

**INFORME FINAL DE EJECUCION  
PROYECTO FIC CÓDIGO BIP.012  
GOBIERNO REGIONAL DE ATACAMA**

---

NOMBRE DE PROYECTO:  
CAPACIDAD FERTILIZANTE Y DESCONTAMINANTE DE LOS MINERALES NO METÁLICOS  
DE INTERÉS COMERCIAL DE LA REGIÓN DE ATACAMA:

**UNA NUEVA ALTERNATIVA ECONÓMICA  
PARA LA PEQUEÑA MINERÍA LOCAL Y LA AGRICULTURA NACIONAL**

CÓDIGO: BIP.012

EJECUTOR:  
UNIVERSIDAD DE CHILE  
ENCARGADO PROYECTO:  
DR. GERARDO SOTO



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>3. CONTEXTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Análisis del mercado de la minería no metálica de la región de Atacama: .....</b>	<b>6</b>
3.1.1 Coquina y carbonatos de calcio blanco .....	7
3.1.2 Caolín y fosforita:.....	8
3.1.3 Pirofilita, baritina y dolomita.....	10
<b>3.2 Capacidades fertilizantes de los minerales no metálicos de la región de Atacama: .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3 Capacidades descontaminante de los minerales no metálicos - Atacama: .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4 Estudio de pre-factibilidad económica .....</b>	<b>15</b>
<b>4. ACTIVIDADES .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Campañas de terreno .....</b>	<b>16</b>
4.1.1 Campaña de terreno de enero 2014 .....	16
4.1.2 Campaña de terreno de noviembre 2014 .....	18
4.1.3 Campaña de terreno de enero 2015 .....	21
4.1.4 Campaña de terreno de febrero 2015.....	23
<b>4.2 Caracterización mineralógica de los minerales no metálicos.....</b>	<b>23</b>
4.2.1 Difractometría de rayos X.....	23
4.2.2 Análisis de la composición elemental.....	26
<b>4.3 Caracterización química de los minerales no metálicos .....</b>	<b>28</b>
4.3.1 Ensayos en BATCH .....	28
4.3.2 Filtración .....	30
4.3.3 Dosificación de los elementos trazas .....	30
<b>4.4 Mapeo digital.....</b>	<b>31</b>
<b>4.5 Estudio de pre factibilidad económica .....</b>	<b>31</b>
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Caracterización mineralógica de los minerales no metálicos.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Difractometría de rayos X.....	32
5.1.2 Análisis de la composición elemental (Microsonda electrónica CAMECA SX-FIVE) .....	39
<b>5.2 Caracterización química de los minerales no metálicos .....</b>	<b>42</b>
<b>6. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>7. PRESUPUESTO .....</b>	<b>47</b>
7.1 Ejecución presupuestaría .....	47
7.2 Reasignación de fondos.....	53
<b>8. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>55</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

## Tabla de Figuras

FIGURA 1. IRREGULARIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE LOS 9 MINERALES	6
FIGURA 2. AUSENCIA DE INFORMACIÓN DE EXPLOTACIÓN COMERCIAL DE COQUINA A	7
FIGURA 3. AUSENCIA DE INFORMACIÓN: EXPLOTACIÓN COMERCIAL DE CARBONATO DE CALCIO BLANCO	7
FIGURA 4. E CAÍDA EN LA EXPLOTACIÓN COMERCIAL DE CAOLÍN	8
FIGURA 5. VOLÚMENES ANUALES PRODUCCIÓN DE CAOLÍN.	9
FIGURA 6. PRODUCCIÓN FOSFORITA A NIVEL NACIONAL	10
FIGURA 7. PRODUCCIÓN DE ATACAMA DE PIROFILITA.	11
FIGURA 8. COMPARATIVO DE LOS VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN DE PIROFILITA	11
FIGURA 9. PRODUCCIÓN DE BARITINA	12
FIGURA 10. COMPARATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE BARITINA DE ATACAMA Y VALPARAÍSO.	13
FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DE EXTRACCIÓN DE DOLOMITA	13
FIGURA 12. CARTOGRAFÍA DE LA MISIÓN DE TERRENO NOVIEMBRE 2014, HECHA A MANO	19
FIGURA 13. CARTOGRAFÍA DE LA MISIÓN DE TERRENO ENERO 2015, HECHA A MANO	22
FIGURA 14: DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X DEL LABORATORIO ISTO-CNRS, FRANCIA.	25
FIGURA 15 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X.	25
FIGURA 16. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MICROSONDA SAMCA SX-FIVE.	27
FIGURA 17. MICROSONDA CAMECA SX-FIVE DE LABORATORIO ISTO-CNRS, FRANCIA.	28
FIGURA 18. FASE DE CONTACTO ENTRE EL MINERAL Y LA SOLUCIÓN CONTAMINANTE.	29
FIGURA 19. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE CAOLÍN.	32
FIGURA 20. FOTO DE LA MUESTRA DE DIATOMITA.	33
FIGURA 21. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE DIATOMITA.	33
FIGURA 22. FOTO DE LA MUESTRA DE CALIZA 80% CaCO <sub>3</sub> .	34
FIGURA 23. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA 80% CaCO <sub>3</sub> .	34
FIGURA 24. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA 70% CaCO <sub>3</sub> .	35
FIGURA 25. FOTO DE LA MUESTRA DE CALIZA 60% CaCO <sub>3</sub> .	35
FIGURA 26. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA 60% CaCO <sub>3</sub> .	36
FIGURA 27. FOTO DE LA MUESTRA DE ROCAS FOSFÓRICAS.	36
FIGURA 28. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE ROCAS FOSFÓRICAS.	37
FIGURA 29. FOTO DE LA MUESTRA DE CALIZA MAGNESIANA	37
FIGURA 30. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA DE PIEDRA CALIZA MAGNESIANA.	38
FIGURA 31. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PIEDRA CALIZA 80% CaCO <sub>3</sub> POR MICROSONDA	39
FIGURA 32. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PIEDRA CALIZA MAGNESIANA POR MICROSONDA CAMECA SX-FIVE.	40
FIGURA 33. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA ROCA FOSFÓRICA POR MICROSONDA CAMECA SX-FIVE.	41
FIGURA 34. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LA LIPARITA POR MICROSONDA CAMECA SX-FIVE.	42

## 1. RESUMEN DEL PROYECTO

En la región de Atacama existen 18 minerales no metálicos, en un total de 119 yacimientos en explotación o paralizados, así como en yacimientos nunca explotados, pero de alto interés geológico y tecnológico debido a su composición y propiedades (SERNAGEOMIN, 2011). Surge, por lo tanto una interesante oportunidad de mercado en el desarrollo tecnológico de estos minerales, orientado a darle mayores opciones de explotación y comercialización a la pequeña y mediana minería, con nuevos usos tecnológicos de los minerales extraídos, permitiéndoles acceder a un modelo de negocio más sustentable.

Este estudio determinó la capacidad descontaminante y la pre-factibilidad económica de uso de los minerales no metálicos de interés comercial de la región de Atacama en aplicaciones fertilizantes.

La capacidad descontaminante fue determinada a través de los siguientes análisis:

- Análisis mineralógico por difracción de rayos X y microsonda electrónica
- Análisis de los proceso de retención (adsorción) de los minerales para sulfatos a través de ensayos y análisis químicos

Ambos análisis fueron realizados en los laboratorios del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) en Orléans, Francia.

La pre-factibilidad económica asociado al uso de los minerales no metálicos en aplicaciones fertilizantes fue realizada por economistas de la empresa franco – chilena GEOSOLUM®.

## 2. INTRODUCCIÓN

La minería no metálica en la región de Atacama: situación actual y oportunidad de mercado

El conocimiento actualmente disponible respecto de las rocas y minerales no metálicos de la región de Atacama ha sido generado históricamente por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Dichos estudios han permitido contar con información tanto de la ubicación, distribución geográfica y características geológicas, genéticas y mineras de los diferentes yacimientos de minerales no metálicos. Así también, se han analizado las áreas favorables para la explotación de yacimientos de interés comercial de estos recursos, además de estudiarse algunas propiedades físicas y químicas de dichos minerales, junto con su situación tecnológica y comercial (Carrasco y Gajardo, 2005).

La explotación de minerales no metálicos se considera como una oportunidad para la mediana y pequeña minería. Con excepción de los grandes recursos salinos del norte y los de caliza, la mayoría de los yacimientos no metálicos se explotan a nivel de pequeño tamaño, generalmente en operaciones a tajo abierto, seguida inicialmente de un tratamiento simple, que puede incluir molienda, clasificación, lavado y secado (Gajardo, 2000).

En la región de Atacama existen 18 minerales no metálicos, en un total de 119 yacimientos en explotación o paralizados, así como en yacimientos nunca explotados, pero de alto interés geológico y tecnológico debido a su composición y propiedades (SERNAGEOMIN, 2011). Surge, por lo tanto una interesante oportunidad de mercado en el desarrollo tecnológico de estos minerales, orientado a darle mayores opciones de explotación y comercialización a la pequeña y mediana minería, con nuevos usos tecnológicos de los minerales extraídos, permitiéndoles acceder a un modelo de negocio más sustentable.

Este estudio pretendió determinar la capacidad descontaminante y la pre-factibilidad económica asociado al uso de los minerales no metálicos de interés comercial de la región de Atacama en aplicaciones fertilizantes.

Los objetivos fueron los siguientes:

- i. Determinar la capacidad descontaminante para sulfatos de los minerales no metálicos seleccionados de la región de Atacama, a través de análisis químicos y mineralógicos.
- ii. La pre-factibilidad económica asociado al uso de los minerales no metálicos en aplicaciones fertilizantes.

### 3. CONTEXTO

#### 3.1 Análisis del mercado de la minería no metálica de la región de Atacama:

En la región de Atacama, el análisis del mercado de la minería no metálica indica que la producción de estos minerales ha sido históricamente muy irregular (*Figura 1*), en absoluta concordancia con la realidad de la pequeña y mediana minería local: labores con una estructura artesanal en empresas constituidas por su grupo familiar, con una actividad orientada a la minería extractiva, con un grado de mecanización que fluctúa entre “muy bajo” a “intermedio”, con un uso intensivo en mano de obra (ENAMI, 2009). Al respecto, un estudio más profundo de las cifras permite concluir que de los 18 minerales no metálicos existentes en la región de Atacama (apatita, arcilla común, áridos, azufre, baritina, boratos, caliza, caolín, carbonatos de calcio blanco, cimita – porfirita, coquina, cuarzo, diatomita, dolomita, fosforita, mármol, pumicita y yeso), solo 9 de ellos, presentan algún nivel de uso tecnológico en los mercados de fabricación de cerámicas, construcción, carga en pinturas y solventes, y en un grado menor de fertilizantes.

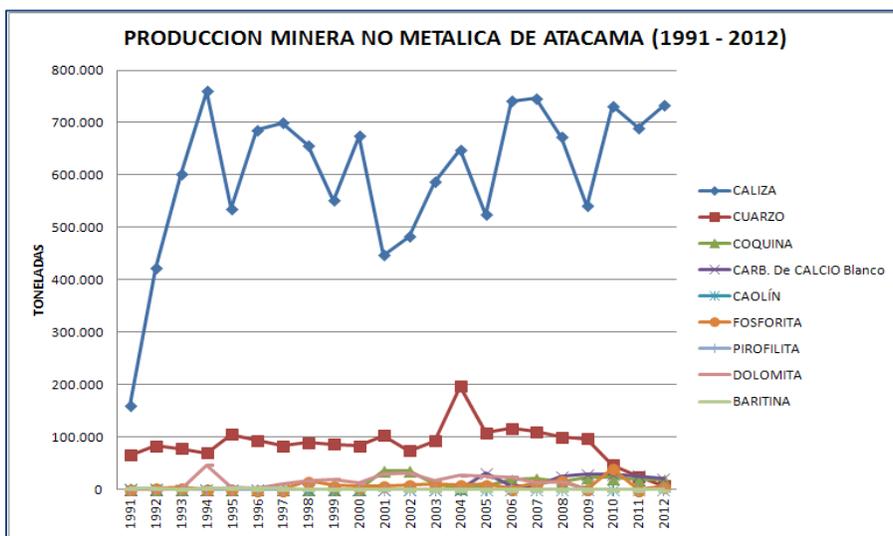


Figura 1. Irregularidad de la producción de los 9 minerales no metálicos económicamente aprovechados de la región de Atacama. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

Esto abre perspectivas nuevas en términos de innovación y desarrollo de nuevos usos tecnológicos para la minería no metálica desaprovechada en la región de Atacama, así como también nuevas oportunidades de mercados para la pequeña y mediana minería local. Al respecto es importante que el Estado provea de la información científico-técnica requerida para el desarrollo de nuevos productos.

### 3.1.1 Coquina y carbonatos de calcio blanco

Un análisis más detallado de las cifras muestra como la producción de minerales no metálicos ha mostrado no solo irregularidad, sino que también en los casos de coquina y carbonatos de calcio blanco ausencia absoluta de volúmenes de explotación registrables por el Ministerio de Minería (*Figura 1* y *Figura 2*). En el caso de la coquina solo se tiene registros a partir del año 2001, y para los carbonatos de calcio blanco la información registrada es solo a partir del año 2005.



Figura 2. El gráfico muestra la ausencia de información de explotación comercial de coquina antes de al año 2001, y la irregularidad en la producción anual. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

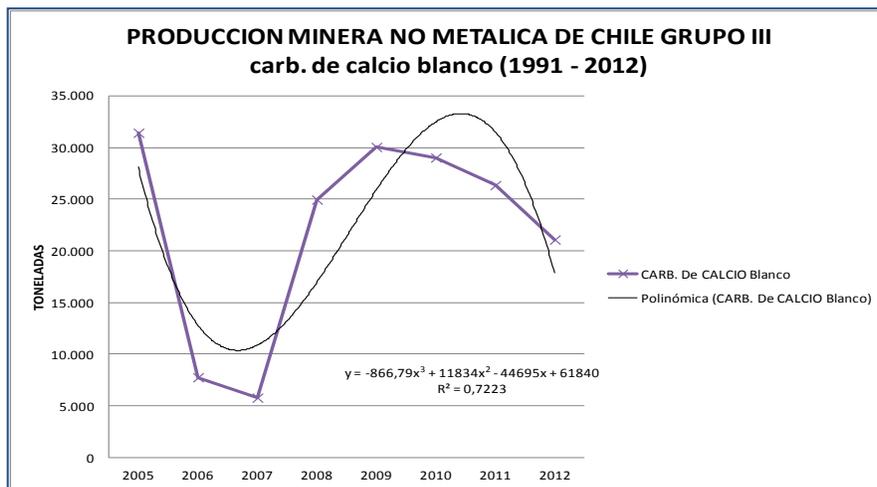


Figura 3: El gráfico muestra la ausencia de información de explotación comercial de carbonato de calcio blanco antes de al año 2005, y la irregularidad en la producción anual. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

### 3.1.2 Caolín y fosforita:

El caso del caolín y la fosforita la situación es aún más preocupante. En el caso del primero la región de Atacama concentra el 6% de la reservas nacionales (0,14 millones de toneladas), sin embargo hasta el año 2002, el 60% de las existencias de este mineral no metálico regional se encuentra sin explotar (0,1 millones de toneladas) en yacimientos declarados como de interés comercial por el Ministerio de Minería (Gajardo, 2000). A partir de esa fecha 2002, el 100% de la producción regional se encuentra totalmente paralizada (*Figura 4*).

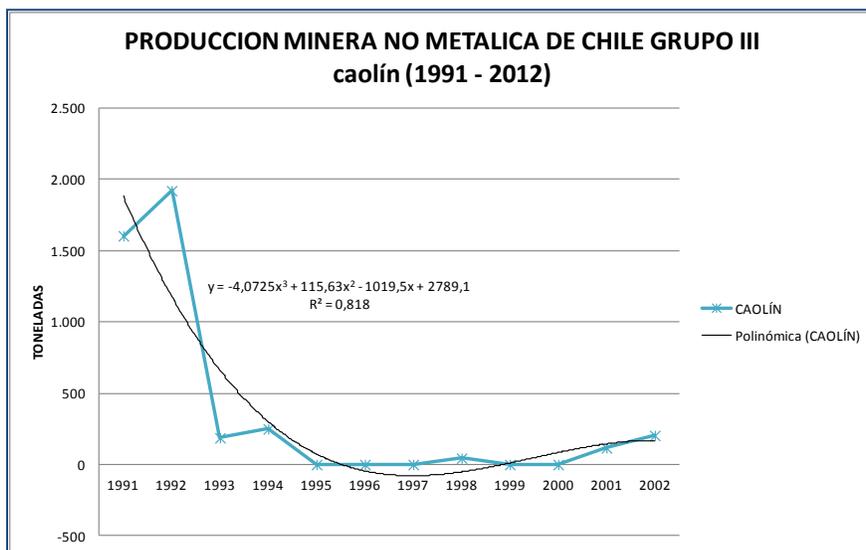


Figura 4. El gráfico muestra la caída en la explotación comercial de caolín entre los años 1991 y 2002, cuando además se detiene la extracción. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

Dicho mercado fue absorbido por la Región Metropolitana, quien desde el año 2007 y hasta el 2012 concentra el 98,5% de la producción nacional anual (60.000 toneladas / año) (Ministerio de Minería, 2013). La *Figura 5* grafica comparativamente la situación de ambas regiones en términos de volúmenes anuales producidos.

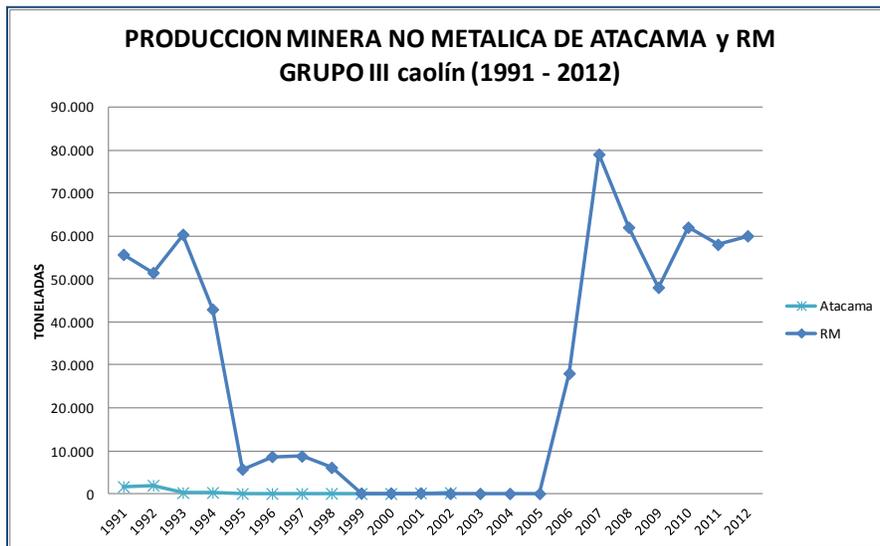


Figura 5. El gráfico muestra los volúmenes anuales producidos por la región de Atacama y la Región Metropolitana. A partir del año 2002 la región de Atacama abandona la producción de caolín. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

Para la fosforita, la región de Atacama concentra el 25,5 % de las reservas nacionales (87,7 millones de toneladas). Sin embargo, si bien el yacimiento Bahía inglesa está declarado como “en explotación”, las producciones son extremadamente irregulares en el tiempo, a pesar del aumento en el consumo nacional de este tipo de mineral, utilizado como fertilizante por la agricultura (*Figura 6*), (ODEPA, 2012). Además, la región de Atacama posee el único yacimiento comercialmente rentable del país. (Gajardo, 2000).

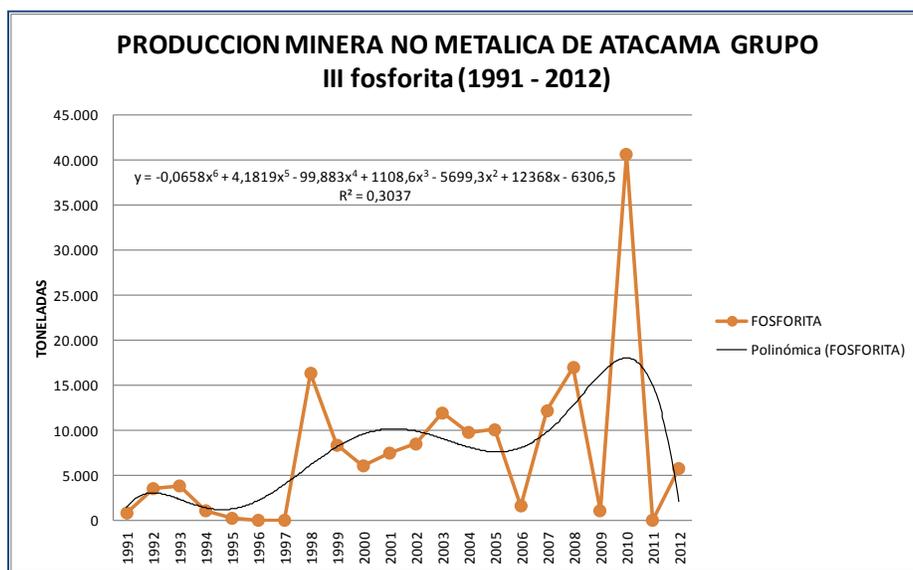


Figura 6. Irregularidad en la producción del único yacimiento comercialmente explotado de fosforita a nivel nacional, ubicado en la región de Atacama. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

### 3.1.3 Pirofilita, baritina y dolomita

Estos tres minerales no metálicos presentan situaciones negativas desde el punto de vista de la producción en la región de Atacama. Los estudios del SERNAGEOMIN los clasifica como minerales de interés económico para la pequeña y mediana minería de la región (SERNAGEOMIN, 2011).

La pirofilita, también conocida en el ambiente minero como “talco”, es empleada principalmente como carga en pinturas, lubricante seco, aislante térmico para las industrias del papel, goma, textil y jabón (Gajardo, 2000). A pesar de los usos declarados, los años 1999 y 2000 no hubo producción registrada, y desde el año 2004 definitivamente no existe producción regional (Figura 7). El análisis de los datos muestra una irregularidad en los volúmenes de producción, haciendo difícil el establecimiento de tendencias.

Si comparamos con las otras regiones de Chile que poseen yacimientos comerciales (Coquimbo y Valparaíso), vemos como el principal productor de pirofilita a nivel nacional (región de Valparaíso), a partir del año 2000 empieza con una tendencia negativa, deteniendo su producción el año 2006 y hasta la fecha. La comuna de Coquimbo, sin bien presenta un comportamiento irregular en su producción, es la que toma el control del mercado y es la única que actualmente produce el mineral (Figura 8).

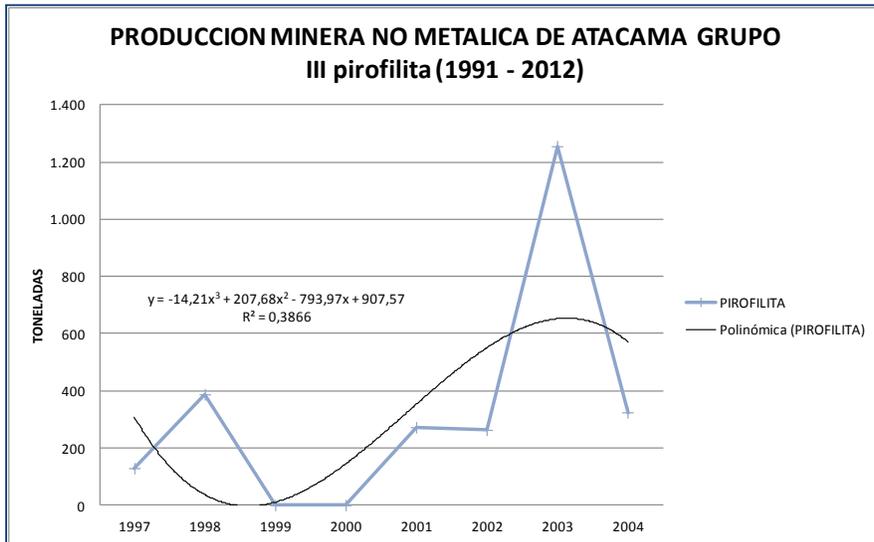


Figura 7. Producción de la región de Atacama de pirofilita. A partir del año 2004 y hasta la fecha, se paraliza la producción en la región de Atacama. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

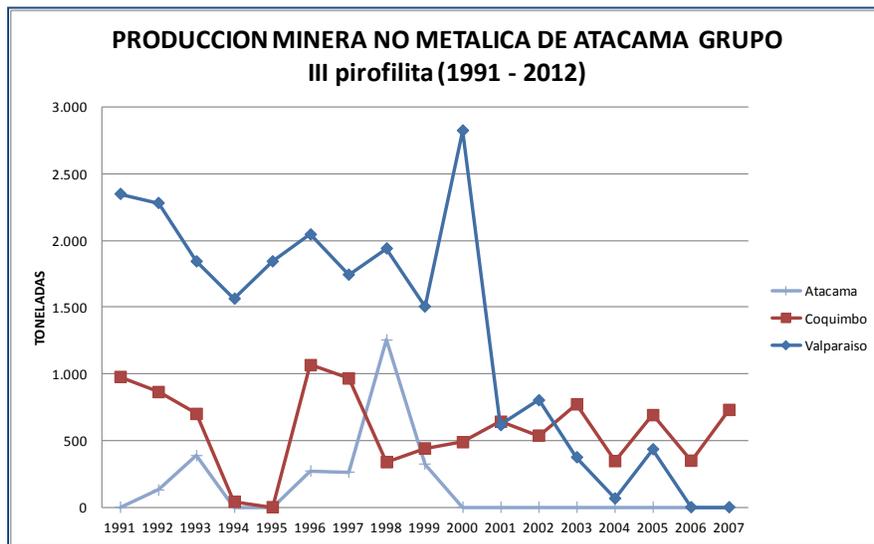


Figura 8. Cuadro comparativo de los volúmenes de producción de pirofilita de la región de Atacama, Coquimbo y Valparaíso. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

La situación de la baritina no es más auspiciosa. La explotación de este mineral durante los diez años que se tiene registro desde el año 1991 y hasta el 2001, presenta caídas del orden del 8,5 % al año (284 toneladas / año), llegando a dejar de explotarse el año 2001 (Figura 9). La región de Atacama históricamente había sido el principal abastecedor de este mineral en Chile, muy por sobre su principal competidor: la región de Valparaíso (Figura 10). Cabe destacar que la región de Atacama fue el principal productor nacional de este mineral no metálico, cuya producción fue destinada principalmente a la elaboración de lodos para le perforación petrolífera, abarcando ventas en el mercado nacional y exportaciones al extranjero. También es un mineral con usos en cargas para pinturas, fabricación de pigmentos blancos y en la industria del caucho (ENAMI, 2011). Hoy la producción nacional de este mineral se encuentra paralizada.

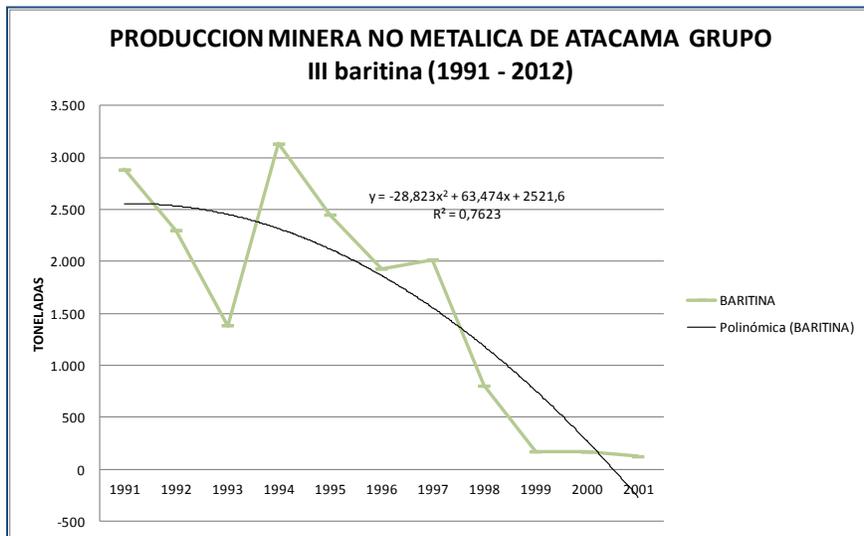


Figura 9. Caída de en la producción de baritina de los yacimientos de la región de Atacama. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

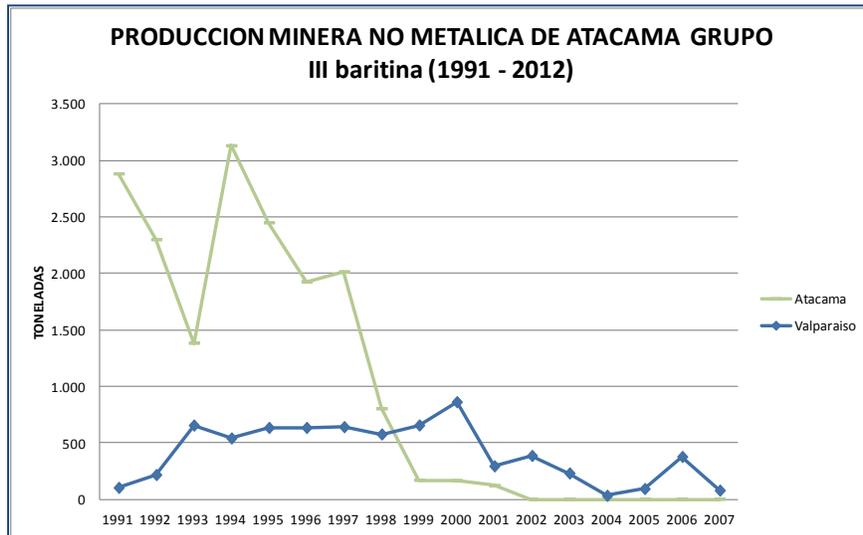


Figura 10. Cuadro comparativo de la producción de baritina de las regiones de Atacama y de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

La dolomita no escapa a la realidad regional. La región de Atacama fue el único productor de este mineral, cuya extracción sufre una muy fuerte caída a partir del 2009, llegando a 0, y hasta el día de hoy cuya extracción se encuentra paralizada (*Figura 11*). Su uso en Chile se ha limitado a las enmiendas agrícolas (Gajardo, 2000).

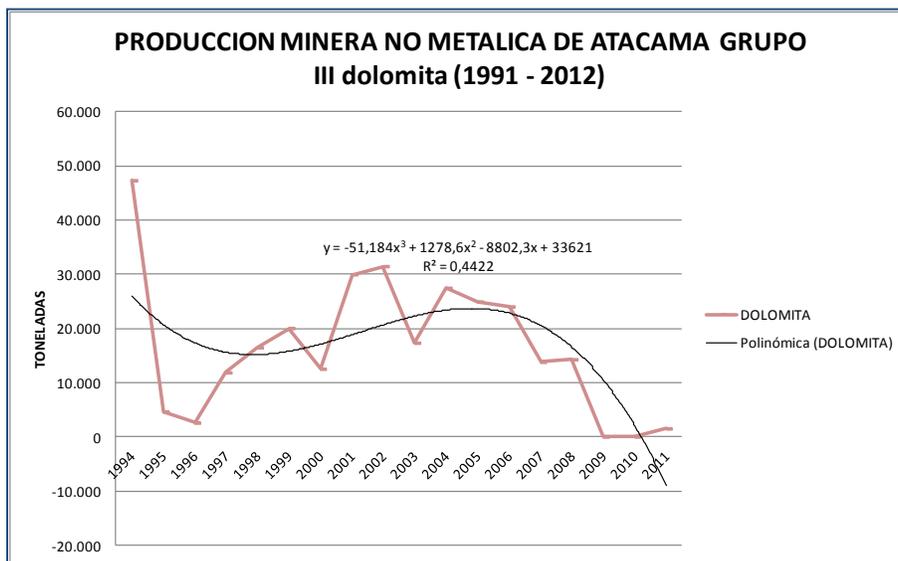


Figura 11. Comportamiento de los volúmenes de extracción de dolomita de la región de Atacama. Fuente: Elaboración propia con estadísticas del Ministerio de Minería, 2013.

### 3.2 Capacidades fertilizantes de los minerales no metálicos de la región de Atacama:

La determinación de capacidades fertilizantes orientadas al mercado de la agricultura tradicional y orgánica nacional e incluso internacional, aparece como una excelente opción de innovación en el uso tecnológico de este tipo de minerales. En el mundo, en los últimos cincuenta años la utilización de fertilizantes de origen mineral se ha multiplicado casi diez veces. El año 2009, los agricultores aplicaron en sus tierras más de 207 millones de toneladas de fertilizantes. El año 2012 FAO calculó su consumo en 241 millones de toneladas, incrementándose en un 5,5 % al año (11,3 millones de toneladas /año). En el caso de la industria de fertilizantes local, Chile es un importador neto de fertilizantes, con volúmenes de importación de 1,1 millones de toneladas anuales, equivalentes al 85 % de la demanda interna. La estructura del mercado es oligopólica, con muy pocas empresas oferentes. Además la variedad de fertilizantes es muy limitada: fosfato diamónico, superfosfato triple, urea y sulfato de potasio. Se hace imprescindible por tanto, disponer de una oferta más variada y amplia, considerando que pueden llegar a representar hasta el 60 % de los costos de producción de algunos cultivos (ODEPA, 2012). En consecuencia, se presenta una gran oportunidad de mercado en el desarrollo tecnológico de este tipo de productos, que se orienten a darle mayores opciones de generación de recursos económicos y empleos a la pequeña y mediana minería de la región de Atacama.

### 3.3 Capacidades descontaminante de los minerales no metálicos de la región de Atacama:

Desde el año 2008 en el mundo se viene desarrollando investigación respecto las capacidades filtrantes de los minerales no metálicos para usos en el manejo y control de contaminación por accidentes (derrames), en la gestión de sitios con presencia de todo tipo de pasivos ambientales, en la agricultura para filtrar agua de riego y para inmovilizar sales y metales en el suelo, y en el diseño de nuevos materiales laminares que puedan ser utilizados para mejorar la impermeabilidad química de las áreas de disposición final de desechos (Gautier et al., 2010). Todas estas innovaciones buscan controlar las externalidades negativas de impacto más directo al medioambiente y la población, indispensable para los desempeños ambientalmente sustentables de industrias tan variadas como la minera, agrícola, pecuaria, empresas sanitarias y forestales.

Dichas aplicaciones son inexistentes hoy en Chile, por lo que surge una importante oportunidad de desarrollo científico-tecnológico y de mercado para el desarrollo de este tipo de innovaciones aplicables tanto para la industria agrícola, pecuaria, así como para las empresas sanitarias que manejan desechos urbanos e industriales, y la industria forestal.

A nivel internacional, Francia es uno de los países que más ha avanzado tanto en términos científicos como legislativos. El Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), dependiente del Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) y de la Universidad de Orléans de Francia, ha desarrollado investigación en ésta área, reflejado en numerosas publicaciones científicas en revistas de prestigio. Dicha institución ha comprometido su participación en este proyecto.

#### 3.4 Estudio de pre-factibilidad económica

Con el apoyo de economistas e ingenieros comerciales de la empresa GEOSOLUM®, se evaluó la pre-factibilidad económica de las innovaciones asociadas a las capacidades fertilizantes de los minerales seleccionados.

(Este informe completo se adjunta a esta entrega)

## 4. ACTIVIDADES

El objetivo principal de este equipo ejecutor fue conocer la realidad de la minería no metálica desde punto de vista de sus usos actuales y de la factibilidad de poder innovar respecto de aplicaciones fertilizantes. La conformación de un equipo Universidad-empresa obedeció a poder integrar lo mejor de la academia con el know-how del mundo privado, y a atraer capitales privados a la región que se interesasen en invertir en un área de la economía regional que presenta excelentes proyecciones y urge desarrollar.

### 4.1 Campañas de terreno

Las campañas de terreno tenían como objetivo tomar contacto con las diferentes personas relacionadas con el proyecto y el reconocimiento del terreno de la región de Atacama con el fin de visitar los diferentes tipos de yacimientos de minerales no metálicos que pudiesen presentar interés en términos fertilizantes o eventualmente como sustrato, y/o que tuviesen propiedades filtrantes.

Por otra parte se hicieron dos campañas de trabajo en los laboratorios del CNRS, en la ciudad de Orléans, Francia.

Durante la ejecución del proyecto se efectuó cuatro campañas de terreno de varios días cada una.

#### 4.1.1 Campaña de terreno de enero 2014

Durante el mes de enero de 2014 se realizó la primera visita a terreno requerida para la obtención de muestras. Para esta primera campaña, se optó por tomar contacto con las principales instituciones y organizaciones privadas relacionadas con el proyecto, a saber:

- Gobierno Regional de Atacama
- SERNAGEOMIN Copiapó
- Empresas Bío – Bío
- Dirección de Extensión Cultural y Turismo de Copiapó

Las dificultades en establecer los contactos con las diferentes empresas hicieron optar al equipo de trabajo por hablar directamente con la plana ejecutiva que regía las plantas. Para el caso de las empresas Imerys y Minera Formas, las reuniones se realizaron en sus oficinas de Santiago. En el caso de Bío – Bío la reunión se efectuó directamente en las dependencias de la empresa en Copiapó.

El equipo de trabajo estuvo constituido por la Srta. Audrey Gallaud, Geóloga *M.Sc., Ph. D.*, la Sra. Fernanda Prohens, Ing. en Recursos Naturales Renovables y el Sr. Gerardo Soto M., Ing. Forestal *M.Sc., Ph. D.*, director del proyecto.

Las reuniones tuvieron como objetivo tomar contacto directo con cada uno de los actores y presentar al equipo que trabajó en el desarrollo de este proyecto.

- i. La primera reunión en la ciudad de Copiapó se desarrolló en el Gobierno Regional de Atacama con el ejecutivo asignado, el Sr. Pablo Muñoz. Se discutieron aspectos generales del proyecto, de las rendiciones mensuales, el lanzamiento oficial y además de la próxima estadía en los laboratorios del CNRS en Francia durante los meses de febrero y marzo de 2014.
- ii. La segunda reunión de trabajo fue con la Empresa Bío – Bío. El Sr. Rubén Galaz, Jefe de Control de Calidad de la Planta recibió al equipo de trabajo. Comprometió muestras de calcita con tres distintas leyes, correspondiente al mineral que la planta no hace uso. La empresa fue clara también señalar que no facilitaría el mineral de calcita de alta ley con el cual hoy producen caliza. Los diferentes tipos de calcita fueron recibidas por el equipo y las muestras de tres tipos de carbonatos fueron analizadas debidamente durante el proyecto.
- iii. La tercera reunión de la jornada fue con el Sr. Marco Yunis, encargado de seguridad minera regional. Se había solicitado formalmente por escrito acceso a las bases regionales de yacimientos de minerales industriales. Con fecha 5 de febrero de 2014, el SERNAGEOMIN respondió que se debía extenderse una solicitud de forma pormenorizada y detallada al subdirector nacional de geología del SERNAGEOMIN, para que *“en vista de los antecedentes, analice la pertinencia de solicitud”*. En pocas palabras, no se tiene acceso directo a las bases que se solicitaron. Por otra parte, el Sr. Yunis, ofreció su ayuda respecto de poder ubicar los yacimientos seleccionados, de manera de facilitar los desplazamientos dentro de la región de Atacama.
- iv. La cuarta y última reunión de la jornada fue con en el Centro de Extensión Cultural y Turismo, con el Sr. Alejandro Aracena S., historiador y gran conocedor de la historia minera de la Región. El Sr. Aracena también es un gran conocedor de la ubicación geográfica de minerales no metálicos de la región de Atacama. El objetivo fue adentrarse en la realidad histórica minera de la región de Atacama, además de recabar antecedentes respecto de los yacimientos que están o que son potencialmente explotables. Es importante señalar que Alejandro Aracena es reconocido incluso por el SERNAGEOMIN Copiapó, como un gran conocedor, no solo de la historia minera local, sino también de la geografía regional y del terreno de la región de Atacama.

Las reuniones con Minera Formas e Imerys, fueron concertadas en Santiago a petición de las empresas.

Las visitas a terreno y las reuniones ocurrieron durante el mes de enero de 2014. El dueño de las Empresas Formas, Sr. Cesar Formas, luego de haber acordado hacerle llegar una solicitud por escrito donde se describía el objetivo de esta investigación y de las instituciones que participan, autorizó a entregar muestras de roca fosfórica (fosforita) de su yacimiento en Atacama. Sin embargo, no autorizó la visita al yacimiento. Las muestras fueron retiradas el día 4 de febrero del 2014 en las oficinas de la empresa en la ciudad de Santiago.

El caso de Imerys fue similar. El gerente de la planta en Santiago, Sr. Raúl Anduni autorizó la entrega de diatomita y pumicita de sus yacimientos, previa entrega de una carta firmada por el director del proyecto, donde se describía a líneas generales los objetivos perseguidos. Dichas muestras fueron retiradas el día martes 4 de febrero de 2014, en dependencias de la empresa en la ciudad de Santiago.

Ambas empresas (Formas e Imerys) solicitaron los resultados de sus muestras una vez que sean estudiadas.

Todas las muestras fueron enviadas a las dependencias del CNRS en Francia, y fueron analizadas por el equipo de trabajo del proyecto, durante los meses de junio, julio y agosto de 2014.

Respecto de la recolección de información para la selección de minerales, se pudo acceder a la información cartográfica regional a través del SERNAGEOMIN en Santiago.

#### 4.1.2 Campaña de terreno de noviembre 2014

Durante el mes de noviembre 2014 se realizaron dos salidas a terreno: una a todo el valle del río Huasco y la segunda en los alrededores de río Copiapó. El objetivo fue reconocer yacimientos de minerales no metálicos.

Los sectores que abarcó el recorrido fueron algunos yacimientos de baritina, liparita, carbonato de calcio blanco y apatita. La extensión de la región de Atacama y el acceso a cada uno de los yacimientos no permitió hacer el recorrido de la región completa durante estas dos grandes campañas de terreno.

El recorrido fue realizado en compañía del Sr. Alejandro Aracena Siales, historiador del Centro Cultural de Copiapó, del museo mineralógico de Tierra Amarilla, y gran conocedor de la ubicación de los yacimientos y de la historia detrás de cada mineral. Es importante destacar que el Sr. Aracena hizo todo su trabajo *ad honorem*, por lo que los recursos del proyecto se concentraron en cubrir los costos de transporte, alojamiento y alimentación. El recorrido se encuentra detallado en una cartografía hecha a mano por el propio historiador. Cada punto visitado fue debidamente descrito, fotografiado y referenciado cartográficamente (*Figura 12*).

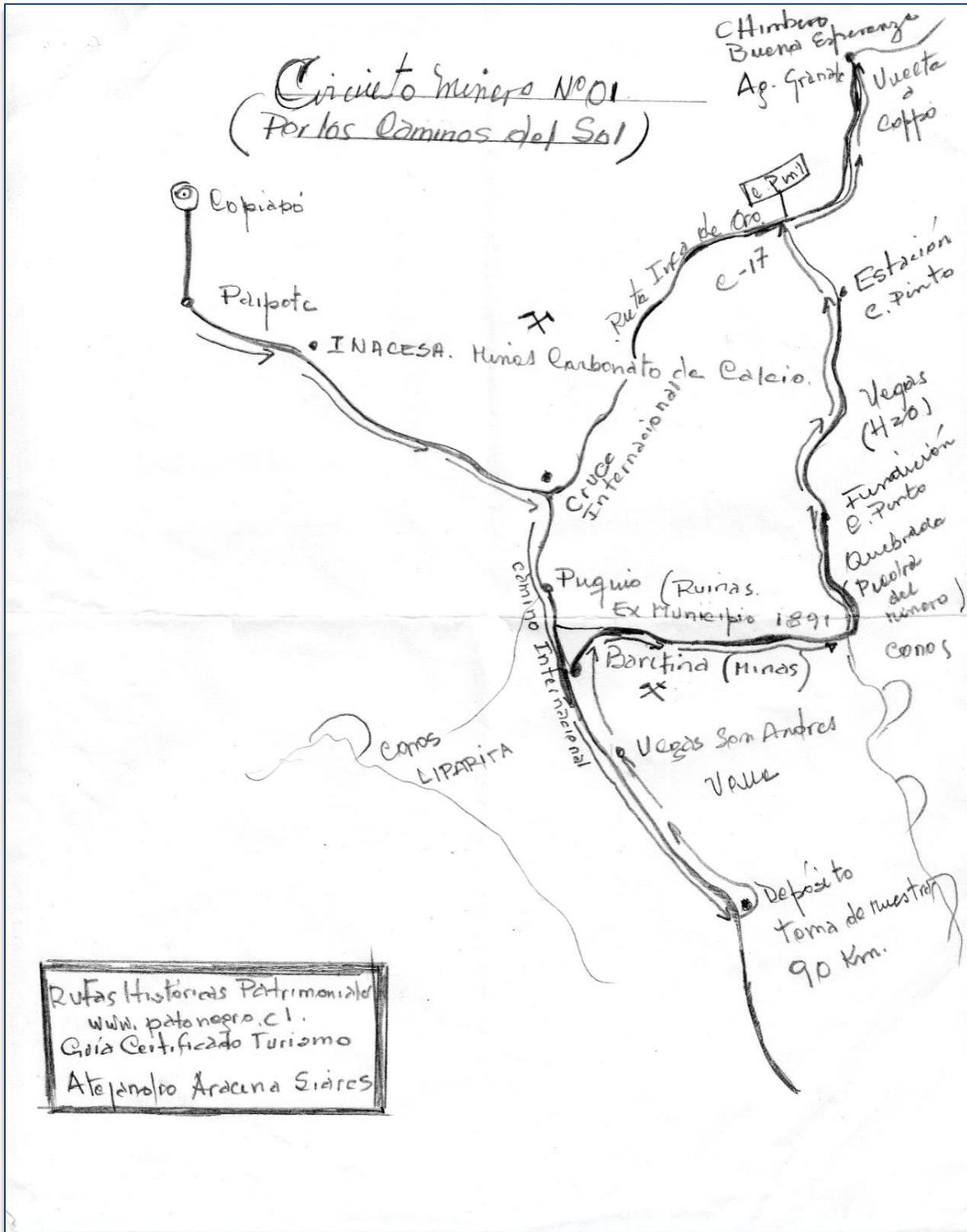


Figura 12. Cartografía de la misión de terreno realizada en noviembre 2014, hecha a mano por el historiador Alejandro Aracena.

## **i. Situación de los minerales visitados en terreno en la región de Atacama**

### **a) APATITA**

Los yacimientos de apatita reconocidos corresponden a cuerpos vetiformes encajados en plutones de composición granodiorítica, pertenecientes a la denominada Franja Central de rocas intrusivas (Moscoso et al., 1982) asignada al Cretácico Superior-Terciario Inferior, ubicada en la Cordillera de la Costa regional, al sureste de Vallenar. Estos yacimientos están actualmente paralizados y agotados, luego de la intensa explotación efectuada hasta la mitad de la década del 60, para la obtención de fertilizantes fosfatados. En la actualidad, no existe registro oficial de explotación de apatita en la región.

### **b) BARITINA**

Los yacimientos de baritina corresponden a cuerpos vetiformes que se distribuyen, principalmente, en la Cordillera de la Costa y Precordillera regional. Se relacionan genética y espacialmente con fenómenos de alteración hidrotermal, generados por: a) plutones de edad Jurásica Superior, Grupo Plutónico Matancilla (Naranjo y Puig, 1984) y Plutón Las Animas (Gelcich et al., 1998), sobre rocas volcánicas del Jurásico Medio a Superior, como la Formación La Negra (García, 1967); b) por plutones del Cretácico Superior, como el Plutón Remolino (Lara y Godoy, 1998) que intruyen rocas del Jurásico Superior-Cretácico, como la Formación Punta del Cobre (sensu Lara y Godoy, 1998) y rocas del Triásico Superior, como la Formación La Ternera (Brüggen, 1950); c) por plutones del Cretácico Superior y del Terciario Inferior, Complejo granodiorítico y Complejo granítico, respectivamente que intruyen al Grupo Chañarcillo y a la Formación Cerrillos (Segerstrom y Parker, 1959).

La III Región ha sido históricamente una de las más importantes productoras de baritina del país, especialmente el distrito Las Bombas, localizado cerca del límite con la II Región (Botto et al., 1979). La producción fue destinada, principalmente, a la elaboración de lodos para perforación petrolífera, con mercados nacionales y extranjeros. La producción regional, que alcanzó su máximo en la década del 70 y comienzos de la del 80, decayó significativamente, hasta situarse, el año 2001, en 292 t (SERNAGEOMIN, 2011), que representa el 50% de la producción en dicho año.

### **c) LIPARITA**

Los yacimientos de pumicita corresponden a los depósitos de ignimbritas que afloran en la zona precordillerana y cordillerana, al noreste de Copiapó, y que han sido denominados Ignimbritas San Andrés, por Iriarte et al. (1996). Estos depósitos pumíceos, escasamente litificados, han sido utilizados hasta hace unos 6 años atrás, para producir piedras de lavado de jeans (stone-wash). Asimismo, ha habido proyectos privados y universitarios, orientados a la utilización de estos materiales como agregado liviano de construcción. El proyecto de la Universidad de Atacama culminó con la construcción de una casa en el recinto universitario, en Copiapó.

No existe información alguna de producción de este recurso en la región.

#### d) FOSFORITA

El único yacimiento de fosforita y único en explotación en el país, está relacionado con los niveles superiores de la Formación Bahía Inglesa (Rojo y Rivera, 1985), que aflora en las Planicies Litorales. El yacimiento, denominado Bahía Inglesa, es de origen sedimentario biogénico y estratiforme, y se distribuye en la Planicie Litoral, al sur de la localidad de Bahía Inglesa. Es explotado por la empresa Bifox, su propietaria, para elaborar un concentrado fosfórico de aplicación directa a suelos ácidos del sur de Chile, mediante procesos de molienda y concentración. La empresa está desarrollando, además, un proyecto para la producción de ácido fosfórico.

#### 4.1.3 Campaña de terreno de enero 2015

Durante el mes de enero de 2015, se realizó una visita de terreno. Fueron visitadas canteras de caliza del grupo Chañarcillo, que afloran en la Precordillera regional, desde la quebrada Los Cóndores hasta la latitud de Domeyko. Dicha visita fue nuevamente en compañía del Historiador del centro Cultural de Copiapó, Sr. Alejandro Aracena Siales, gran conocedor de la zona (*Figura 13*).

Esta secuencia sedimentaria contiene los más importantes yacimientos de caliza de la región de Atacama y además, constituye la fuente real y potencial de mayor interés de calizas en el país, a excepción de los yacimientos del archipiélago Madre de Dios. En esta secuencia se han descubierto y evaluado, en la última década del siglo XX, los yacimientos que abastecerán los proyectos de fabricación de cemento y/o cal de las empresas Cemento Melón, Cemento Polpaico, INACESA y Cementos Bío-Bío, además de albergar el yacimiento El Jilguero, de INACESA Copiapó, cuyas calizas se utilizan para elaborar cal viva. Actualmente, no se encuentran en explotación, puesto que la concentración de carbonato de calcio (inferior al 90 %), no es funcional en la fabricación de cemento. Antiguamente, los carbonatos menos concentrados eran vendidos como reguladores de pH para la agricultura de la zona sur (regiones VIII, IX, y X). Se desconocen los motivos por los cuales se dejó de vender. En entrevista con la empresa (INACESA), no supieron explicar porque se detuvo la explotación de éstas canteras. Al respecto, es necesario señalar la escasez de este producto orientado al mercado agrícola e indispensable en el manejo de los suelos de la zona sur.

Por último señalar el buen potencial de este mineral, toda vez que además de la escasez ya señalada, el mercado tampoco ofrece productos carbonatados líquidos a buen precio y para el mercado orgánico.

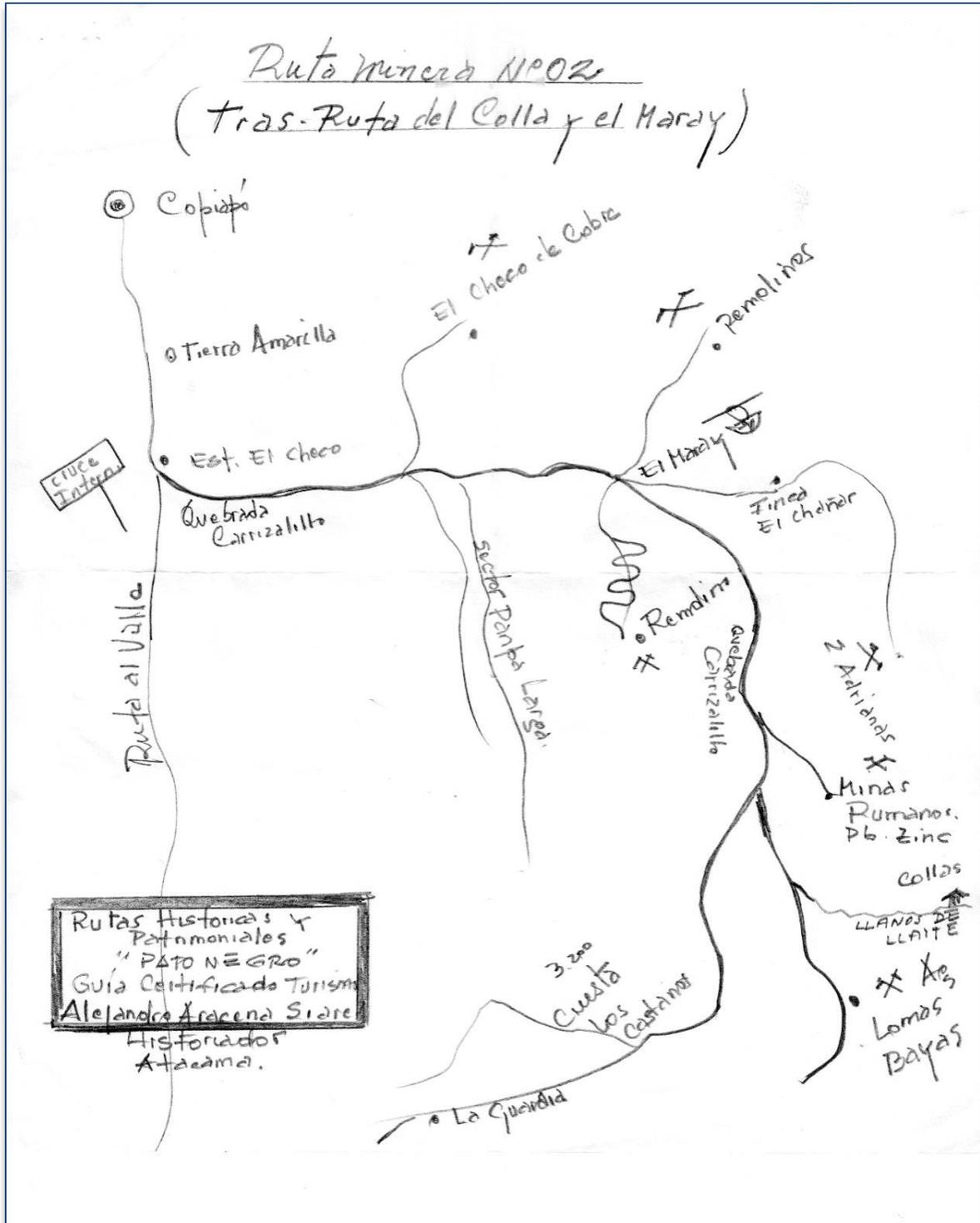


Figura 13. Cartografía de la misión de terreno realizada en enero 2015, hecha a mano por el historiador Alejandro Arcana.

#### 4.1.4 Campaña de terreno de febrero 2015

Durante el mes de febrero de 2015, se realizó una visita de terreno en la Región de Atacama con la geóloga Dra. Audrey Gallaud. Fueron visitadas las canteras Flor de Puquios, Carrera Pinto, Inca de Oro, Mineral de Tres Puntas y Chimbero. Dicha visita fue nuevamente en compañía del Historiador del centro Cultural de Copiapó, Sr. Alejandro Aracena Siares, gran conocedor de la zona. Como bien fue señalado en el informe del mes de diciembre de 2014, fue el SERNAGEOMIN de Atacama quien recomendó al Sr. Aracena a este equipo ejecutor.

Las varias campañas de terreno asociadas a las reuniones con empresas mineras permitieron al equipo de trabajo de recolectar muestras de 10 tipos de minerales no metálicos, los cuales fueron analizados en los laboratorios del CNRS en Francia.

## 4.2 Caracterización mineralógica de los minerales no metálicos

### 4.2.1 Difractometría de rayos X

Los rayos X se descubrieron en 1895 por el físico alemán Roentgen y recibieron ese nombre porque se desconocía su naturaleza en ese momento.

En 1912 se estableció de manera precisa la naturaleza de los rayos X. En ese año se descubrió la difracción de rayos x en cristales y este descubrimiento probó la naturaleza de los rayos X y proporcionó un nuevo método para investigar la estructura de la materia de manera simultánea.

Los rayos X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz pero de longitud de onda mucho más corta. La unidad de medida en la región de los rayos X es el angstrom (Å), igual a  $10^{-10}$  m y los rayos X usados en difracción tienen longitudes de onda en el rango 0.5-2.5 Å mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å.

El principio de la difractometría de rayos X viene de la radiación emitida por un tubo de rayos X (**Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** y **Figura 15**) de longitud de onda  $\lambda$  incide sobre la muestra con un espaciado  $d$ , si tiene estructura cristalina. Este haz sale reflejado con un ángulo  $\theta$  de acuerdo con la ley de Bragg ( $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$ ). Un detector se mueve, variando el ángulo que forma con la muestra y va registrando dicho haz reflejado. El resultado de intensidad en función del ángulo proporciona información sobre la estructura cristalina de la muestra.

Un difractograma de rayos X recoge los datos de intensidad en función del ángulo de difracción ( $2\theta$ ) obteniéndose una serie de picos. Los datos más importantes obtenidos a partir de un difractograma son los siguientes:

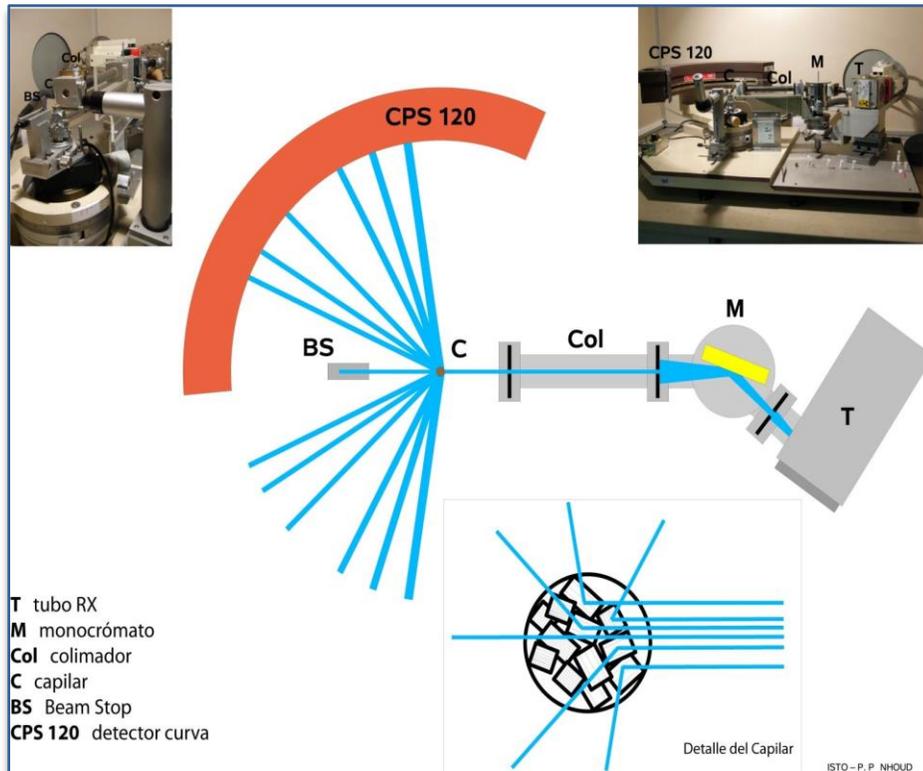
- posición de los picos expresada en valores de  $\theta$ ,  $2\theta$ ,  $d$  ó  $q = 1/d^2$ .
- intensidad de pico. Las intensidades se pueden tomar como alturas de los picos o para trabajos de más precisión las áreas. Al pico más intenso se le asigna un valor de 100 y el resto se resécala respecto a este.
- perfil de pico. Aunque se utiliza menos que los anteriores la forma de los picos también proporciona información útil sobre la muestra analizada.

Existe varias aplicaciones a la difracción de rayos X entre otras la identificación de fases. Una fase cristalina dada siempre produce un patrón de difracción característico, bien esté en estado puro o como constituyente de una mezcla. Este hecho es la base para el uso de la difracción como método de análisis químico. El análisis cualitativo se realiza mediante la identificación del patrón de esa fase. Para la identificación cualitativa se usa la Poder Difracción File, esta base de datos contiene datos de  $d$ -I además de información cristalográfica y bibliográfica para gran cantidad de fases cristalográficas de materiales inorgánicos, minerales, productos farmacéuticos, etc.

Figura 14: Foto del difractómetro de rayos X del laboratorio ISTO-CNRS, Francia.



Figura 15 Esquema del funcionamiento de un difractómetro de rayos X.



#### 4.2.2 Análisis de la composición elemental (Microsonda electrónica CAMECA-SX FIVE)

La microsonda electrónica se utiliza para la realización de análisis químicos cualitativos y cuantitativos, a escala micrométrica, de muestras sólidas previamente pulidas. Su principio de funcionamiento consiste en la excitación de la superficie de la muestra (previamente pulida) mediante un haz de electrones, acelerados entre 15 y 35 kv y focalizados en un diámetro que oscila entre 1 y 2 micras (*Figura 16 y Figura 17*). Los rayos X (RX) característicos generados en la muestra son detectados por espectrómetros dispersores de longitud de onda (WDS).

En cualquier caso, la microsonda permite conocer la composición química de un mineral, generalmente con una precisión relativa del 2%, y por tanto identificarlo. Ello es imprescindible en la caracterización de nuevos minerales y muy útil para la identificación de minerales de tamaño pequeño (de pocas micras), como es el caso de los minerales del grupo del platino. Pero evidentemente también es imprescindible el método para determinar la concentración de elementos valiosos en la estructura de un mineral, así como también la concentración de los elementos penalizantes. También el EMPA permite la cuantificación de elementos menores y trazas.

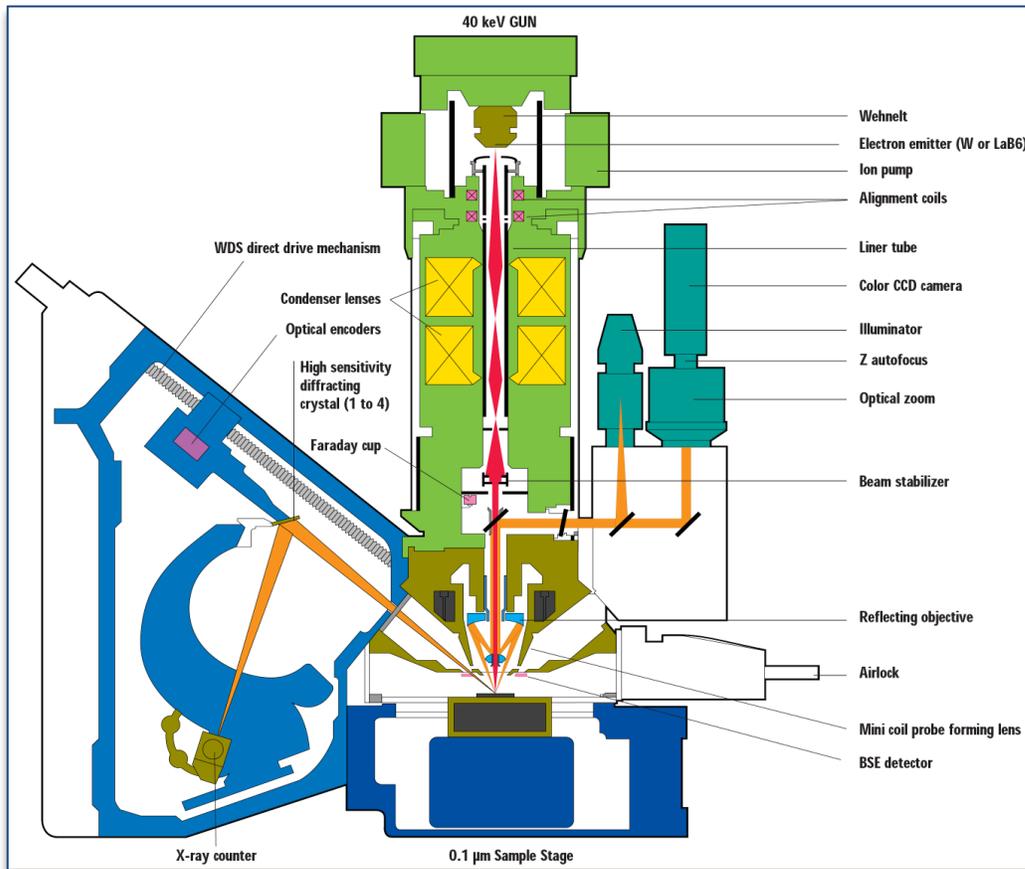


Figura 16. Esquema del funcionamiento de la microsonda SAMCA SX-FIVE.



Figura 17. Foto de la microsonda CAMECA SX-FIVE de laboratorio ISTO-CNRS, Francia.

### 4.3 Caracterización química de los minerales no metálicos

#### 4.3.1 Ensayos en BATCH

Los ensayos en BATCH permiten determinar la capacidad descontaminante de los minerales. El ensayo consiste en poner en contacto el mineral de interés con un contaminante en una concentración determinada, por un tiempo determinado.

El protocolo del ensayo en BATCH es lo siguiente:

1. Moler a mano en un mortero de ágata hasta obtener polvo fino.
2. Elegir la proporción inicial sólido/líquido de los ensayos :
  - 200 mg en 20 mL, o sea una proporción sólido/líquido de 0,01 o 1 %
3. Elegir los sólidos o minerales no metálicos :
  - Caolín, rocas fosfóricas, piedra caliza 60 %, 70 % y 80 %  $\text{CaCO}_3$ , caliza magnesiana, diatomita 10 %, 20 % y tratada 10 % y liparita.
4. Hacer tres repeticiones.
5. Elegir el contaminante metálico usado:

$\text{CuSO}_4$  con  $M_m = 159,64 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

6. Elegir las concentraciones de la solución contaminante:
  - Concentración máxima :  $[\text{CuSO}_4] = 45 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  o  $0,28 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
  - Concentración mínima :  $[\text{CuSO}_4] = 4,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  o  $2,8\cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
7. Elegir el pH:
  - $\text{pH}=3,83$  para la concentración máxima
  - $\text{pH}=5,15$  para la concentración mínima
8. Elegir el tiempo de contacto mineral – solución contaminante:
  - 3, 6, 12 y 24 horas
9. Preparar dos soluciones bases:
  - 1 solución de 200 mL a  $0,28 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
  - 1 solución de 200 mL a  $0,028 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$



Figura 18. Foto de la fase de contacto entre el mineral y la solución contaminante.

### 4.3.2 Filtración

La filtración es una fase necesaria para purificar el sobrenadante y poder analizar la concentración final.

Luego de cumplir el tiempo de contacto entre los minerales y la solución contaminante, los siguientes pasos son:

1. Centrifugar a  $8.000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  durante 8 minutos.
2. Recuperar el sobrenadante en un frasco de polímero (plástico liso).
3. Aspirar la solución con una jeringa y filtrar ( $45 \mu\text{m}$ ).
4. Etiquetar cada uno de los frascos, indicando el mineral, la concentración de la solución y el tiempo de contacto.
5. Secar cada tubo de ensayo 48 h a  $72^\circ\text{C}$  en un autoclave.
6. Recuperar el sedimento en un frasco de polímero plástico con etiqueta.

### 4.3.3 Dosificación de los elementos trazas

La dosificación de los elementos trazas puede realizarse por el medio de diferentes técnicas. Durante la ejecución del proyecto, el equipo de trabajo tuvo que cambiar de técnicas dos veces para adoptar el mejor método de dosificación indicado para nuestros minerales no metálicos y contaminantes.

#### a) 1ª opción: Método de Absorción atómica

Ese método permite la dosificación de sesenta elementos químicos en trazas, metales y no-metales (inferior a  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Este análisis se basa en la absorción de fotones por átomos en el estado fundamental. Es un método cuantitativo y relativo.

Se preparó 4 diluciones de referencias a 1, 2, 4 y  $5 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  (ppm) para la medida pero los resultados demostraron que las concentraciones de contaminante eran demasiadas importantes para los rangos de la máquina. Con ese método los elementos trazas no eran detectables.

#### b) 2ª opción: Iodometría de los iones $\text{Cu}^{2+}$

Esa técnica es un método indirecto de dosificación por óxido-reducción.

Durante esa medición la Montmorillonita Swy-2 fue el testigo. Esta arcilla demostró tener una capacidad de adsorción de 16,6 % de  $\text{CuSO}_4$ . Sin embargo, para la perlita, no fue posible medir la cantidad de contaminante adsorbido. En el caso del caolín, la capacidad de adsorción era de 2,2% de  $\text{CuSO}_4$ .

El equipo de trabajo decidió no seguir con esa técnica debido a los resultados muy variables e inciertos. La reproductibilidad de las condiciones de cada análisis requería condiciones y equipamiento químico que no se poseía, por lo que se decidió optar por una tecnología equivalente que permitiese cumplir con los objetivos propuestos.

### **c) 3ª opción: Espectrofotometría UV**

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. La espectrometría UV/Vis se utiliza habitualmente en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados.

Como para la técnica de Iodometría, el testigo elegido fue la Montmorillonita Swy-2. Con ese método su capacidad de adsorción medida fue de 83,3 % de  $\text{CuSO}_4$ . Para el caolín, la adsorción era de 2,2 % de  $\text{CuSO}_4$  y no detectable para la perlita.

#### **4.4 Mapeo digital**

El mapeo digital consistió en una generación de una base de datos cartográfica de los yacimientos de minerales no metálicos de interés comercial y con capacidades fertilizantes y descontaminantes de la región de Atacama. Esta base de datos se generó con la información de minería no metálica que se pudo recopilar de las diferentes fuentes oficiales: SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería), USGS (United State Geological Survey; Estados Unidos) y BRGM (Bureau de Recherche Geologique et Minière; Francia). En base a estos datos, fue realizada una cartografía completa de la región que quedará a disposición del Gobierno Regional de Atacama.

#### **4.5 Estudio de pre factibilidad económica**

La empresa GEOSOLUM®, elaboró en tiempo y forma el estudio de pre factibilidad económica del uso de los minerales de la región de Atacama. Dicho estudio será entregado junto al informe final.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Caracterización mineralógica de los minerales no metálicos

#### 5.1.1 Difractometría de rayos X

##### a) Caolín

El caolín es una roca blanca y desmenuzable constituida sobre todo de caolinita. Proviene de la alteración superficial o hidrotermal de rocas magmáticas ácidas ricas en feldespáticos potásicos y pobres en minerales ferromagnesianos. La fórmula química del caolín es  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

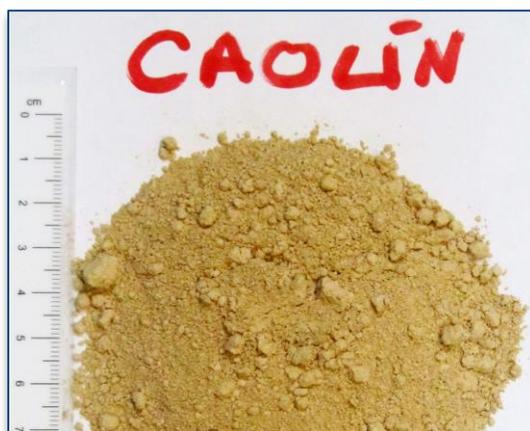


Figura19. Foto de la muestra de caolín.

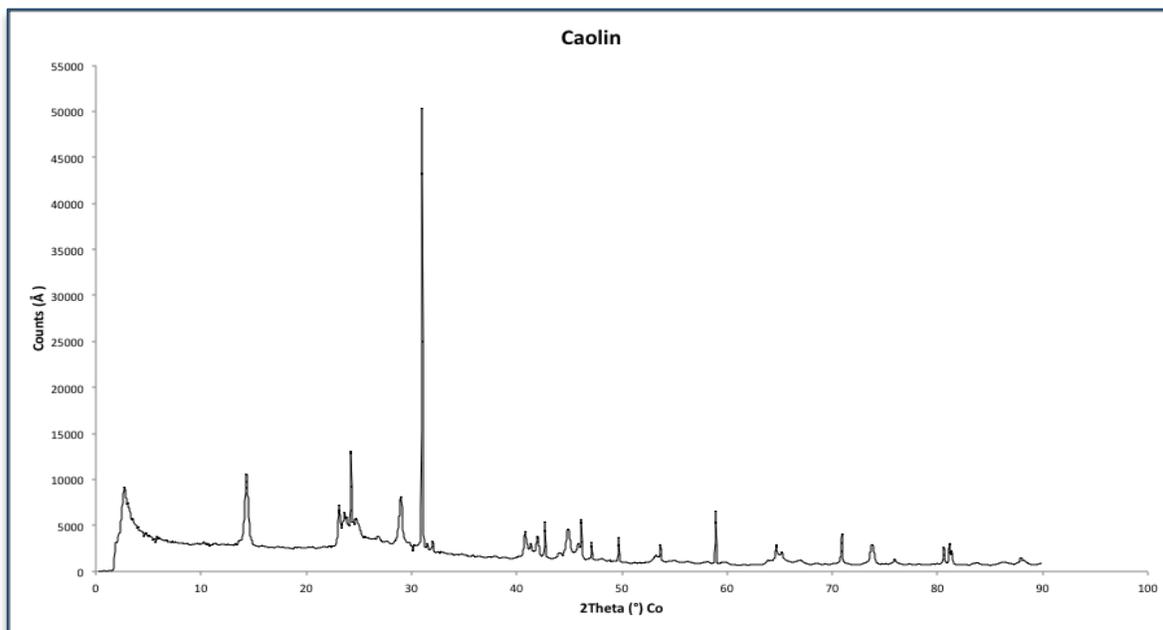


Figura 19. Difractograma de la muestra de caolín.

**b) Diatomita**

La diatomita es una roca ligera, porosa, de color clara, blanda o consolidada, constituida completamente o cuasi de diatomeas.



Figura 20. Foto de la muestra de diatomita.

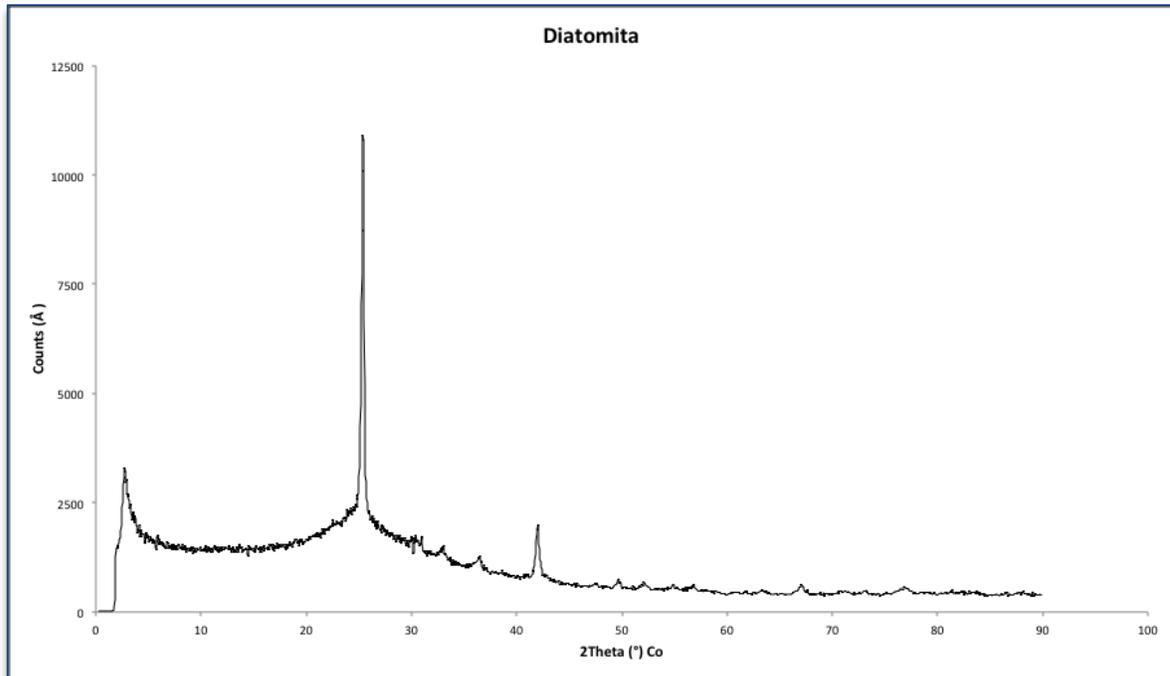


Figura 21. Difractograma de la muestra de diatomita.

c) Caliza

La piedra caliza es una roca carbonatada sedimentaria conteniendo por lo menos 50% de calcita  $\text{CaCO}_3$  y que puede estar asociada a dolomita, aragonita o siderita. Puede ser de color blanco, gris, amarillo, rojiza, negro...

Tuvimos acceso a tres tipos de caliza con un porcentaje de calcita diferente, 60, 70 y 80%.

i. Caliza 80%  $\text{CaCO}_3$



Figura 22. Foto de la muestra de caliza 80%  $\text{CaCO}_3$ .

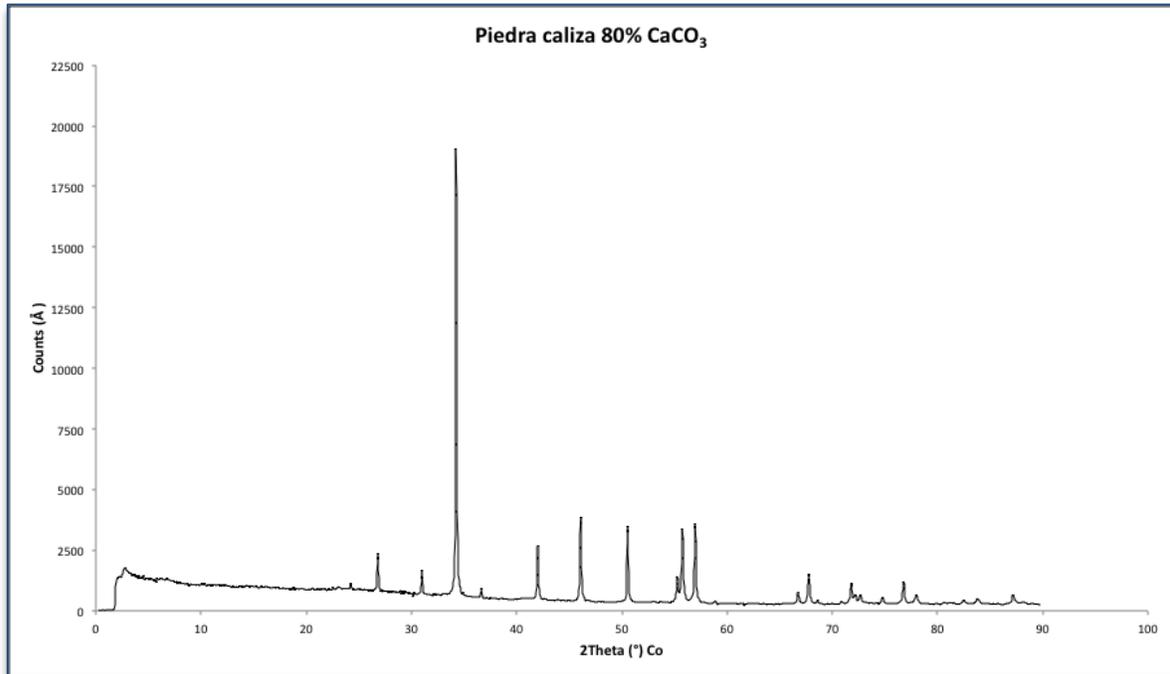


Figura 23. Difractograma de la muestra de piedra caliza 80%  $\text{CaCO}_3$ .

ii. Caliza 70% CaCO<sub>3</sub>

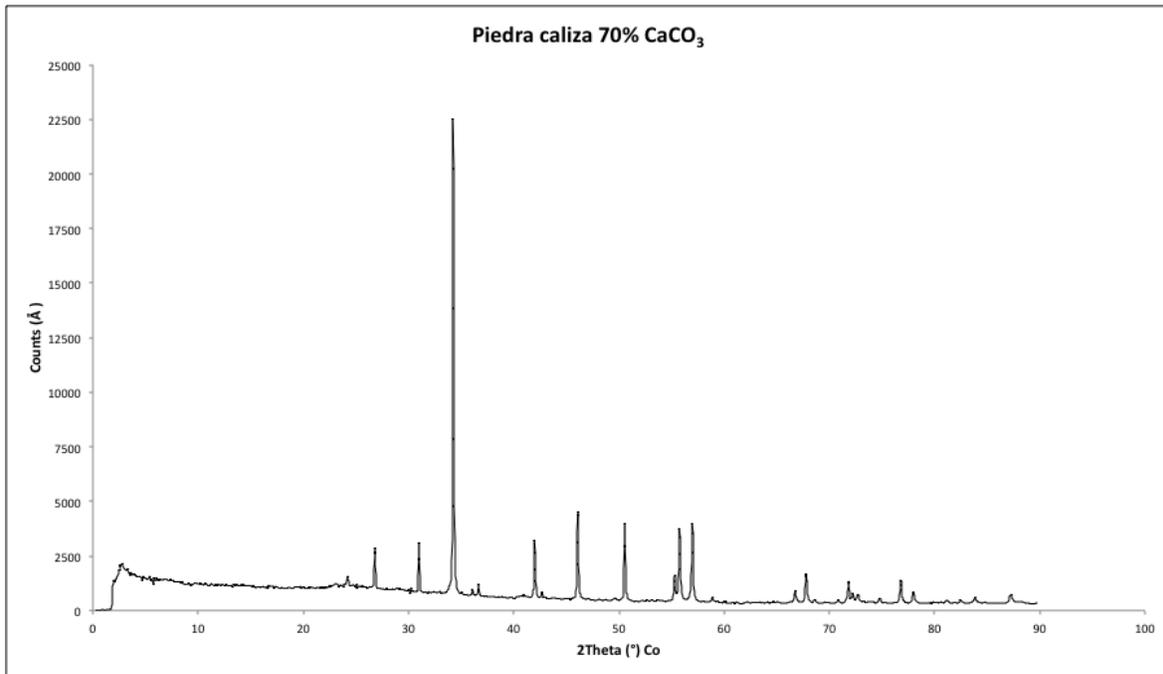


Figura 24. Difractograma de la muestra de piedra caliza 70% CaCO<sub>3</sub>.

iii. Caliza 60% CaCO<sub>3</sub>



Figura 25. Foto de la muestra de caliza 60% CaCO<sub>3</sub>.

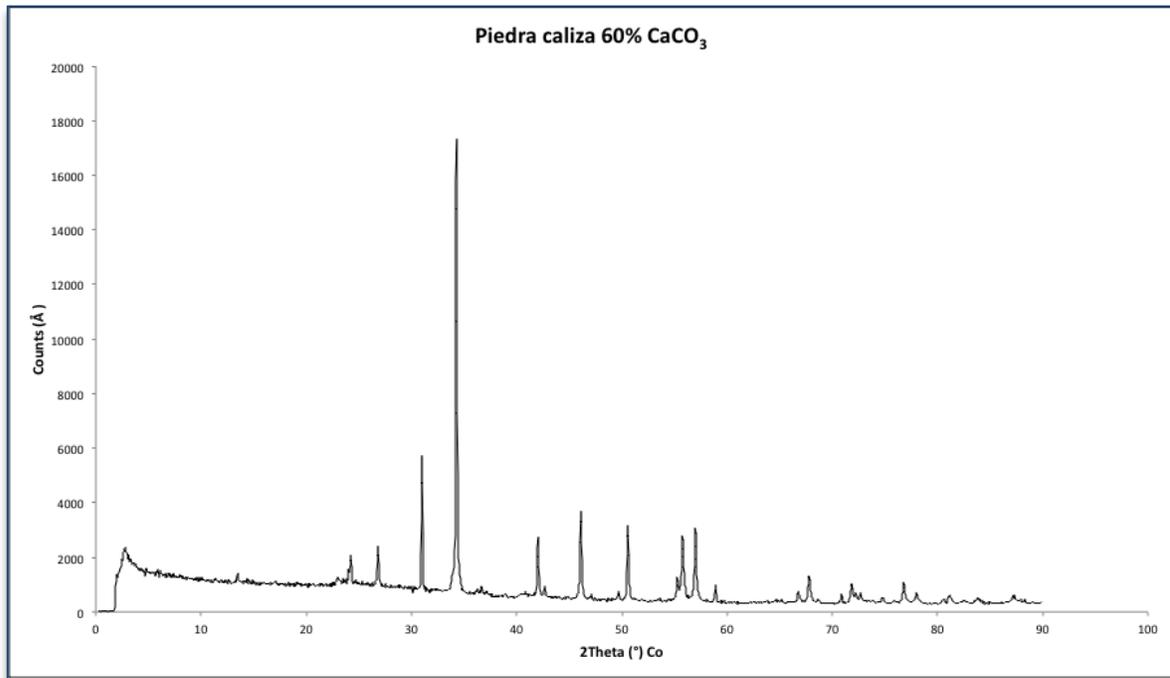


Figura 26. Difractograma de la muestra de piedra caliza 60% CaCO<sub>3</sub>.

**d) Rocas fosfóricas**

Las rocas fosfóricas son unas rocas sedimentarias conteniendo por lo menos 20% de pentóxido de fósforo. Corresponde a una encostradura compacta, blanco a amarillo, ricos en fosfatos y conteniendo además arcillas.



Figura 27. Foto de la muestra de rocas fosfóricas.

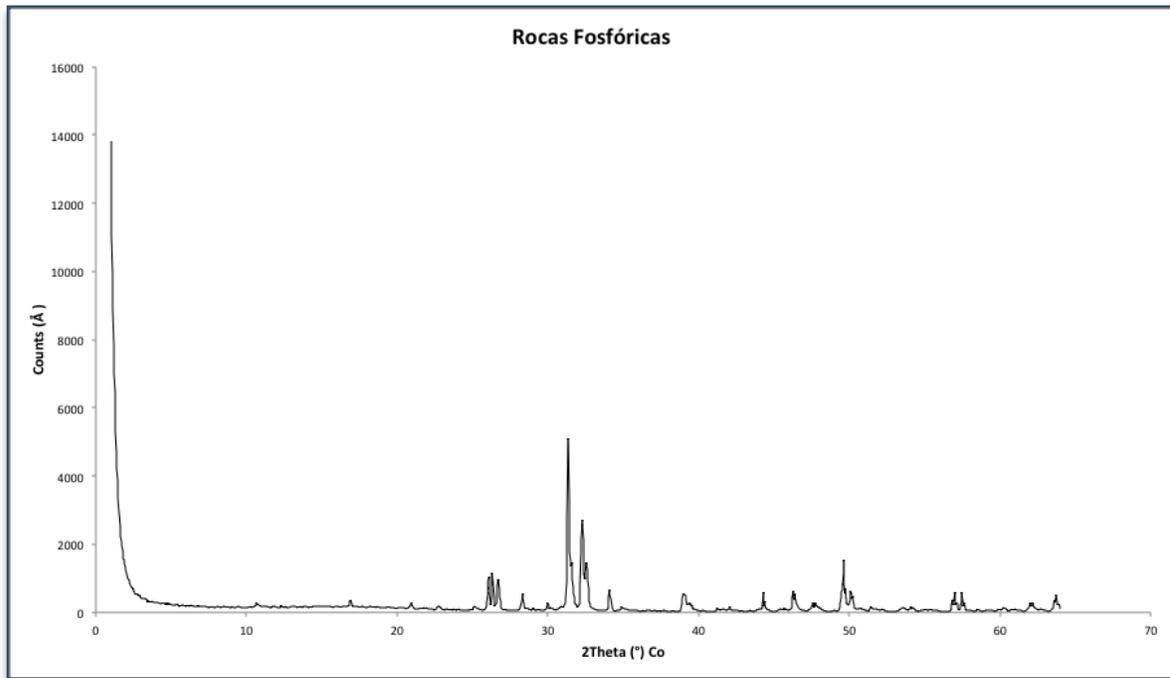


Figura 28. Difractograma de la muestra de rocas fosfóricas.

### e) Caliza magnesiana

La caliza magnesiana es una caliza con magnesio también llamada dolomita ( $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ ).

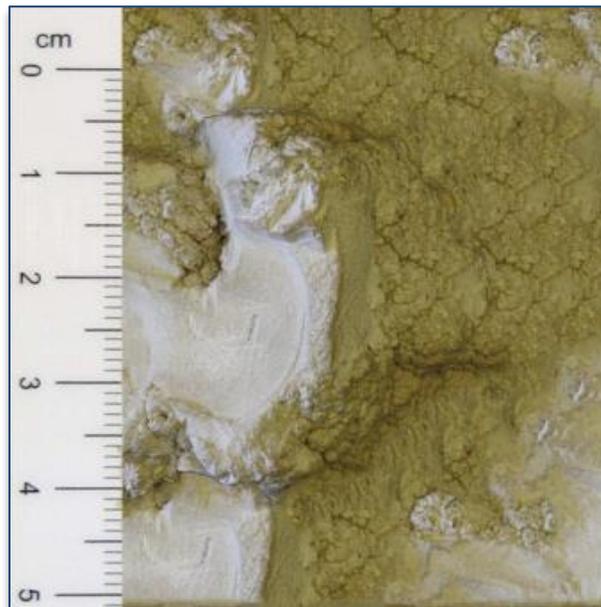


Figura 29. Foto de la muestra de caliza magnesiana

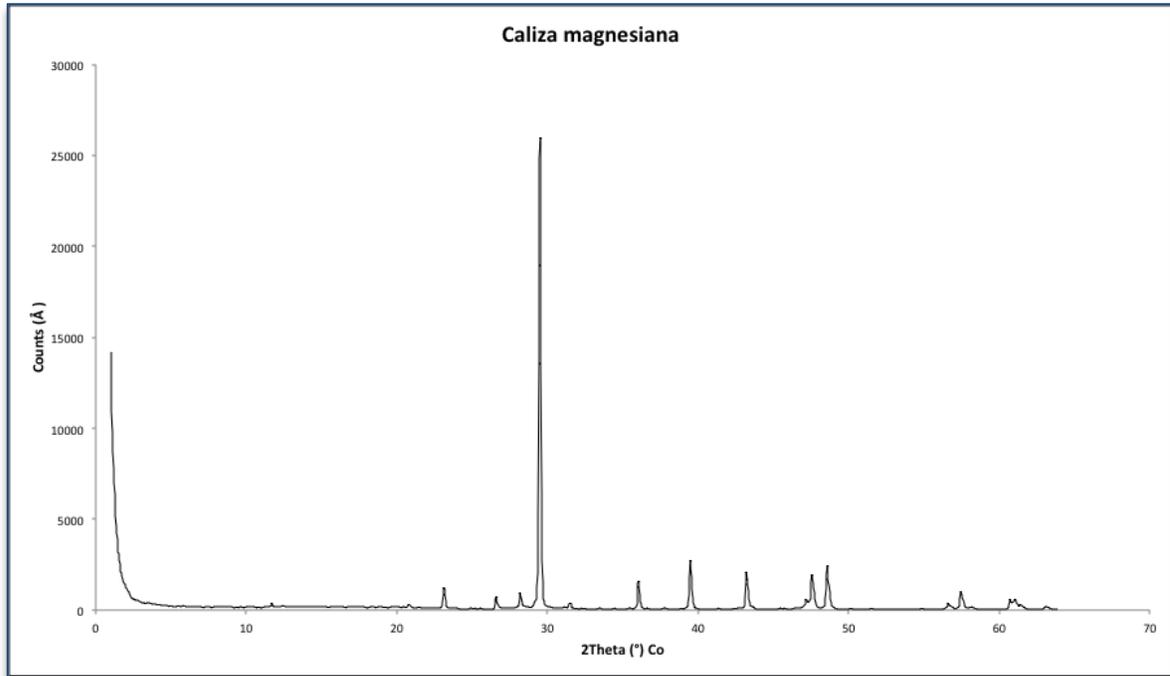


Figura 30. Difractograma de la muestra de piedra caliza magnesiana.

## 5.1.2 Análisis de la composición elemental (Microsonda electrónica CAMECA SX-FIVE)

### a) Caliza 80%

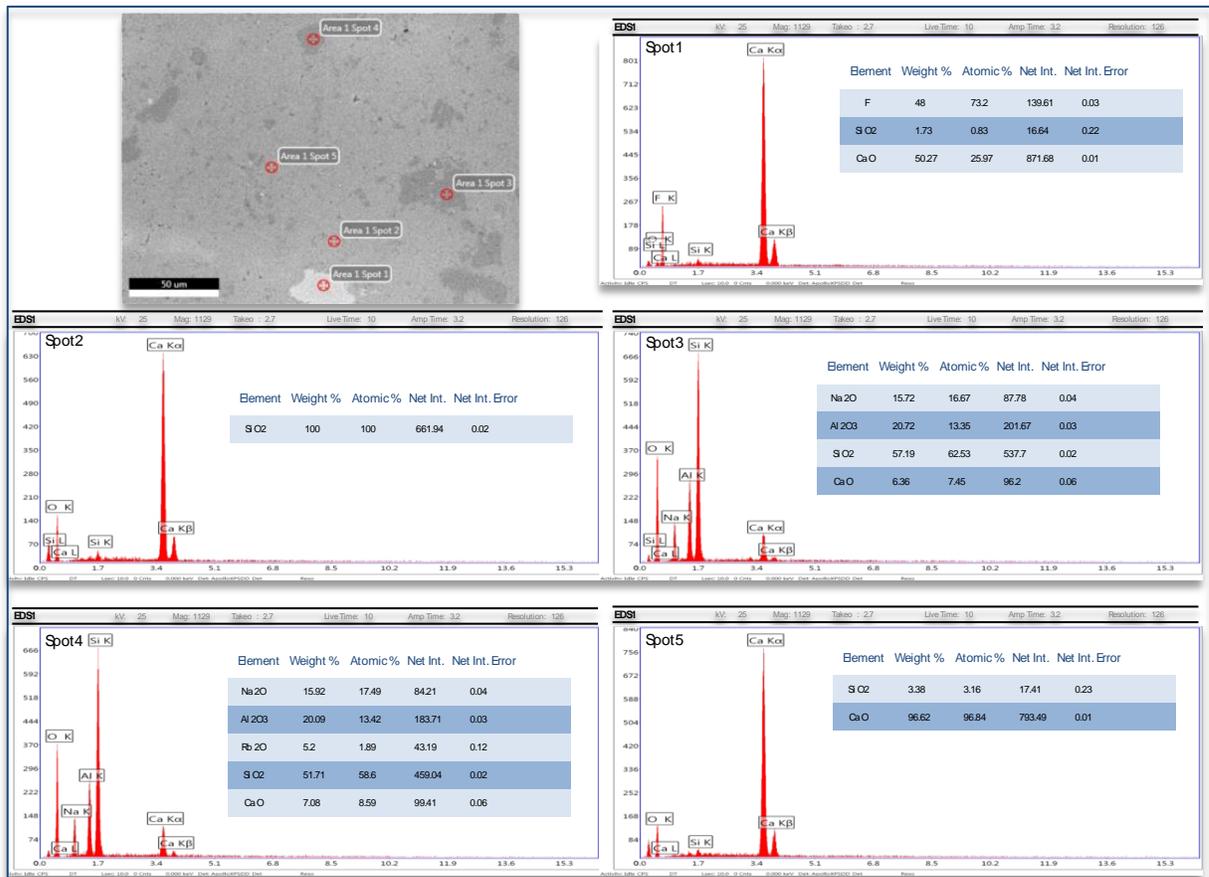


Figura 31. Resultados de la análisis de la piedra caliza 80% CaCO<sub>3</sub> por microsonda CAMECA SX-FIVE.

## b) Caliza magnesiana

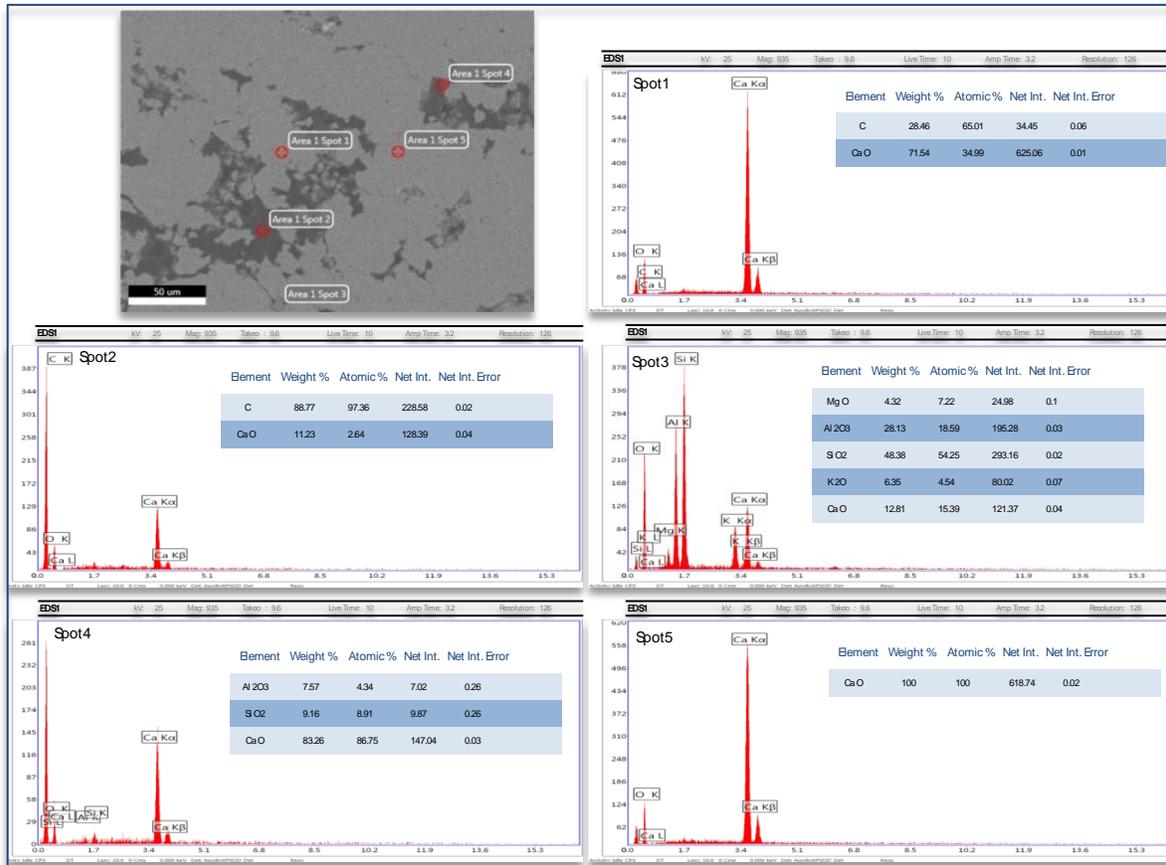


Figura 32. Resultados de la análisis de la piedra caliza magnesiana por microsonda CAMECA SX-FIVE.

### c) Rocas fosfóricas

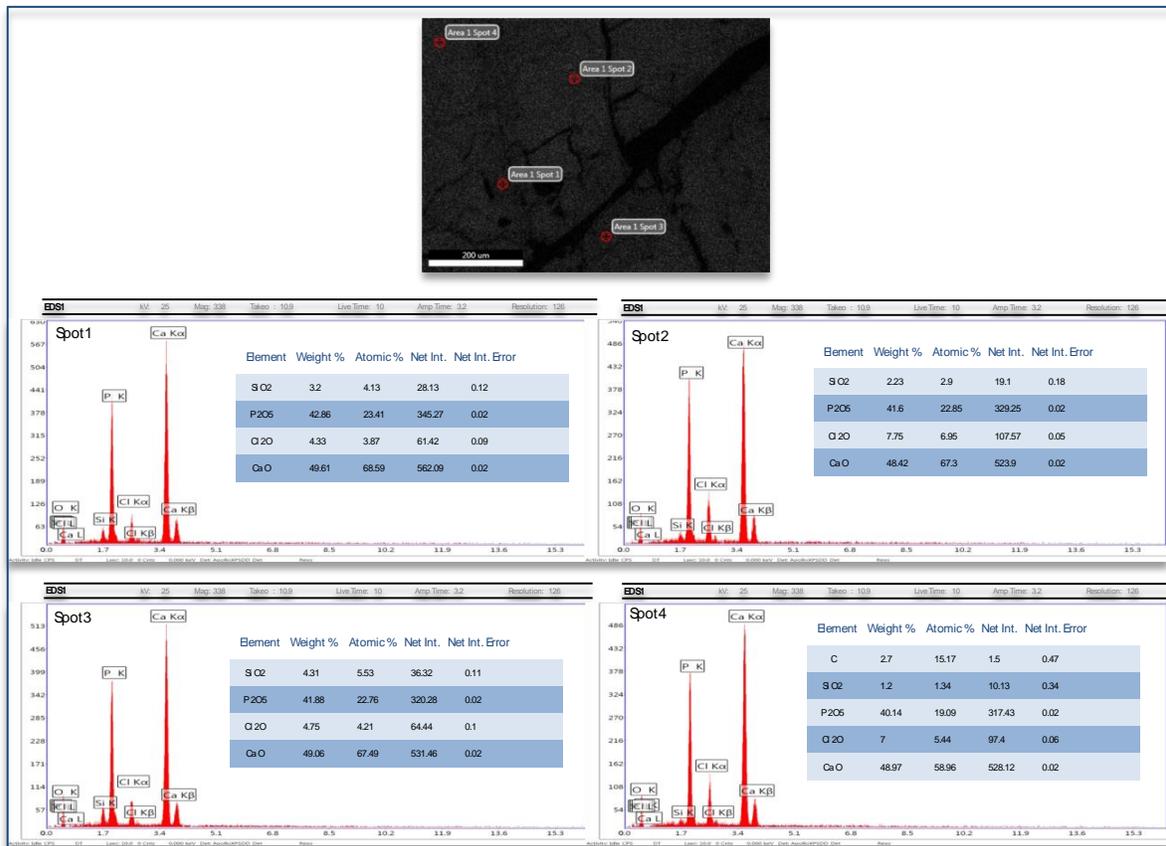


Figura 33. Resultados de la análisis de la roca fosfórica por microsonda CAMECA SX-FIVE.

### d) Liparita

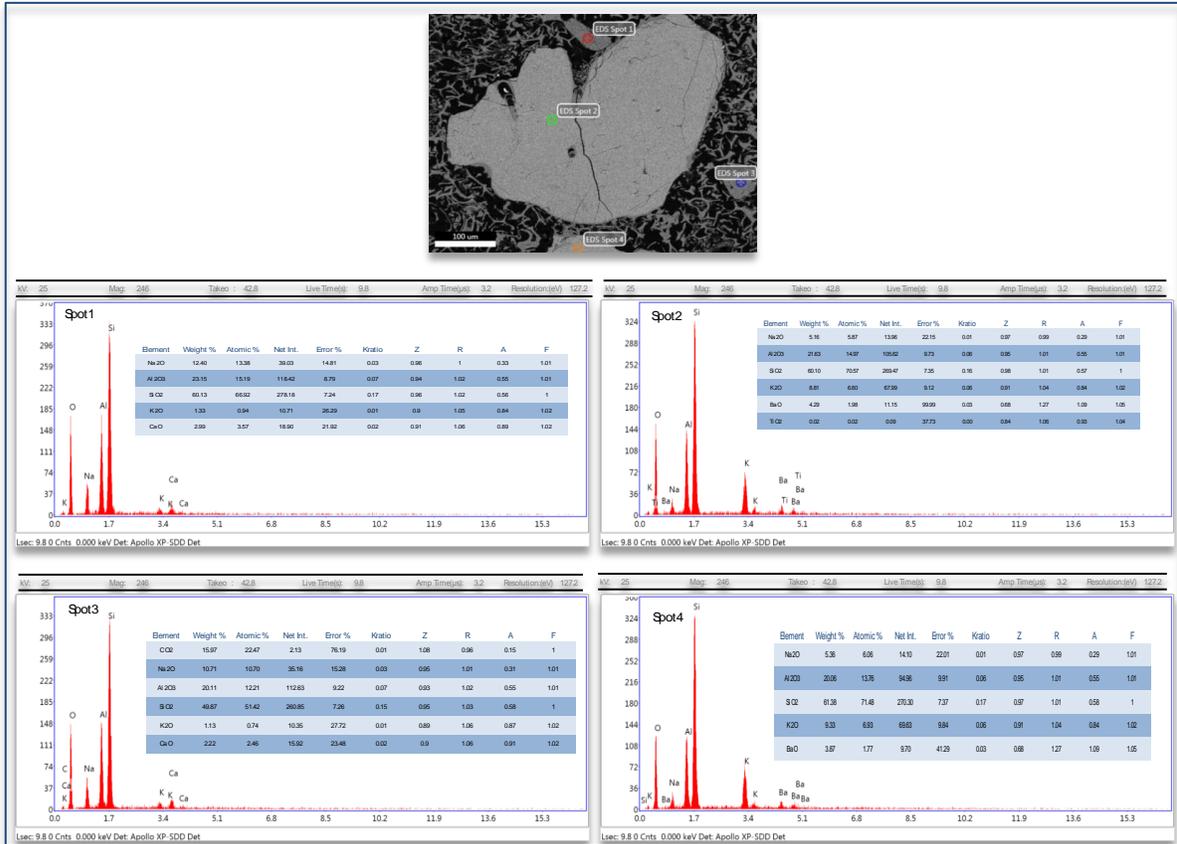


Figura 34. Resultados de la análisis de la liparita por microsonda CAMECA SX-FIVE.

### 5.2 Caracterización química de los minerales no metálicos

En las **Tabla 1** y **Tabla 2** se pueden apreciar los resultados de los análisis químicos después de las etapas de los ensayos en BATCH, filtración y espectrofotometría UV de los minerales no metálicos seleccionados.

Tabla 1. Resultados de los ensayos químicos (parte a).

/	Muestra No. / Nbr	Líquido / Sólido	Tiempo (h)	Conc. Inicial (mol/L)	Abs (820,0)	Conc. Final (mol/L)	Conc <sub>i</sub> -Conc <sub>f</sub>	% d'adsorción	Promedio parcial	
<b>CAOLÍN</b>	1 K1 0.3 M 3	20 mL / 0,2 g	3	0,3	4 063	0,307	-0,007	-2,33%		
	2 K2 0.3 M 3			0,3	4 105	0,31	-0,01	-3,33%		
	3 K3 0.3 M 3			0,3	4,065	0,307	-0,007	-2,33%		
	4 K4 0.03 M 3			0,03	0,423	0,027	0,003	10,00%		
	5 K5 0.03 M 3			0,03	0,426	0,027	0,003	10,00%		
	6 K6 0.03 M 3			0,03	0,424	0,027	0,003	10,00%		
	<i>muestras coregidas</i>									
	1 K4 0.03 M 3			0,03	0,425	0,027	0,003	10,00%	7,78%	
	2 K5 0.03 M 3			0,03	0,429	0,028	0,002	6,67%		
	3 K6 0.03 M 3			0,03	0,429	0,028	0,002	6,67%		
	1 K1 0.3 M 6	20 mL / 0,2 g	6	0,3	4,151	0,314	-0,014	-4,67%	10,00%	
	2 K2 0.3 M 6			0,3	4,079	0,308	-0,008	-2,67%		
	3 K3 0.3 M 6			0,3	4,085	0,308	-0,008	-2,67%		
	4 K4 0.03 M 6			0,03	0,42	0,027	0,003	10,00%		
	5 K5 0.03 M 6			0,03	0,423	0,027	0,003	10,00%		
	6 K6 0.03 M 6			0,03	0,422	0,027	0,003	10,00%		
	1 K1 0.3 M 12	20 mL / 0,2 g	12	0,3	4,079	0,308	-0,008	-2,67%	8,89%	
	2 K2 0.3 M 12			0,3	4,103	0,31	-0,01	-3,33%		
	3 K3 0.3 M 12			0,3	4,088	0,309	-0,009	-3,00%		
	4 K4 0.03 M 12			0,03	0,426	0,027	0,003	10,00%		
	5 K5 0.03 M 12			0,03	0,425	0,027	0,003	10,00%		
	6 K6 0.03 M 12			0,03	0,429	0,028	0,002	6,67%		
	1 K1 0.3 M 24	20 mL / 0,2 g	24	0,3	4,171	0,315	-0,015	-5,00%	5,56%	
	2 K2 0.3 M 24			0,3	4,183	0,316	-0,016	-5,33%		
3 K3 0.3 M 24	0,3			4,216	0,318	-0,018	-6,00%			
4 K4 0.03 M 24	0,03			0,425	0,027	0,003	10,00%			
5 K5 0.3 M 24	0,03			0,465	0,03	0	0,00%			
6 K6 0.3 M 24	0,03			0,429	0,028	0,002	6,67%			
1 K1 0.3 M 24	20 mL / 2 g	24	0,3	4,015	0,303	-0,003	-1,00%	13,33%		
2 K2 0.3 M 24			0,3	4,215	0,318	-0,018	-6,00%			
3 K3 0.3 M 24			0,3	4,102	0,31	-0,01	-3,33%			
4 K4 0.03 M 24			0,03	0,402	0,026	0,004	13,33%			
5 K5 0.03 M 24			0,03	0,41	0,026	0,004	13,33%			
6 K6 0.03 M 24			0,03	0,403	0,026	0,004	13,33%			
<b>DIATOMITA 10%</b>	D1	10%	24	0,3	4,044	0,311	-0,011	-4%	2%	
	D2			0,3	4,047	0,311	-0,011	-4%		
	D3			0,3	4,026	0,309	-0,009	-3%		
	D4			0,03	0,425	0,029	0,001	3%		
	D5			0,03	0,428	0,03	0	0%		
	D6			0,03	0,425	0,029	0,001	3%		
<b>DIATOMITA 20%</b>	D1	20%	24	0,3	4,013	0,308	-0,008	-3%	7%	
	D2			0,3	4,035	0,31	-0,01	-3%		
	D3			0,3	4,035	0,31	-0,01	-3%		
	D4			0,03	0,406	0,028	0,002	7%		
	D5			0,03	0,405	0,028	0,002	7%		
	D6			0,03	0,409	0,028	0,002	7%		

Tabla 2. Resultados de los ensayos químicos (parte b).

/	Muestra No. / Nbr	Líquido / Sólido	Tiempo (h)	Conc. Inicial (mol/L)	Abs (820,0)	Conc. Final (mol/L)	Conc <sub>i</sub> -Conc <sub>f</sub>	% d'adsorción	Promedio parcial
<b>DIATOMITA TRATADA 10%</b>	DT1	10%	24	0,3	4,091	0,314	-0,014	-5%	-6%
	DT2			0,3	4,126	0,317	-0,017	-6%	
	DT3			0,3	4,421	0,34	-0,04	-13%	
	DT4			0,03	0,448	0,031	-0,001	-3%	
	DT5			0,03	0,456	0,032	-0,002	-7%	
	DT6			0,03	0,454	0,032	-0,002	-7%	
<b>CaCO<sub>3</sub> 60 10%</b>		10%	24	0,3	0,071	0,002	0,298	99%	78%
				0,3	2,349	0,179	0,121	40%	
				0,3	0,231	0,014	0,286	95%	
				0,03	0,072	0,002	0,028	93%	
				0,03	0,083	0,003	0,027	90%	
				0,03	0,072	0,002	0,028	93%	
<b>CaCO<sub>3</sub> 80 10%</b>		10%	24	0,3	0,179	0,01	0,29	97%	83%
				0,3	0,079	0,002	0,298	99%	
				0,3	1,805	0,137	0,163	54%	
				0,03	0,073	0,002	0,028	93%	
				0,03	0,4	0,027	0,003	10%	
				0,03	0,074	0,002	0,028	93%	
<b>ROCAS FOSFÓRICAS</b>	1 RPH	10 mL / 1 g	24	0,3	4,119	0,273	0,027	2,7%	2,73%
	2 RPH			0,3	4,131	0,273	0,027	2,7%	
	3 RPH			0,3	4,116	0,272	0,028	2,8%	
	4 RPH			0,03	0,409	0,024	0,006	0,6%	
	5 RPH			0,03	0,407	0,024	0,006	0,6%	
	6 RPH			0,03	0,408	0,024	0,006	0,6%	
<b>CARBONATO DE CALCIO MAGNESIO</b>	1 CCM	10 mL / 1 g	24	0,3	0,075	0,002	0,298	29,8%	29,80%
	2 CCM			0,3	0,075	0,002	0,298	29,8%	
	3 CCM			0,3	0,075	0,002	0,298	29,8%	
	4 CCM			0,03	0,075	0,002	0,028	2,8%	
	5 CCM			0,03	0,071	0,001	0,029	2,9%	
	6 CCM			0,03	0,074	0,002	0,028	2,8%	
<b>LIPARITA</b>		20 mL / 0,2 g	3	0,03		0,168		8,9%	8,18%
			6	0,03		0,168		8,7%	
			12	0,03		0,167		8,7%	
			24	0,03		0,173		6,4%	
			20 mL / 2 g	24	0,03		0,175		

- Caolín: presenta capacidad media de retención de alrededor de un 9 %.
- Fosforita: presenta capacidad media de retención de alrededor de un 21 %.
- Arcilla de síntesis (testigo): capacidad alta de retención de 83 %.
- Calcita 60 %: presenta capacidad media de retención (adsorción) de alrededor de un 85 %.
- Calcita 80 %: presenta capacidad media de retención (adsorción) de alrededor de un 74 %.

Los valores bajos de retención de la liparita se explican por la condición mineralógica de la muestra. La liparita es un vidrio volcánico, sin estructura cristalográfica, por lo que el proceso de adsorción se dificulta. Sin embargo, los resultados son buenos considerando que se esperaba una adsorción muchísimo más baja. Se hace indispensable probar nuevos contaminantes orgánicos e inorgánicos en contacto con este material, de manera de poder conocer de manera más amplia, sus propiedades de adsorción.

Se le recuerda al lector que los ensayos fueron realizados en batch (tubos de ensayos de 30 mL), de teflón, en una proporción sólido – líquido del 10 % (2 g de liparita con 20 mL de  $\text{CuSO}_4$ ), en dos concentraciones:  $0,3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  y  $0,03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Cada ensayo fue realizado en tres repeticiones y para 4 tiempos de contacto: 3, 6, 12 y 24 horas respectivamente.

Los yacimientos de liparita corresponden a los depósitos de ignimbritas que afloran en la zona precordillerana y cordillerana, al noreste de Copiapó, y que han sido denominados ignimbritas San Andrés, por Iriarte et al. (1996). Estos depósitos pumíceos, escasamente litificados, han sido utilizados hasta hace unos 6 años atrás, para producir piedras de lavado de jeans (stone-wash). Así mismo, ha habido proyectos privados y universitarios, orientados a la utilización de estos materiales como agregado liviano de construcción. El proyecto de la Universidad de Atacama culminó con la construcción de una casa en el recinto universitario, en Copiapó. Sin embargo, no existe información alguna de producción de este recurso en la región, por lo que aparece como una alternativa interesante a explorar.

## 6. CONCLUSIÓN

En este estudio se analizaron 8 minerales no metálicos seleccionados de la región de Atacama con potencial uso como filtros y fertilizantes (informe de pre-factibilidad económica).

Respecto de los resultados asociados a la capacidad descontaminante, podemos señalar que:

- El caolín presentó capacidad media descontaminante de alrededor de un 9 %.
- La diatomita 10 y 20 % presentaron capacidades filtrantes de 2 y 7 % respectivamente
- La fosforita presentó capacidad media descontaminante de alrededor de un 21 %.
- La arcilla de síntesis (testigo) tuvo una capacidad alta de filtrado de 83 %.
- La calcita 60 % presentó una capacidad media de filtrado (adsorción) de alrededor de un 85 %.
- La calcita 80 % presentó una capacidad media descontaminante de alrededor de un 74 %.

Los valores asociados a los minerales carbonatados presentaron excelentes resultados. Sin embargo, no corresponde a un proceso de filtrado propiamente tal, sino a una transformación química del contaminante ( $\text{CuSO}_4$ ). Dicha transformación (precipitado), tiene el grave problema que la reacción química libera  $\text{CO}_2$  al ambiente en una proporción de 1: 0,54 (1 g de sulfato libera 0,54 g de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera)

Los valores bajos de retención de la liparita se explican por la condición mineralógica de la muestra. La liparita es un vidrio volcánico, sin estructura cristalográfica, por lo que el proceso de adsorción se dificulta. Sin embargo, los resultados son buenos considerando que se esperaba una adsorción muchísimo más baja.

Se hace indispensable probar nuevos contaminantes orgánicos e inorgánicos en contacto con este material, de manera de poder conocer de manera más amplia, sus propiedades de filtrado.

El uso de minerales no metálicos con el propósito de filtrar contaminantes aparece como una excelente alternativa de uso tecnológico, de un recurso que muy abundante, pero con un aporte muy marginal a la economía regional.

Se pudo conocer de manera precisa la composición mineralógica de cada uno de los minerales seleccionados. Esto facilita y baja el costo de futuros estudios que puedan involucrar a dichos minerales en eventuales nuevos usos tecnológicos.

## 7. PRESUPUESTO

### 7.1 Ejecución presupuestaria

Respecto de la ejecución presupuestaria, al final del plazo consignado para la realización del proyecto acordada por el Gobierno Regional de Atacama como el 31 de mayo del 2015, los fondos no pudieron ser gastados en totalidad.

En las *Tabla 3* a *Tabla 6* se puede apreciar los gastos por meses y el porcentaje final de egresos realizados al final de la ejecución del proyecto.

- Del ítem “Gastos de inversión, implementación y equipamiento”, se gastó 99,89 % del presupuesto inicial. El 0,11 % correspondiendo a diferencia entre los precios presupuestados y lo realmente gastado.
- Del ítem “Gastos de operación”, el sub-ítem “Invitación experto francés (viáticos)” no fue gastado debido al hecho que el experto francés no pudo venir para la actividad de difusión que fue propuesta hasta una fecha todavía no conocida a la hora de redacción de ese informe. Tampoco, el dinero acordado al sub-ítem “Análisis laboratorio Agrolab (Chile)” fue ocupado porque el equipo de trabajo no tuvo la necesidad de hacer estos análisis debido a la cantidad y calidad de los resultados entregados por el laboratorio ISTO (CNRS Francia). En el sub-ítem “Arriendo 4x4 terreno y bencina” quedó 70,69 % del dinero afectado debido a una sobre-estimación de los precios durante la fase de elaboración del proyecto por una parte y por otra parte, menos días de terreno realizados. El dinero afectado a los sub-ítems “Gastos para estudio de factibilidad económica” y “Bases de datos geológicos cartográficos” fueron reasignados a través de la carta de reasignación de fondos marzo 2015 (*Anexo 5: Carta reasignación de fondos marzo 2015*) y la carta de reasignación de fondos mayo 2014 (*Anexo 1: Carta reasignación de fondos mayo 2014*). Los porcentajes de los otros sub-ítems son causados por las diferencias de precios entre el dinero presupuestado y realmente gastado en realizar las actividades. Por lo tanto se gastó un 83,32 % del dinero afectado a ese ítem.
- Del ítem “Gastos de honorarios” se gastó el 99,73 % del dinero. El 0,27 % o sea \$70.000 son debido a gastos de honorarios, inferior a lo previsto en el sub-ítem “Asistente mapeo digital”.

- Del ítem “Gastos de difusión”, las fuertísimas lluvias de los días martes y miércoles 24 y 25 de marzo en la región de Atacama causaron un desastre y paralizó el GORE Atacama. La organización de la difusión debió dejarse en stand-by, hasta las nuevas órdenes por parte del GORE. Sin embargo, ya se habían realizado algunos gastos del ítem difusión, como el pago del servicio que se había contratado y también el pasaje y el traslado a Copiapó del jefe de proyecto, el Dr. Gerardo Soto, para la presentación final de los resultados. Todo lo que correspondía a reservas de pasajes aéreos y hoteles pudo ser pospuesto. Por lo tanto solamente 60,89 % del total presupuestado para esta actividad fue utilizado.
- Las tablas revelan que al final de la ejecución del proyecto, el equipo de trabajo tuvo un egreso total de \$ 52.578.897 por un ingreso total de \$ 58.379.474 de parte del GORE Atacama o sea un 90,06 % de gastos.

Tabla 3. Rendición de gastos y porcentaje total de egresos del proyecto FIC código BIP.012 (parte a).

Ítemes	Presupuesto Aportes FIC				Reitermisación			Rendición Ingresos/egresos 2013			
	Costo unitario	Cdad	subtotal	nuevo subtotal	Monto	Fecha carta	mes 1	mes 2	mes 1	mes 2	Nov
<b>Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento</b>											
Computador + plotter	2 600 000,00	1	2 600 000,00	2 600 000,00	245 621,00	05/07/14	-	-	-	-	-
Software	2 000 000,00	1	2 000 000,00	4 600 000,00	304 379,00	05/07/14 y 01/02/15	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>			<b>4 600 000,00</b>		<b>5 150 000,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Gastos de Operación</b>											
Gastos de administración	2 918 974,00	1	2 918 974,00	2 918 974,00	0,00		-	-	-	-	-
Análisis Laboratorio ISTO (CNRS-Francia)	5 035 500,00	1	5 035 500,00	7 954 474,00	0,00		-	-	-	-	-
Invitación experto francés (viatico)	130 000,00	5	650 000,00	8 604 474,00	1 200 000,00	18/03/15	-	-	-	-	-
Análisis Laboratorio Agrolab (Chile)	1 010 000,00	1	1 010 000,00	9 614 474,00	-550 000,00	01/02/15	-	-	-	-	-
Trabajo de análisis e investigación (Francia)	2 000 000,00	4	8 000 000,00	11 614 474,00	-1 600 000,00	01/02/15	-	-	-	-	-
Inauguración del proyecto	282 000,00	2	564 000,00	12 178 474,00	78 032,00	05/07/14	-	-	-	-	-
Campañas de terreno	282 000,00	8	2 256 000,00	14 434 474,00	0,00		-	-	-	-	-
Gastos de oficina	510 000,00	1	510 000,00	14 944 474,00	0,00		-	-	-	-	-
Equipamiento de terreno	350 000,00	1	350 000,00	15 294 474,00	73 945,00	05/07/14	-	-	-	-	-
Arriendo 4x4 terreno y bencina	320 000,00	4	1 280 000,00	16 574 474,00	-151 977,00		-	-	-	-	-
Gastos de informe	500 000,00	1	500 000,00	17 074 474,00	-150 000,00	18/03/15	-	-	-	-	-
Gastos para Estudio de factibilidad económica	325 000,00	1	325 000,00	17 400 000,00	-350 000,00	18/03/15	-	-	-	-	-
Bases de datos geológica cartográficas	180 000,00	4	720 000,00	18 120 000,00	-720 000,00	01/05/14	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>			<b>24 119 474,00</b>		<b>21 949 474,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Gastos de Honorarios</b>											
Gerardo Soto (responsable proyecto, Ph.D) (Aporte FIC)	600 000,00	15	9 000 000,00	9 000 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Audrey Gallaud (Geóloga Geosolum, Ph.D) (Aporte FIC)	600 000,00	15	9 000 000,00	18 000 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Benjamin Villena (Economista Ph.D) (Aporte FIC)	1 200 000,00	3	3 600 000,00	21 600 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Asistente mapeo digital	250 000,00	1	250 000,00	21 850 000,00	720 000,00	01/05/14	-	-	-	-	-
Secretaria 1	30 000,00	15	450 000,00	22 300 000,00	-30 000,00	01/02/15	-	-	-	-	-
Secretaria 2	30 000,00	15	450 000,00	22 750 000,00	30 000,00	01/02/15	-	-	-	-	-
Secretaria Principal (Aporte FIC)	70 000,00	15	1 050 000,00	23 800 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Estafeta	20 000,00	15	300 000,00	24 100 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Asistente	110 000,00	9	990 000,00	25 090 000,00	-110 000,00	05/07/14 y 01/02/15	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>			<b>25 090 000,00</b>		<b>25 700 000,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>Gastos de Difusión</b>											
Difusión en Región de Atacama (pasajes *3 personas)	60 000,00	3	180 000,00	180 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Difusión en Región de Atacama (Viáticos *3 días)	240 000,00	3	720 000,00	900 000,00	2 210 000,00	01/02/15 y 18/03/15	-	-	-	-	-
Ary Bruand (experto francés, Ph.D, CNRS)	1 000 000,00	1	1 000 000,00	2 900 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Arriendo 4x4 terreno y combustible	320 000,00	1	320 000,00	3 220 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Gastos para talleres	500 000,00	2	1 000 000,00	4 220 000,00	0,00		-	-	-	-	-
Gastos para seminario	1 350 000,00	1	1 350 000,00	5 570 000,00	-1 200 000,00	18/03/15	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>			<b>4 570 000,00</b>		<b>5 580 000,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Total Ingresos											
Total Egresos											
<b>TOTAL</b>			<b>58 379 474,00</b>		<b>58 379 474,00</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Tabla 4. Rendición de gastos y porcentaje total de egresos del proyecto FIC código BIP.012 (parte b).

Ítemes	Rendición ingresos/egresos										
	2014										
	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11		
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago		
<b>Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento</b>											
Computador + plotter	-	2 845 621,00	-	-	-	-	-	-	-	-	268 820,00
Software	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268 820,00
<b>Subtotal</b>	<b>0,00</b>	<b>2 845 621,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>268 820,00</b>
<b>Gastos de Operación</b>											
Gastos de administración	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Análisis Laboratorio ISTO (CNRS-Francia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Invitación experto francés ( viatico)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Análisis Laboratorio Agrolab (Chile)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trabajo de análisis e investigación (Francia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inauguración del proyecto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campañas de terreno	-	-	-	87 390,00	-	282 100,00	-	336 132,00	-	2 663 410,00	835 922,00
Gastos de oficina	101 370,00	19 505,00	-	-	238 588,00	-	-	-	-	45 984,00	-
Equipamiento de terreno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arriendo 4x4 terreno y bencina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos de informe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos para Estudio de factibilidad económica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bases de datos geológica cartograficas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>101 370,00</b>	<b>19 505,00</b>	<b>0,00</b>	<b>87 390,00</b>	<b>238 588,00</b>	<b>282 100,00</b>	<b>336 132,00</b>	<b>2 733 194,00</b>	<b>835 922,00</b>		
<b>Gastos de Honorarios</b>											
Gerardo Soto (responsable proyecto, Ph.D) (Aporte FIC)	1 200 000,00	1 200 000,00	-	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00	600 000,00
Audrey Gallaud (Geóloga Geosolum, Ph.D) (Aporte FIC)	1 200 000,00	600 000,00	-	1 200 000,00	601 500,00	598 000,00	600 500,00	599 000,00	599 000,00	599 500,00	599 500,00
Benjamin Villena (Economista Ph.D) (Aporte FIC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asistente mapeo digital	-	-	-	-	-	-	900 000,00	-	-	-	-
Secretaria 1	60 000,00	60 000,00	-	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00
Secretaria 2	60 000,00	60 000,00	-	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00	30 000,00
Secretaria Principal (Aporte FIC)	140 000,00	70 000,00	-	140 000,00	71 500,00	68 000,00	70 500,00	70 000,00	70 000,00	69 000,00	69 000,00
Estafeta	40 000,00	40 000,00	-	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00
Asistente	-	-	-	-	-	-	219 500,00	109 000,00	108 500,00	108 500,00	108 500,00
<b>Subtotal</b>	<b>2 700 000,00</b>	<b>2 030 000,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2 020 000,00</b>	<b>1 353 000,00</b>	<b>1 346 000,00</b>	<b>2 470 500,00</b>	<b>1 458 000,00</b>	<b>1 457 000,00</b>		
<b>Gastos de Difusión</b>											
Difusión en Región de Atacama (pasajes *3 personas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Difusión en Región de Atacama (viáticos *3 días)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ary Bruand (experto francés, Ph.D, CNRS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arriendo 4x4 terreno y combustible	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos para talleres	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos para seminario	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Total Ingresos	-	14 595 000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Egresos	2 801 370,00	4 895 126,00	0,00	2 107 390,00	1 591 588,00	1 628 100,00	2 806 632,00	4 191 194,00	2 561 742,00		
<b>TOTAL</b>	<b>11 793 498,00</b>	<b>21 493 372,00</b>	<b>21 493 372,00</b>	<b>19 385 982,00</b>	<b>17 794 394,00</b>	<b>16 166 294,00</b>	<b>13 359 662,00</b>	<b>9 168 468,00</b>	<b>6 606 726,00</b>		



Tabla 6. Rendición de gastos y porcentaje total de egresos del proyecto FIC código BIP.012 (parte d)

Ítemes	Rendición i/g	Total gastos	Saldo final	% gastos
	mes 20			
	May			
<b>Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento</b>				
Computador + plotter	-	2 845 621,00	0,00	100,00%
Software	2 030 000,00	2 298 820,00	5 559,00	99,76%
<b>Subtotal</b>	<b>2 030 000,00</b>	<b>5 144 441,00</b>	<b>5 559,00</b>	<b>99,89%</b>
<b>Gastos de Operación</b>				
Gastos de administración	-	2 918 974,00	0,00	100,00%
Análisis Laboratorio ISTO (CNRS-Francia)	171 610,00	5 032 929,00	2 571,00	99,95%
Invitación experto francés ( viatico)	-	0,00	1 850 000,00	0,00%
Análisis Laboratorio Agrolab (Chile)	-	0,00	460 000,00	0,00%
Trabajo de análisis e investigación (Francia)	-	6 224 427,00	175 573,00	97,26%
Inauguración del proyecto	-	642 032,00	0,00	100,00%
Campañas de terreno	-	2 187 774,00	68 226,00	96,98%
Gastos de oficina	-	508 559,00	1 441,00	99,72%
Equipamiento de terreno	-	423 945,00	0,00	100,00%
Arriendo 4x4 terreno y bencina	-	330 603,00	797 420,00	29,31%
Gastos de informe	13 560,00	205 016,00	144 984,00	58,58%
Gastos para Estudio de factibilidad económica	-	0,00	-25 000,00	0,00%
Bases de datos geológica cartográficas	-	0,00	0,00	0,00%
<b>Subtotal</b>	<b>185 170,00</b>	<b>18 474 259,00</b>	<b>3 475 215,00</b>	<b>84,17%</b>
<b>Gastos de Honorarios</b>				
Gerardo Soto (responsable proyecto, Ph.D) (Aporte FIC)	-	9 000 000,00	0,00	100,00%
Audrey Gallaud (Geóloga Geosolum, Ph.D) (Aporte FIC)	-	9 000 000,00	0,00	100,00%
Benjamín Villena (Economista Ph.D) (Aporte FIC)	-	3 600 000,00	0,00	100,00%
Asistente mapeo digital	-	900 000,00	70 000,00	92,78%
Secretaria 1	-	420 000,00	0,00	100,00%
Secretaria 2	-	480 000,00	0,00	100,00%
Secretaria Principal (Aporte FIC)	-	1 050 000,00	0,00	100,00%
Estafeta	-	300 000,00	0,00	100,00%
Asistente	-	880 000,00	0,00	100,00%
<b>Subtotal</b>	<b>0,00</b>	<b>25 630 000,00</b>	<b>70 000,00</b>	<b>99,73%</b>
<b>Gastos de Difusión</b>				
Difusión en Región de Atacama (pasajes *3 personas)	160 129,00	160 129,00	19 871,00	88,96%
Difusión en Región de Atacama (viáticos *3 días)	2 400 000,00	2 400 000,00	530 000,00	81,91%
Ary Bruand (experto francés, Ph.D, CNRS)	-	0,00	1 000 000,00	0,00%
Arriendo 4x4 terreno y combustible	-	0,00	320 000,00	0,00%
Gastos para talleres	758 328,00	758 328,00	241 672,00	75,83%
Gastos para seminario	-	11 740,00	138 260,00	7,83%
<b>Subtotal</b>	<b>3 318 457,00</b>	<b>3 330 197,00</b>	<b>2 249 803,00</b>	<b>59,68%</b>
Total Ingresos	-	58 379 474,00		100,00%
Total Egresos	5 533 627,00	52 578 897,00	52 578 897,00	90,06%
<b>TOTAL</b>	<b>5 800 577,00</b>	<b>52 578 897,00</b>	<b>5 800 577,00</b>	<b>90,06%</b>

## 7.2 Reasignación de fondos

Durante la ejecución del proyecto, el equipo de trabajo decidió hacer varias reasignación de fondos en el presupuesto inicial, cuales fueron sometidas al Gobierno de Atacama para aprobación. Los montos reasignados según el ítem o sub-ítem se pueden ver en la *Tabla 3*.

En el siguiente párrafo van explicadas esas reasignación según el calendario de ejecución del proyecto.

1. La primera reasignación (mes 6) apuntó a redirigir fondos del ítem “Gasto de Operación”, sub-ítem “Bases de Datos Geológica y Cartográfica” al ítem “Gastos de Honorarios”, sub-ítem “Asistente Mapeo Digital”, por un monto de \$720.000. Dicha reasignación se fundamentó en el hecho que solo se incurrió en Gastos de Honorarios, que fueron más onerosos de lo inicialmente presupuestado, y no en Gastos de Operación (*Anexo 1: Carta reasignación de fondos mayo 2014.*).
2. La segunda reasignación (mes 10) apuntó a tener los recursos necesarios para la contratación de un enlace administrativo al servicio del proyecto, por un periodo de 9 meses a contar del mes de mayo 2014. El monto total a reasignar fue de \$ 990.000 (costo mensual bruto de \$ 110.000). El ítem desde el cual se propuso extraer los recursos fue: “Análisis Laboratorio Agrolab (Chile)”. Se optó por trasladar recursos de dicho ítem, puesto que se había avanzado favorablemente en los análisis químicos y físicos comprometidos en el proyecto en los laboratorios franceses (*Anexo 2: Carta reasignación de fondos julio 2014.*).
3. La tercera reasignación (mes 10) apuntó a corregir tres saldos negativos de los tres sub-ítems siguientes (*Anexo 3: Carta reasignación de fondos sub-ítems julio 2014.* ).
  - Primero, una reasignación de fondos dentro del ítem “Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento”, del sub-ítem “Software” al sub-ítem “Computador y plotter” por un monto de \$ 245.621.
  - Segundo dentro del ítem Gastos de operación, una reasignación de fondos del sub-ítem “Arriendo 4x4 terreno y bencina” al sub-ítem “Inauguración del proyecto” por un monto de \$78.032.
  - Por último del ítem Gastos de operación, una reasignación de fondos del sub-ítem “Arriendo 4x4 terreno y bencina” al sub-ítem “Equipamiento de terreno” por un monto de \$73.945.
4. La cuarta reasignación apuntó a redirigir los honorarios del mes de enero 2015 de la secretaria 1, quien se acogió a retiro, a la secretaria 2 quien ha asumido el trabajo. El monto reasignado fue de \$30.000, en el ítem “Gastos de Honorarios” (*Anexo 4: Carta reasignación de fondos enero 2015.*)

Por otra parte, la asistente, por razones personales, no siguió trabajando en el proyecto, por lo que habíamos solicitado que estos fondos fuesen traspasados al ítem “Gastos de Difusión”. El monto fue de \$ 110.000, desde el ítem “Gastos de Honorarios”.

Por último, las sucesivas alzas en el precio del dólar habían alterado fuertemente los precios de los pasajes aéreos. Al respecto, se había hecho indispensable reasignar fondos para cubrir los pasajes y costos de alojamiento de los participantes en la difusión. Se propuso reasignar fondos provenientes del ítem “Trabajo de Análisis e Investigación (Francia)”. Los cálculos realizados, señalaban que la cifra a reasignar fuese de aproximadamente \$ 1.600.000.

Por último, se reasignó del ítem “Análisis de Laboratorio Chile” la suma de \$ 550.000 al ítem “Gastos de Inversión, Implementación y Equipamientos”. Dicha solicitud se había explicado puesto que la subida del dólar afectó fuertemente el precio del equipamiento al cual se tuvo acceso.

5. La quinta reasignación apuntó a traspasar \$ 1.200.000 del ítem “Gastos de Difusión” correspondiente al pasaje del experto francés, al ítem “Gastos de Operación”. Dicho traspaso se justificó en que el Dr. Ary Bruand, realizaba actividades de terreno junto al equipo ejecutor (*Anexo 5: Carta reasignación de fondos marzo 2015*).

Por otra parte, habíamos solicitado la reasignación de \$ 350.000 correspondiente al ítem “Gastos para Estudio de Factibilidad Económica”, al ítem “Gastos de Difusión”, puesto que dicho monto correspondía a la difusión del estudio final comprometido en el proyecto.

Por último, se solicitó reasignar \$ 150.000 correspondiente al ítem “Gastos de Operación/Gastos de Informe”, a “Gastos de Difusión”.

## 8. LITERATURA CITADA

- Botto, E., R. Cáceres, D. Pacci, J. Sayes, F. Díaz, M. Salinas, E. Valdebenito. 1979. Minería no tradicional. Evaluación preliminar de los recursos de baritina en Chile (Inédito). Instituto de Investigaciones Geológicas-Corporación de Fomento de la Producción.
- Brüggén, M. J. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar.
- Carrasco, O. y Gajardo, A. 2005. Las Rocas y Minerales Industriales de la III Región de Atacama: Geología, Distribución y Usos. Seminario en Copiapó. Artículo 2.6. Publicación del Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile. 1-5 p.
- ENAMI en la historia de la pequeña y mediana minería chilena. Ocholibros, Santiago, Chile. 174 p.
- ENAMI. 2011. Memoria y reporte de sustentabilidad. 77p.
- Gajardo, A. 2000. Rocas y minerales industriales de Chile SERNAGEOMIN, Santiago, Chile.181 p.
- García, F. 1967. Geología del norte grande de Chile. Depto. de Geología, U. de Chile.
- Gautier, M., F. Muller, L. Le Forestier, and J.M. Beny. 2010. Caractérisation physico-chimique et comportement hydromécanique d'une argile échangée avec l'ammonium dans le contexte des sites de stockage. Colloque Eau, Déchets et Développement Durable, Alexandrie, Egypte. ENAMI, 2009. Chile Minero.
- Gelcich, S., C. Espinoza, W. Vivallo. 1998. Yacimientos Metalíferos de las Hojas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Recursos Mineral Chile, 3, 17.
- Iriarte, S. 1996. Mapa geológico de la hoja Carrera Pinto, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. ENAMI. 2009.
- Lara, L. y Godoy, E. 1998. Hoja Quebrada Salitrosa, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Moscoso, R., C. Nasi, P. Salinas. 1982. Hoja Vallenar y parte norte de La Serena: regiones de Atacama y Coquimbo: carta geológica de Chile 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Naranjo, J. A. y Puig, Á. 1984. Hojas Taltal y Chañaral: regiones de Antofagasta y Atacama: carta geológica de Chile 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.

- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2011. Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile, Informe final. Santiago, Chile. 240 p.
- ODEPA, 2012. Angelina Espinoza. El mercado de los fertilizantes en Chile. 19 p.
- Rojo, L. Y Rivera, S. 1985. Phosphorus-uranium relationship in phosphorites from Mejillones and Bahía Inglesa-Chile.
- Segerstrom, K. y Parker, R. L. 1959. Cuadrángulo Cerrillos: Provincia de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), 2011. Anuario de la Minería de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile. 208 p.

## 9. ANEXOS

### Anexos que se adjuntan

- Anexo 1: Carta reasignación de fondos mayo 2014.
- Anexo 2: Carta reasignación de fondos julio 2014.
- Anexo 3: Carta reasignación de fondos sub-ítems julio 2014.
- Anexo 4: Carta reasignación de fondos enero 2015.
- Anexo 5: Carta reasignación de fondos marzo 2015.
- Anexo 6: Estudio de pre factibilidad económica del uso de los minerales de la región de Atacama. Elaborado por la empresa GEOSOLUM®



1 de mayo de 2014

REF.: Propuesta de reasignación de fondos

Sr.  
**Willians García Zagua**  
Jefe de División de Análisis y Control de Gestión  
Gobierno Regional de Atacama

**PRESENTE**

Me dirijo usted con el objeto de proponer una reasignación de fondos en el proyecto código BIP 012 titulado: ***“Capacidad Fertilizante y Descontaminante de los Minerales No Metálicos de Interés Comercial de la Región de Atacama: Una Nueva Alternativa Económica para la Pequeña Minería Local y la Agricultura Nacional”***, ejecutado por la Universidad de Chile con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno de la Región de Atacama, concurso 2013.

La reasignación apunta a reasignar fondos del ítem “Gasto de Operación”, sub-ítem “Bases de Datos Geológica y Cartográfica” al ítem “Gastos de Honorarios”, sub-ítem “Asistente Mapeo Digital”, por un monto de \$ 720.000.

Dicha reasignación se fundamenta en el hecho que solo se incurrió en Gastos de Honorarios, que fueron más onerosos de lo inicialmente presupuestado, y no en Gastos de Operación.

Esperando tener una favorable acogida, se despide muy atentamente,



**Gerardo SOTO MUNDACA**  
Director del proyecto  
Académico  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Chile

Anexo 1: Carta reasignación de fondos mayo 2014.



5 julio de 2014

REF.: Propuesta de reasignación de fondos

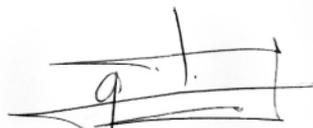
Sr.  
**Willians García Zagua**  
Jefe de División de Análisis y Control de Gestión  
Gobierno Regional de Atacama

**PRESENTE**

Me dirijo usted con el objeto de proponer una reasignación de fondos en el proyecto código BIP 012 titulado: "*Capacidad Fertilizante y Descontaminante de los Minerales No Metálicos de Interés Comercial de la Región de Atacama: Una Nueva Alternativa Económica para la Pequeña Minería Local y la Agricultura Nacional*", ejecutado por la Universidad de Chile con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno de la Región de Atacama, concurso 2013.

La reasignación apunta a tener los recursos necesarios para la contratación de un enlace administrativo al servicio del proyecto, por un periodo de 9 meses a contar del mes de mayo. El monto total a reasignar es de \$ 990.000 (costo mensual bruto de \$ 110.000). El ítem desde el cual se propone extraer los recursos es: "Análisis Laboratorio Agrolab (Chile)". Se optó por trasladar recursos de dicho ítem, puesto que se ha avanzado favorablemente en los análisis químicos y físicos comprometidos en el proyecto en los laboratorios franceses. Al respecto, este equipo ejecutor quiere dejar claro que los objetivos del proyecto en relación con la analítica no serán de ningún modo comprometidos con este cambio.

Esperando tener una favorable acogida, se despide muy atentamente,



**Gerardo SOTO MUNDACA**  
**Director del proyecto**  
**Académico**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Universidad de Chile**

Anexo 2: Carta reasignación de fondos julio 2014.



5 julio de 2014

REF.: Propuesta de reasignación de fondos

Sr.  
**Willians García Zagua**  
Jefe de División de Análisis y Control de Gestión  
Gobierno Regional de Atacama

**PRESENTE**

Me dirijo usted con el objeto de proponer una reasignación de fondos en el proyecto código BIP 012 titulado: *"Capacidad Fertilizante y Descontaminante de los Minerales No Metálicos de Interés Comercial de la Región de Atacama: Una Nueva Alternativa Económica para la Pequeña Minería Local y la Agricultura Nacional"*, ejecutado por la Universidad de Chile con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno de la Región de Atacama, concurso 2013.

La reasignación apunta a corregir tres saldos negativos de los tres subítemes siguientes:

Primero, avisamos una reasignación de fondos dentro del ítem "Gastos Inversión, Implementación y Equipamiento", del subítem "Software" al subítem "Computador y plotter" por un monto de \$245.621.

Segundo dentro del ítem Gastos de operación, avisamos hacer una reasignación de fondos del subítem "Arriendo 4x4 terreno y bencina" al subítem "Inauguración del proyecto" por un monto de \$78.032.

Por último del ítem Gastos de operación, avisamos hacer una reasignación de fondos del subítem "Arriendo 4x4 terreno y bencina" al subítem "Equipamiento de terreno" por un monto de \$73.945.

Esperando tener una favorable acogida, se despide muy atentamente,



**Gerardo SOTO MUNDACA**  
Director del proyecto  
Académico  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Chile

Anexo 3: Carta reasignación de fondos sub-ítems julio 2014.



1 de febrero de 2015

REF.: Propuesta de reasignación de fondos

Sr.

**Willians García Zagua**

Jefe de División de Análisis y Control de Gestión  
Gobierno Regional de Atacama

**PRESENTE**

Me dirijo usted con el objeto de proponer una reasignación de fondos en el proyecto código BIP 012 titulado: "*Capacidad Fertilizante y Descontaminante de los Minerales No Metálicos de Interés Comercial de la Región de Atacama: Una Nueva Alternativa Económica para la Pequeña Minería Local y la Agricultura Nacional*", ejecutado por la Universidad de Chile con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno de la Región de Atacama, concurso 2013.

La reasignación apunta a:

Reasignar los honorarios del mes de enero de la secretaria 1, quien se acogió a retiro, a la secretaria 2 quien ha asumido el trabajo. El monto a reasignar es de \$ 30.000, en el ítem Gastos de Honorarios. Por otra parte, la asistente, por razones personales, no seguirá trabajando en el proyecto, por lo que solicitará que estos fondo sean traspasados al ítem "Gastos de Difusión". El monto a reasignar es de \$ 110.000, desde el ítem Gastos de Honorarios.

Por último, las sucesivas alzas en el precio del dólar han alterado fuertemente los precios de los pasajes aéreos. Al respecto, se hace indispensable reasignar fondos para cubrir los pasajes y costos de alojamiento de los participantes en la difusión. Se propone reasignar fondos provenientes del ítem "Trabajo de Análisis e Investigación (Francia)". Los cálculos realizados, señalan que la cifra a reasignar será de aproximadamente \$1.600.000.

Por último, se propone reasignar del ítem "Análisis de Laboratorio Chile" la suma de \$ 550.000 al ítem "Gastos de Inversión, Implementación y Equipamientos". Dicha solicitud se explica puesto que la subida del dólar afectó fuertemente el precio del equipamiento al cual se tuvo acceso. Dicha reitemización en nada afecta los objetivos de este proyecto.

Esperando tener una favorable acogida, se despide muy atentamente,



**Gerardo SOTO MUNDACA**  
Director del proyecto  
Académico  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Universidad de Chile

Anexo 4: Carta reasignación de fondos enero 2015.



18 de marzo del 2015

REF.: Propuesta de reasignación de fondos

**Sr.**  
**Willians García Zagua**  
Jefe de División de Análisis y Control de Gestión  
Gobierno Regional de Atacama

**PRESENTE**

Me dirijo usted con el objeto de proponer una reasignación de fondos en el proyecto código BIP 012 titulado: *"Capacidad Fertilizante y Descontaminante de los Minerales No Metálicos de Interés Comercial de la Región de Atacama: Una Nueva Alternativa Económica para la Pequeña Minería Local y la Agricultura Nacional"*, ejecutado por la Universidad de Chile con recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad del Gobierno de la Región de Atacama, concurso 2013.

La reasignación apunta a traspasar \$ 1.200.000 del ítem "Gastos de Difusión" correspondiente al pasaje del experto francés, al ítem "Gastos de Operación". Dicho traspaso se justifica en que el Dr. Ary Bruand, realizará actividades de terreno junto al equipo ejecutor.

Por otra parte, solicitamos la reasignación de \$350.000 correspondiente al ítem "Gastos para Estudio de Factibilidad Económica", al ítem "Gastos de Difusión", puesto que dicho monto corresponde a la difusión del estudio final comprometido en el proyecto.

Por último, se solicita reasignar \$150.000 correspondiente al ítem "Gastos de Operación/Gastos de Informe", a "Gastos de Difusión".

Esperando tener una favorable acogida, se despide muy atentamente,



**Gerardo SOTO MUNDACA**  
**Director del proyecto**  
**Académico**  
**Facultad de Ciencias Agronómicas**  
**Universidad de Chile**

Anexo 5: Carta reasignación de fondos marzo 2015