialmente aquellas enriquecidas en Fe (ver figura 9).

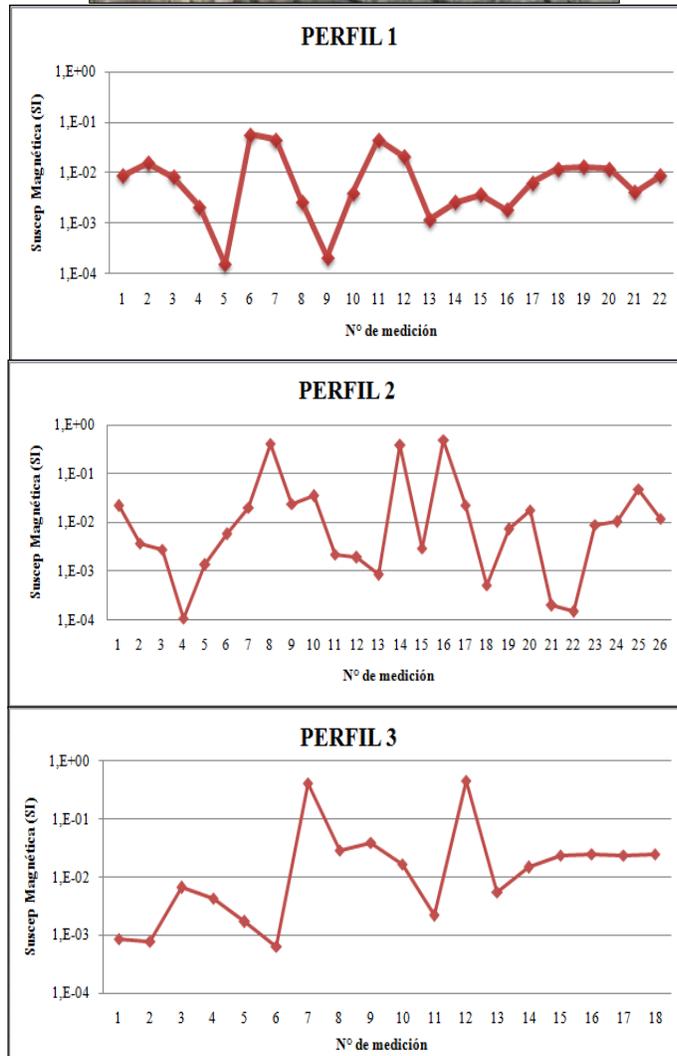
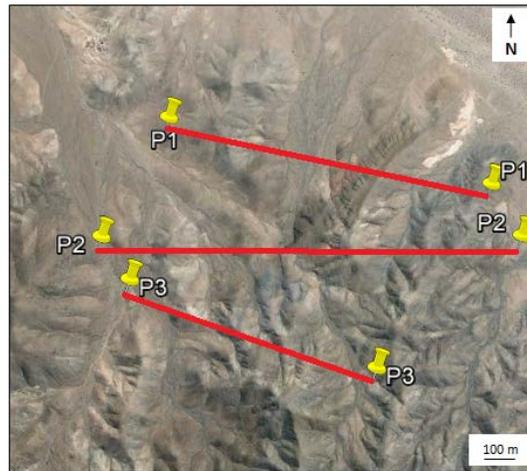


Figura 9. Ejemplo de perfil de susceptibilidad magnética en propiedad minera Renacer

f) Modelos genéticos

Finalmente, sobre la base de la interpretación de todos los resultados, se establece un modelo genético para los diferentes yacimientos minerales. Estos modelos conceptuales pueden ser utilizados como insumo para la exploración de nuevos recursos minerales dentro de cada propiedad, asimismo son útiles durante la producción minera ya que contribuyen a establecer la continuidad espacial de las zonas mineralizadas (ver figura 10).

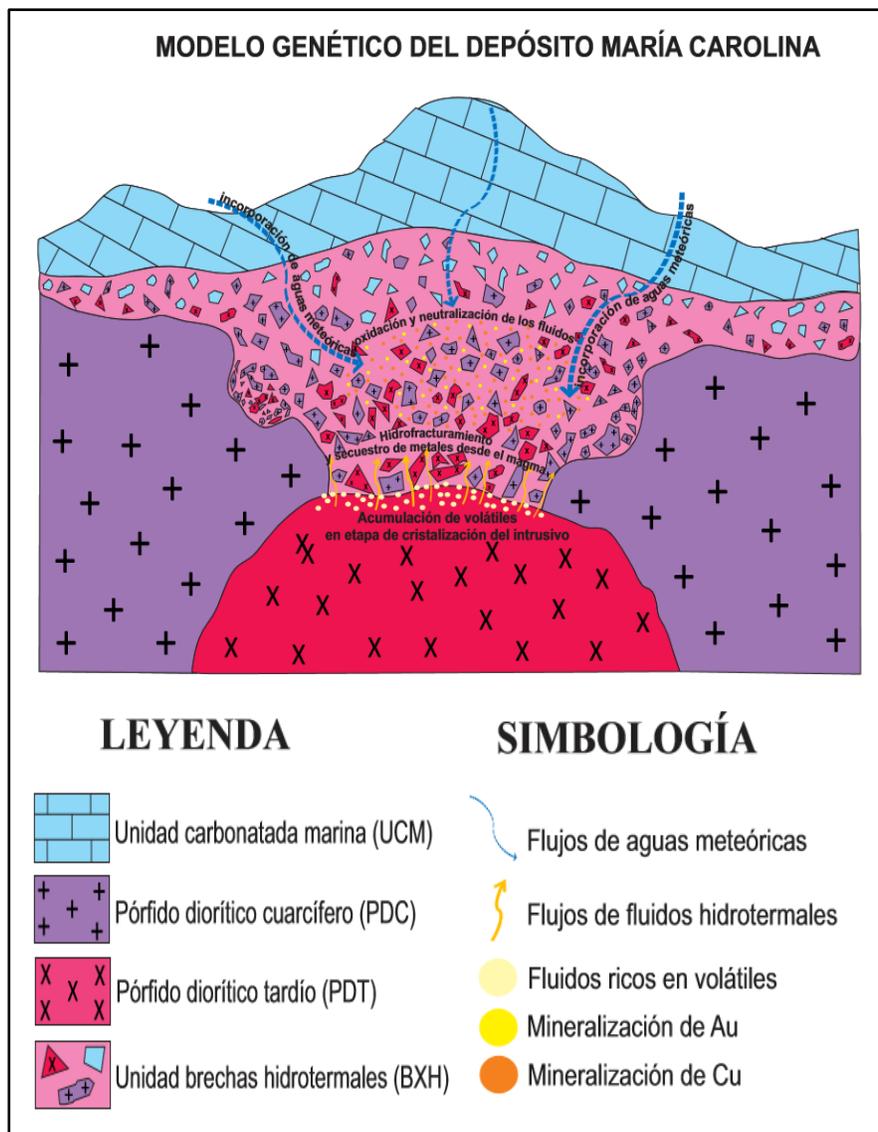


Figura 10. Modelo genético conceptual para el yacimiento María Carolina.



Objetivo Específico 3. Aumentar la productividad científica regional en el área de geología económica.

Hitos				
Descripción Hito	Fecha cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Publicación científica en XXXIII UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Campinas, Brasil.	Enero de 2016	Junio de 2015	Si	Ovalle, J., Riveros, K (2015). Preliminary geological aspects of the María Carolina Au–Cu Deposit, Inca de Oro District, Atacama, Chile. XXXIII UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Campinas, Brasil.
Publicaciones científicas en XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile	Enero de 2016	Abril de 2016	Si	<p>Martínez, J., Riveros, K. (2016). Geología y geoquímica del distrito minero de Au-Cu Sierra Monardes, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Zepeda, J., Riveros, K. (2016). Caracterización de la mineralización de hierro a través de análisis de susceptibilidad magnética y fluorescencia de rayos X (XRF) en el Proyecto Renacer, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Fritis, V, Griem, W, Riveros, K (2016). Caracterización geológica y metalogénica del prospecto minero "soesmi 1 al 32", Tierra Amarilla, Región de atacama, chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Palavecino, M. Griem, W., Riveros, K. (2016). Caracterización geológica y metalogénica del proyecto La Campana, Distrito Inca de Oro, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Aravena, C., Venegas, D. (2016). Definición y caracterización de la mina Las Trulas, Distrito Puquios, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Oetiker, R., Venegas, D. (2016). Modelo metalogénico de mina La Culebra, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Solís, I. (2016) Antecedentes geológicos previos a la prospección de la pertenencia Sorba 1 al 4, Inca de Oro, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Zúñiga, E. (2016). Geología y control estructural de las vetas en la mina Don Arturo, Carrizal Alto, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Seguel L., Véliz, M., Miranda, G. (2016). Caracterización geológica de la mina San Luis, prospecto Dos Amigos, Cordillera de la Costa, Región de Atacama. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Tapia, D. (2016). Caracterización geológica y mineralógica del distrito Minero La Palomita, Región de Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p> <p>Ovalle, J., Riveros, K (2016). Evaluación geológica y metalogénica del depósito de Cu-Au María Carolina, Distrito Inca de Oro, Atacama, Chile. XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile.</p>



Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 3:

Un total de 12 contribuciones científicas fueron publicadas en 2 congresos internacionales de geología económica de elevado prestigio mundial (ver figura 11). 1 publicación en el XXXIII UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Campinas, Brasil y 11 publicaciones en el XXXIV UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Copiapó, Chile (ver anexo 3). Estas contribuciones contenían los principales resultados e interpretaciones de los estudios geológicos realizados en las diferentes propiedades mineras beneficiadas por el proyecto. Es importante mencionar que estos congresos reúnen a los principales investigadores mundiales en el campo de la geología económica y la metalogénesis, uno de los cuales fue organizado por el Departamento de Geología de la Universidad de Atacama. En promedio en cada uno de estos congresos participaron alrededor de 150 personas.



Figura 11. Ejemplo de publicación científica en XXXIII UNESCO-SEG-SGA Latin American Metallogeny Course, Campinas, Brasil



Objetivo Específico 4: Especializar capital humano en la región de Atacama mediante la transferencia de conocimientos y habilidades avanzadas en el área de yacimientos minerales a estudiantes universitarios ligados al área minera (geología, ingeniería en minas, ingeniería en metalurgia).

Hitos				
Descripción Hito	Fecha de cumplimiento programada en el Proyecto	Fecha de cumplimiento real	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
Titulación de alumno tesista Sr. José Tomás Ovalle	Enero de 2016	Marzo de 2016	Si	-Documento de tesis -Actas de calificaciones -Resolución de titulación
Titulación de alumno tesista Sr. Víctor Fritis	Enero de 2016	Marzo de 2016	Si	-Documento de tesis -Actas de calificaciones -Resolución de titulación
Titulación de alumno tesista Sr. Rodolfo Oetiker.	Enero de 2016	Mayo de 2016	Si	-Documento de tesis -Actas de calificaciones -Resolución de titulación
Titulación de alumno tesista Sr. Ignacio Solís	Enero de 2016	Mayo de 2016	Si	-Documento de tesis -Actas de calificaciones -Resolución de titulación
Titulación de alumno tesista Sr. Luis Seguel	Enero de 2016	Mayo de 2016	Si	-Documento de tesis -Actas de calificaciones -Resolución de titulación
Implementación de curso “geología económica avanzada con énfasis en la región de Atacama”	Enero de 2016	Abril de 2016	Si	-Programa de estudios del curso. -Colección litológica para la ejecución del curso.

Análisis Cualitativo del Avance del Objetivo Específico 4:

Este proyecto se comprometió con la titulación de 10 geólogos altamente especializados en geología económica. Al término de este, se han titulado 4 geólogos (ver figura 12) y otros 6 se encuentran próximos a hacerlo. Los geólogos titulados, basaron sus tesis en los estudios geológicos realizados en las distintas propiedades mineras, por lo que adquirieron fuertes competencias y habilidades en lo que respecta a la caracterización y evaluación de recursos geológicos en el contexto de la pequeña minería. De esta forma, el proyecto contribuyó directamente con la especialización estratégica de capital humano que estará al servicio del sector minero de la Región de Atacama.



Figura 12. Titulación de algunos de los alumnos de la carrera de Geología de la Universidad de Atacama que participaron en el proyecto, José Tomás Ovalle (arriba) y Víctor Fritis (abajo). Las tesis estuvieron basadas en los resultados obtenidos en dos de las propiedades mineras en estudio.



3.2 Logro de los Indicadores (indicadores de cumplimiento)

N°	Nombre Indicador	Fórmula de Cálculo	N° OE asociado	Valor real a la fecha (incluir numerador y denominador)	% de cumplimiento	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
1	% de cumplimiento en la realización de charlas de difusión	(n° de charlas de difusión realizadas/n° de charlas de difusión planificadas)*100	4	4/3	133%	Si	-Listas firmadas de asistentes a charlas -Fotografías
2	% de cumplimiento en la realización de reuniones de trabajo	(n° de reuniones de trabajo realizadas/n° de reuniones de trabajo planificadas)*100	1, 2	7/5	140%	Si	-Listas de asistencia firmadas
3	% de cumplimiento en la adquisición de equipos analíticos	(n° de equipos analíticos adquiridos/n° de equipos analíticos planificados de adquirir)*100	1, 2, 3, 4	2/2	100%	Si	-Existencia física de equipos en Departamento de Geología -Inventario Universidad de Atacama
4	% de cumplimiento en el estudio geológico de yacimientos	(n° de yacimientos estudiados/n° de yacimientos planificados para estudiar)*100	1, 2, 3	12/10	120%	Si	-Informes y mapas geológicos -
5	% de cumplimiento en la confección de secciones transparentes y pulidas	(n° de secciones transparente y pulidas confeccionadas/ n° de secciones transparente y pulidas planificadas en el proyecto)*100	1, 2, 3	200/200	100%	Si	-Existencia de secciones transparentes y pulidas en el Departamento de Geología



N°	Nombre Indicador	Fórmula de Cálculo	N° OE asociado	Valor real a la fecha (incluir numerador y denominador)	% de cumplimiento	Logrado (SI/NO)	Medios de Verificación auditable
6	% de cumplimiento en el estudio microscópico de muestras	$(\text{n}^\circ \text{ de muestras estudiadas microscópicamente} / \text{n}^\circ \text{ de muestras planificadas para estudiar microscópicamente}) * 100$	1, 2, 3	200/200	100%	Si	-Existencia de secciones pulidas y transparentes en el Departamento de Geología.
7	% de cumplimiento en la incorporación de memoristas al proyecto	$(\text{n}^\circ \text{ de memoristas incorporados al proyecto} / \text{n}^\circ \text{ de memoristas planificados para incorporar en el proyecto}) * 100$	4	12/10	120%	Si	-Existencia de cartas de inscripción de tesis -Existencia de tesis
8	% de cumplimiento en la emisión de informes geológicos a empresarios	$(\text{n}^\circ \text{ de informes geológicos emitidos a empresarios} / \text{n}^\circ \text{ de informes geológicos planificados de emitir para los empresarios}) * 100$	2	12/10	120%	Si	-Existencia de informes geológicos en el Departamento de Geología.
9	% de cumplimiento en la emisión de informes al gobierno regional	$(\text{n}^\circ \text{ de informes de avance emitidos a gobierno regional} / \text{n}^\circ \text{ de informes de avance planificados de emitir a gobierno regional}) * 100$	2	18/18	100%	Si	Existencia de 18 informes de avance al Gobierno Regional



3.3 Análisis Cualitativo del Avance de los Indicadores:

Todas las actividades comprometidas en el proyecto se cumplieron plenamente, lo que es consistente con el cumplimiento exitoso de todos los objetivos propuestos. Un aspecto importante a destacar es que originalmente el proyecto se había comprometido con estudiar 10 propiedades mineras, no obstante finalmente se estudiaron 12 propiedades. Las 2 propiedades adicionalmente incorporadas fueron fruto del esfuerzo adicional del equipo de trabajo y de su elevado compromiso para con el proyecto.

3.4 Análisis de la Ejecución Financiera

Los recursos destinados a la ejecución del proyecto fueron gastados exitosamente en los ítems planificados. El retraso más importante en la ejecución presupuestaria tuvo relación con el retraso en aproximadamente 6 meses, respecto a lo planificado, en la compra del equipo de fluorescencia de rayos X. Este retraso se debió a la normativa de entrega parcelada (en cuotas) de los recursos por parte del Gobierno Regional, no obstante es importante destacar que esta situación no generó problemas en el cumplimiento pleno de los objetivos del proyecto. El saldo final no gastado fue de solo 83.864 pesos, reflejando que en general los gastos presupuestados en el proyecto fueron bien planificados y ejecutados.

3.5 Dificultades durante su ejecución (externas e internas)

La principal dificultad externa durante la ejecución del proyecto estuvo asociada a la ocurrencia del aluvión en marzo de 2015. Este hecho provocó un retraso importante en el desarrollo del proyecto ya que durante aproximadamente 2 meses se tuvieron que postergar las actividades de terreno en las propiedades mineras debido al corte de camino que afectó a varias propiedades. La principal dificultad interna se generó en el mes de noviembre de 2015, cuando se produjo una toma de las dependencias del Departamento de Geología de la Universidad de Atacama, generando una paralización en las actividades del proyecto en aproximadamente 2 semanas.



4 Hitos de difusión

4.1 Publicación acerca de postulaciones al proyecto

Durante el mes de enero de 2015 se publicó en Diario Atacama, la invitación a postular a los pequeños minero a ser beneficiarios de los estudios geológicos del proyecto (ver figura 13).



Figura 13. Aviso publicado en Diario Atacama

4.2 Charlas de difusión en colegios

Durante los meses de septiembre y octubre se dictaron charlas de difusión científica, en el Liceo Bicentenario Mercedes Fritis Mackenney de Copiapó (ver figura 14) y en la Escuela Técnico Profesional de Copiapó (ver figura 15). Estas charlas contaron con la asistencia de alrededor de 100 estudiantes de tercero y cuarto año medio. En estos eventos se difundió la importancia de la geología en la sociedad y se mostró el propósito del presente proyecto, en particular su contribución al desarrollo de la pequeña minería de la Región de Atacama.



Figura 14. Arriba se muestra a tesistas a cargo de una de las charlas de difusión en el Liceo Mercedes Fritis Mackenney: Sr. Rodolfo Oetiker (izquierda) y Sr. Jimmy Zepeda (derecha). Abajo se detallan los alumnos asistentes a la charla.



Fotografía 15. Víctor Fritis y Esteban Zúñiga durante la Charla en la Escuela Técnico Profesional.



4.3 Reportaje televisivo en Televisión Nacional de Chile

Con fecha 24 de septiembre de 2014 se llevó a cabo un reportaje en el noticiero 24 horas Red Atacama de Televisión Nacional de Chile (ver figura 16). En este se mostraron los diferentes aspectos y objetivos del proyecto el cual tuvo una duración de 4 minutos aproximadamente. La periodista de TVN a cargo de dicho reportaje fue Jocelyn Carvajal. La grabación se realizó en la Propiedad Minera Renacer, en donde su propietario el Sr. Pedro Araya Paredes expuso sus puntos de vista y describió los beneficios de ser parte de este proyecto. Asimismo en el reportaje participó el tesista de la Carrera de Geología Sr. Jimmy Zepeda quien contribuyó a explicar el trabajo realizado en terreno. Los equipos adquiridos y su uso en terreno fueron particularmente enfatizados en el reportaje. El reportaje completo puede ser visto en el siguiente link:

<http://www.24horas.cl/regiones/atacama/copiapoapoyan-a-pequenos-mineros-con-tecnologia-1796261>



**Figura 16. Entrevista televisiva al director del proyecto Dr. Karl Riveros Jensen (arriba).
Entrevista al Sr. Pedro Araya, propietario minero del proyecto Renacer.**



5 Desafíos futuros

La ejecución del presente proyecto permitió instalar la primera plataforma científica en la Región de Atacama destinada a generar información geológica útil para las actividades de exploración y producción de pequeños empresarios mineros de Atacama. Se instalaron capacidades analíticas básicas y se estableció un equipo de trabajo especializado que permitió resolver los problemas geológicos de 12 empresarios mineros de la zona.

Sin embargo, se hace imprescindible que a futuro este laboratorio de geología económica pueda robustecer sus capacidades analíticas y capital humano. Lo anterior con el fin de ampliar en forma importante el número de beneficiarios a nivel regional y consolidarse de manera indefinida como el principal ente de asesoría geológica al servicio de la pequeña minería de la Región de Atacama.

6 Conclusiones

La ejecución del proyecto permitió instalar un Laboratorio de Geología Económica en la Universidad de Atacama, el cual cuenta con avanzados equipos analíticos consistentes en un microscopio de luz transmitida para análisis mineralógicos, un equipo de fluorescencia de rayos X para determinar y cuantificar composiciones químicas (especialmente metales) y un susceptibilímetro magnético para cuantificar minerales de Fe. Asimismo se ha conformado un equipo de investigación conformado por 4 académicos del Departamento de Geología (2 de ellos con grado de doctor) y alumnos tesistas de la carrera de geología. En particular el proyecto generó los siguientes resultados:

- Generación de información geológica fundamental para incrementar el nivel de certidumbre acerca del potencial económico de 12 propiedades mineras de la Región de Atacama pertenecientes a pequeños productores.
- Instalación de un laboratorio de investigación geológica exclusivamente dedicado a la generación de conocimientos altamente aplicables a la exploración y operación de yacimientos de la pequeña minería de la Región de Atacama.
- Formación de 12 geólogos altamente especializados en geología económica aplicada a la pequeña minería.



- Generación de conciencia acerca de la importancia de la pequeña minería para el desarrollo económico de la Región de Atacama, mediante la difusión y publicación de contribuciones científicas en eventos internacionales y locales.

Sin embargo, el equipo de trabajo considera que potenciar al laboratorio con nuevos equipos analíticos es fundamental para ampliar la capacidad asesora del centro, para así incrementar de manera importante el número de empresarios mineros beneficiados con estos estudios geológicos en la Región de Atacama.

7 Anexos

ANEXO 1: INFORMES GEOLÓGICOS Y METALOGÉNICOS

ANEXO 2: MAPAS GEOLÓGICOS

ANEXO 3: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

ANEXO 4: CURSO ELECTIVO

ANEXO 5: PROPUESTA DOCTORADO EN CIENCIAS MINERAS

ANEXO 6: MATERIAL DE DIFUSIÓN