



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DEL PROSPECTO DE CUARZO  
CERRO BLANCO, SECTOR DE QUILITAPIA – PEÑABLANCA, IV  
REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE: UNA OPORTUNIDAD DE NEGOCIOS  
PARA LA FABRICACIÓN DE SILICIO METÁLICO.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO**

**CARLOS EDWIN ARAYA RIVERA**

**PROFESOR GUÍA:  
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CHRISTIAN MOSCOSO WALLACE  
VICTOR MAKSAEV JURCHUC**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2008**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TITULO  
DE GEOLOGO  
POR: CARLOS ARAYA R.  
FECHA: 08/01/2008  
PROF. GUIA: Sr. BRIAN TOWNLEY

**“EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DEL PROSPECTO DE CUARZO  
CERRO BLANCO, SECTOR DE QUILITAPIA – PEÑABLANCA, IV REGIÓN DE  
COQUIMBO, CHILE: UNA OPORTUNIDAD DE NEGOCIOS PARA LA  
FABRICACIÓN DE SILICIO METÁLICO”.**

---

El presente trabajo es un estudio de prefactibilidad técnico-económico que consiste en la implementación de una planta para la fabricación de silicio metálico metalúrgico en el norte de Chile.

El objetivo principal de este proyecto, es determinar la factibilidad de fabricar silicio metálico de grado metalúrgico en Chile, a partir de la explotación de cuarzo del prospecto Cerro Blanco, ubicado en el sector de Quilitapia – Peñablanca, IV región de Coquimbo.

La inquietud por realizar este trabajo nace debido al potencial de recursos de cuarzo de alta ley presentes en el prospecto Cerro Blanco, materia prima necesaria para la fabricación de silicio metálico.

Una de las principales motivaciones para realizar este trabajo se encuentra en la generación de nuevas empresas, con nuevos procesos productivos que aporten al desarrollo industrial y tecnológico de nuestro país.

La justificación de este trabajo se debe a la oportunidad de negocios que presenta la comercialización de silicio metálico en los mercados internacionales.

La metodología utilizada consistió en la actualización de la geología del área de estudio, donde se puso énfasis en la cantidad y calidad de los recursos. En la siguiente etapa, se desarrolló un estudio comercial donde se analizó por un lado el mercado del cuarzo a nivel nacional y por otra parte, el mercado del silicio metálico a nivel internacional, considerando para este último el mercado norteamericano y europeo como alternativas de exportación. Así mismo, se realizó un trabajo introductorio de la normativa ambiental exigido por las autoridades reguladoras de nuestro país. Complementariamente, se realizó un estudio técnico el cual describe los procesos de extracción, chancado y molienda y fabricación de silicio metálico. Por último, se realizó un estudio económico en el que se evaluaron las variables necesarias para desarrollar el proyecto, determinando la mejor alternativa a través de un análisis de sensibilidad.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio económico y en el análisis de sensibilidad, podemos concluir que el proyecto exhibe un gran atractivo, con un VAN de US\$ 14.304.842 y una TIR de 66%, donde el horizonte de evaluación del proyecto se consideró a 10 años y la inversión para el funcionamiento y puesta en marcha del proyecto es de aproximadamente US\$ 4.000.000, mientras que el periodo de recuperación del capital es de alrededor de 3 años.

## **AGRADECIMIENTOS**

---

A mi mujer, compañera de toda la vida, quién estuvo siempre a mi lado, apoyándome y dándome ánimo cuando las fuerzas y las ideas se acababan.

A mi Padre, quién despertó en mí desde muy pequeño el amor por los Cerros y especialmente por la minería, traspasándome todos sus conocimientos en esta materia.

A mi familia, por su apoyo y amor incondicional.

También agradezco a todos con quien compartí estos años, compañeros, amigos, profesores y funcionarios.

Agradezco a mis compañeros de trabajo, quienes me han facilitado concretar esta etapa tan importante en mi vida.

También agradezco a mi profesor y amigo Brian Townley, quién confió en este trabajo.

# INDICE

<b>I. Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>II. Antecedentes Generales .....</b>	<b>10</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DEL NEGOCIO .....	10
2.2 JUSTIFICACIÓN .....	16
2.3 MOTIVACIÓN .....	17
2.4 OBJETIVO GENERAL .....	17
2.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
2.6 METODOLOGÍA .....	18
2.7 ALCANCES .....	20
2.8 RESULTADOS ESPERADOS .....	21
<b>III. Marco Geológico y Tectónico.....</b>	<b>22</b>
3.1 UBICACIÓN Y ACCESOS .....	22
3.2 PROPIEDAD MINERA .....	23
3.3 GEOLOGÍA.....	23
3.3.1 Marco Tectónico.....	23
3.3.2 Marco Geológico.....	24
<b>IV. Geología Local .....</b>	<b>26</b>
4.1 LITOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN EN EL PROSPECTO CERRO BLANCO. ....	26
4.2 ESTIMACIÓN DE RECURSOS .....	30
4.3 ESTIMACIÓN DE LEYES .....	34
<b>V. Prefactibilidad Comercial.....</b>	<b>38</b>
5.1 ESTUDIO DEL MERCADO NACIONAL DEL CUARZO.....	38
5.1.1 Usos y Propiedades .....	38
5.1.2 Yacimientos en Chile.....	39
5.1.3 Productores Nacionales.....	40
5.1.4 Consumidores Nacionales.....	42
5.2 ESTUDIO DEL MERCADO INTERNACIONAL DEL SILICIO METÁLICO. ....	44
5.2.1 Usos y Propiedades .....	44
5.2.2 Ventajas del Negocio en el Ámbito Internacional.....	45
5.2.3 Productores Mundiales. ....	47
5.2.4 Consumidores Internacionales. ....	49
<b>VI. Prefactibilidad Legal .....</b>	<b>54</b>
6.1 LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	54
6.2 IMPACTO AMBIENTAL ESTIMADO .....	54
6.3 MEDIDAS DE MONITOREO, MITIGACIÓN Y PLAN DE ABANDONO.....	56
6.4 COSTO DEL EIA.....	58
<b>VII. Prefactibilidad Técnica .....</b>	<b>59</b>
7.1 ACCESOS.....	59
7.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN, CHANCADO Y MOLIENDA.....	60
7.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN. ....	62
<b>VIII. Prefactibilidad Económica .....</b>	<b>67</b>
8.1 HORIZONTE DE EVALUACIÓN .....	67
8.2 INVERSIONES.....	67
8.2.1 Inversión en Equipos Planta.....	67
8.2.2 Inversión en Instalaciones.....	68
8.2.3 Capital de Trabajo.....	69
8.2.4 Otras Inversiones.....	69
8.2.5 Resumen de Inversiones .....	70
8.3 COSTOS.....	70
8.3.1 Generalidades .....	70
8.3.2 Costos de Operación y Planta.....	71
8.3.3 Costo de Explotación .....	72

8.3.4 Costo Transporte .....	72
8.3.5 Costo de administración.....	73
8.3.6 Costos de Energía e Insumos.....	73
8.3.7 Depreciaciones.....	73
8.3.8 Compra de Terreno.....	74
8.3.9 Servidumbre Minera .....	74
8.4 INGRESOS .....	74
8.5 ALTERNATIVAS DE FINANCIAMIENTO .....	75
8.6 TASA DE DESCUENTO .....	75
8.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. ....	76
8.7.1 Flujo de Caja.....	76
8.7.2 Análisis de Sensibilidad .....	77
8.7.3 Comentarios .....	78
<b>IX. Discusión .....</b>	<b>79</b>
<b>X. Recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
<b>XI. Conclusiones .....</b>	<b>80</b>
<b>XI. Referencias.....</b>	<b>82</b>
<b>XII. Anexos.....</b>	<b>87</b>

## INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y FOTOGRAFÍAS.

---

Figura 1. Diagrama de la Producción de Silicio Metálico en un Horno de Arco Eléctrico Sumergido.....	12
Figura 2. Representación de un crisol para fusión por zonas.....	13
Figura 3. Esquema del Método Czochralski.....	15
Figura 4. Mapa de ubicación del Prospecto Cerro Blanco.....	22
Figura 5. Marco Geológico de la zona de estudio.....	25
Figura 6. Mapa Litológico de Cerro Blanco.....	27
Figura 7. Perfiles 1.....	31
Figura 8. Perfiles 2.....	32
Figura 9. Perfiles 3.....	33
Figura 10. Mapa Estructural de Cerro Blanco.....	37
Figura 11. Ubicación de los principales depósitos de cuarzo en Chile.....	39
Figura 12. Producción de Cuarzo por Regiones año 2004.....	40
Figura 13. Producción de Cuarzo de los últimos 12 años en Chile.....	41
Figura 14. Mercado Nacional del Cuarzo.....	42
Figura 15. Consumo de Cuarzo por Fundiciones.....	42
Figura 16. Consumo de cuarzo y arenas silíceas por la industria del vidrio en Chile.....	43
Figura 17. Países Productores de silicio metálico.....	47
Figura 18. Principales productores mundiales de silicio metálico.....	48
Figura 19. Producción Mundial de silicio metálico entre los años 1970 y 2004.....	49
Figura 20. Producción Interna de silicio en Norteamérica entre 1970 y 2004.....	50
Figura 21. Exportaciones anuales de Silicio Metalúrgico hacia EEUU.....	51
Figura 22. Importaciones de silicio metálico de UE-25.....	53
Figura 23. Mapa de accesos a Cerro Blanco.....	59
Figura 24. Diagrama de Molienda y Chancado de mineral de cuarzo.....	62
Figura 25. Diseño Planta Chancado y Molienda.....	63
Figura 26. Diseño Planta Fabricación de Silicio Metálico.....	63
Fotografía 1. Brecha Pegmatítica.....	26
Fotografía 2. Laboreos de Cuarzo.....	28
Fotografía 3. Bolsonadas de Cuarzo.....	28
Fotografía 4. Costra silícea.....	29
Tabla 1. Estimación de Recursos en base a perfiles de detalle.....	34
Tabla 2. Principales Productores de cuarzo que trabajan con las principales fundiciones del país.....	40
Tabla 3. Acuerdos de Libre Comercio firmados por Chile.....	45
Tabla 4. Proyección de Crecimiento de los principales mercados mundiales.....	46
Tabla 5. Principales empresas productoras de silicio metálico.....	48
Tabla 6. Principales Exportaciones de Silicio Metálico a EEUU.....	51
Tabla 7. Estadísticas del mercado del silicio en Norteamérica.....	51
Tabla 8. Principales Empresas de silicio metálico en el Mercado Europea.....	52
Tabla 9. Inversión en Equipos para Planta de Molienda y Horno.....	67
Tabla 10. Inversión en Construcción, Montaje e Instalaciones.....	68
Tabla 11. Capital de Trabajo y traslado de Equipos.....	69
Tabla 12. Otras Inversiones.....	69
Tabla 13. Resumen de Inversiones.....	70
Tabla 14. Costos de Mano de Obra.....	71

Tabla 15. Costos Mantenición Planta.....	71
Tabla 16. Costos Mantenición maquinarias de explotación.....	72
Tabla 17. Costos Transporte considerando una eficiencia de planta de un 80%.....	72
Tabla 18. Costos relacionados a sueldos administrativos.....	73
Tabla 19. Costos Energía e Insumos.....	73
Tabla 20. Depreciaciones de Equipos.....	74
Tabla 21. Ingresos considerando una efectividad de 100% de la Planta.....	75
Tabla 22. Ingresos considerando una efectividad de Planta de 80%.....	75
Tabla 23. Flujo de Caja.....	76
Tabla 24. Análisis de Sensibilidad por ventas y producción.....	77
Tabla 25. Análisis con un precio de US\$ 1560.....	78
Tabla 26. Análisis con un precio de US\$ 1100.....	78

## **I. Introducción**

El presente trabajo corresponde al estudio de la evaluación técnico-económica de la explotación de cuarzo del prospecto Cerro Blanco, ubicado en el sector de Quilitapia – Peñablanca, Provincia del Limarí, IV Región de Coquimbo, para la fabricación de silicio metálico en Chile.

Actualmente la oportunidad de negocio que presenta la explotación del cuarzo del prospecto Cerro Blanco, para la fabricación de silicio metálico en Chile y su posterior venta en mercados internacionales, son la motivación principal para realizar este trabajo.

Considerando lo anteriormente señalado, cabe destacar el potencial de negocios que presenta el Prospecto Cerro Blanco, con recursos inferidos que superan las 100 millones de toneladas y calidades superiores a 98.5% de SiO<sub>2</sub>. A esto se suma el fácil acceso, cercanía a puertos, energía y carreteras.

En el ámbito nacional, el cuarzo no es considerado un negocio particularmente atractivo, puesto que un negocio que inicialmente parte como un proyecto minero, termina finalmente convirtiéndose en un negocio de transporte, debido a los bajos precios de venta que tiene este mineral en el mercado nacional.

En los mercados internacionales, el cuarzo de alta pureza (como es el caso del cuarzo de Cerro Blanco), es utilizado en la fabricación de silicio metálico, producto requerido en diversas industrias como (siliconas de todo tipo, industria metalmecánica, electrónica, etc.) y que cuenta con una creciente demanda.

En la actualidad la fabricación de silicio metálico no se conoce en Chile, pero nuestro país presenta todas las condiciones para desarrollar esta industria, con depósitos de gran tamaño, excelente calidad y, debido a la firma de nuevos tratados de libre comercio y acuerdos comerciales, políticas que nos permiten suponer un gran atractivo para este negocio.

El objetivo general de este estudio es evaluar la factibilidad técnico – económica de la fabricación de silicio metálico a partir de la explotación de cuarzo del prospecto Cerro Blanco, dando cuenta de las oportunidades que existen para este negocio en el mercado

internacional, con la finalidad de fundamentar las razones para fomentar la inversión en el negocio del cuarzo en Chile.

La estructura del estudio contempla la evaluación preliminar de los recursos de Cerro Blanco, el análisis del mercado actual tanto nacional como internacional, y la evaluación de alternativas de negocio fuera del país, con el fin de dar óptimas recomendaciones económicas en función de los resultados obtenidos.

## **II. Antecedentes Generales**

### **2.1 Descripción del Negocio**

La Economía Chilena tuvo un entorno económico internacional muy favorable el año 2006, donde la economía mundial creció en torno a un 5.2%, un punto por encima del promedio de los cinco años anteriores. Todo esto coincidió con la persistencia de un elevado crecimiento de las economías asiáticas, particularmente India (8%) y China (10.7%), y un crecimiento en torno a su potencial para Europa (2.7%), con una recuperación importante para la economía Alemana y el continuo crecimiento de la economía Española. Además comenzó la recuperación de Japón (creció 2.4%, superior al promedio de los 5 años anteriores) y, se observó un importante crecimiento de la economía de EEUU y la región latinoamericana (4.8% casi el doble del período 2000 – 2005). Así, por cuarto año consecutivo, la economía mundial se muestra en óptimas condiciones para el comercio exterior chileno caracterizado por elevados precios del cobre, bajas tasas de interés de largo plazo al nivel internacional y con sus principales socios comerciales creciendo rápidamente (DIRECON, 2007).

De lo anterior, se ha desarrollado un creciente y sostenido aumento de la producción minera nacional en los últimos años, que deja en evidencia un enorme potencial de oportunidades de negocios, relacionados con insumos y aplicaciones de la ingeniería para esta industria.

La demanda internacional de productos mineros no-metálicos, denominados también minerales industriales, está estrechamente relacionada con el desarrollo industrial y tecnológico de los países desarrollados, donde la minería no-metálica tiene una gran importancia debido a su requerimiento como insumos.

En el caso del mercado nacional, la minería no-metálica se ha mantenido en un plano secundario en relación con la minería metálica, debido al pobre desarrollo tecnológico e industrial de nuestro país y al desconocimiento de las bondades de estas materias primas.

Es así como la producción de cuarzo nacional es utilizada principalmente en los procesos de fundición de cobre (alrededor de un 85%), en Chuquicamata, El Teniente, Salvador, Ventanas, todas propiedad de Codelco Chile, y las fundiciones de Altonorte (Xstrata) y

Chagres (Anglo American), mientras que el porcentaje restante va a la industria de la cerámica refractaria, abrasivos y la fabricación de vidrio, mercados pequeños y que manejan poco volumen (Fuente: Compendio de La Minería Chilena 2006).

Durante 2005 la producción de cuarzo en Chile alcanzó a 1.151.443 toneladas (enfocado principalmente al mercado de las fundiciones del país), superior en un 6% a la del año anterior, cuando alcanzó a 1.085.412 toneladas, gatillado principalmente por el dinamismo mostrado por la industria del cobre (Fuente: Compendio de La Minería Chilena 2006).

En los mercados internacionales, el cuarzo de alta pureza es utilizado como insumo en una diversidad de procesos productivos. Entre estos procesos se encuentra la fabricación de silicio metálico de grado **metalúrgico** (negocio que se presenta en este trabajo), que se destina principalmente a la fabricación de siliconas y, por otro lado, la fabricación de silicio metálico **ultrapuro** destinado principalmente para la fabricación de obleas y chips en la industria electrónica.

El silicio metálico metalúrgico comercial se obtiene a partir de cuarzo de alta pureza, carbón vegetal y astillas de madera, donde el carbón es utilizado como agente reductor a temperaturas que varían entre los 1800 a 2500° C dentro de un horno de arco eléctrico (Figura 1).

### Reacción Química



El silicio líquido se acumula en el fondo del horno de donde se extrae como una colada y se enfría en placas de cobre. El silicio producido en este proceso se denomina **metalúrgico** y tiene una pureza superior al 99% (este trabajo).

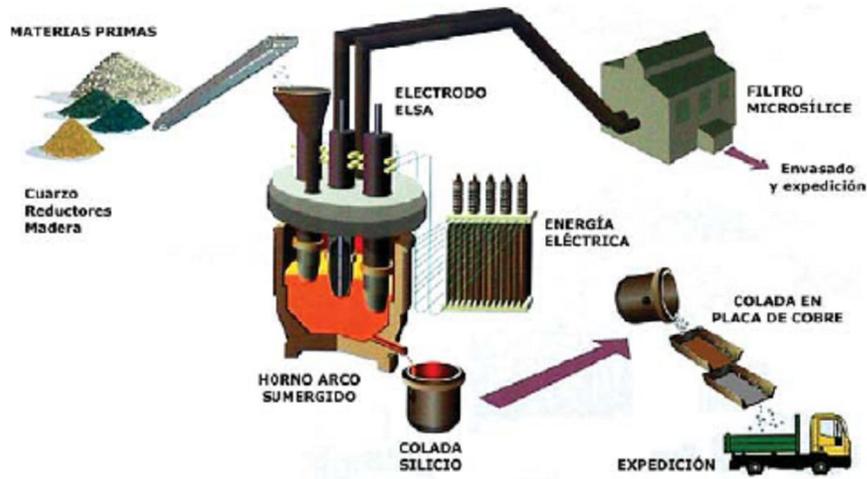


Diagrama de la producción del silicio metálico.

Figura 1. Diagrama de la Producción de Silicio Metálico en un Horno de Arco Eléctrico Sumergido.

Para la construcción de dispositivos semiconductores es necesario un silicio de mayor pureza, silicio **ultrapuro**, que puede obtenerse por métodos físicos o químicos, y es necesario para ello procesos que requieren mayor energía. El primer método de purificación, fue empleado de forma limitada para construir componentes de radares durante la Segunda Guerra Mundial, y consiste en moler el silicio de forma que las impurezas se acumulen en las superficies de los granos, disolviéndolas parcialmente con ácido, donde se obtenía un polvo más puro.

La **fusión por zonas**, el primer método usado a escala industrial, permite purificar los lingotes de semiconductor. Se basa en que las impurezas se disuelven en el semiconductor fundido. Luego, si una zona fundida avanza por el lingote, las impurezas se irán concentrando en ella, quedando a su paso el semiconductor purificado (Figura 2).

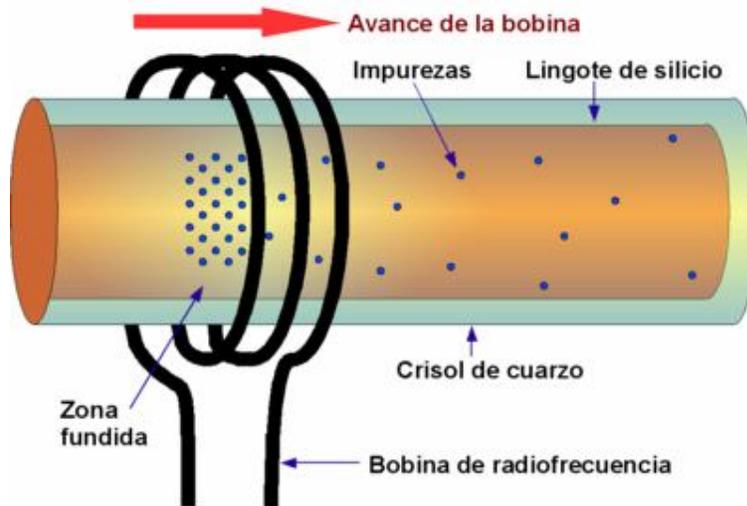


Figura 2. Representación de un crisol para fusión por zonas.

La fusión por zonas se realiza en un crisol de cuarzo que se mueve con respecto a una bobina de inducción, por la que circula corriente de radiofrecuencia que induce corrientes de Foucault en el semiconductor, llegando a fundirlo, por efecto Joule. Al ir avanzando la bobina, la zona fundida también lo hace, arrastrando consigo las impurezas, mientras el semiconductor se recristaliza al enfriarse. Se suele realizar varias pasadas y, al final, se corta el extremo que contiene las impurezas. Por este método se consigue una concentración de impurezas en el lingote menor que una parte por millón.

La bobina suele estar construida con tubo de cobre, por cuyo interior circula agua para refrigerarla. Con respecto a lo señalado, cabe mencionar que no todas las impurezas se eliminan fácilmente. El oxígeno, por ejemplo es muy difícil de separar del silicio. Por ello se procura que la purificación química previa no añada oxígeno. La mayor o menor facilidad para separar los átomos de un elemento determinado se llama índice de segregación de ese elemento. Cuanto mayor sea, más fácil es que la fusión por zonas separe este elemento.

En el proceso Siemens, las barras de silicio de alta pureza se exponen a 1150°C al triclorosilano, gas que se descompone depositando silicio adicional en la barra según la siguiente reacción:



El silicio producido por éste y otros métodos similares se denomina silicio policristalino y típicamente tiene una fracción de impurezas de 0,001 ppm o menor.

Una vez obtenido el silicio ultrapuro es necesario obtener un monocristal, para lo que se utiliza el proceso Czochralski.

El proceso o método de Czochralski consiste en un procedimiento para la obtención de lingotes monocristalinos. Fue desarrollado por un científico polaco llamado Jan Czochralski (<http://erg.wikipedia.com>).

Este método es utilizado para la obtención de silicio monocristalino mediante un cristal semilla depositado por un baño de silicio. Es de amplio uso en la industria electrónica para la obtención de wafers o semillas, destinadas a la fabricación de transistores y circuitos integrados.

El método consiste en tener un crisol que contiene el semiconductor fundido, por ejemplo germanio. La temperatura se controla para que esté justamente por encima del punto de fusión y no empiece a solidificarse. En el crisol se introduce una varilla que gira lentamente y tiene en su extremo un pequeño monocristal del mismo semiconductor que actúa como semilla. Al contacto con la superficie del semiconductor fundido, éste se agrega a la semilla, solidificándose con su red cristalina orientada de la misma forma que aquella, con lo que el monocristal crece. La varilla se va elevando y, colgando de ella, se va formando un monocristal cilíndrico (Figura 3). Finalmente se separa el lingote de la varilla y pasa a la fusión por zonas para purificarlo.

El grosor del lingote depende del control de temperatura y la velocidad de la varilla. Cuando la temperatura asciende, el propio lingote se va fundiendo, pero si desciende, se forman agregados que no son monocristalinos.

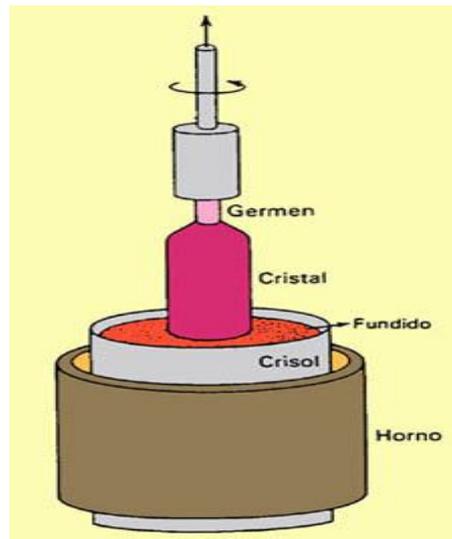


Figura 3. Esquema del Método Czochralski

Para la fabricación de silicio metálico es necesario contar con cuarzo de una calidad superior a 90% de  $\text{SiO}_2$ , carbón vegetal y astillas de madera. Es por esto, que para el desarrollo de este trabajo, se evaluará la alternativa de ocupar el cuarzo de Cerro Blanco, carbón vegetal (menos contaminante) y astillas de madera producidas en el sur de nuestro país.

El Prospecto Cerro Blanco, ubicado en el sector de Quilitapia – Peñablanca, en la IV región de Coquimbo, ha sido un área poco estudiada, considerando el potencial minero no metálico que representa. Rivano y Sepúlveda (1991), describen en esta zona yacimientos menores de cuarzo, los que consisten en pequeñas bolsonadas pegmatíticas de cuarzo y feldespato potásico, con cantidades variables de mica (muscovita). Por otro lado, Harfagar (1998), describe que los cuerpos presentan una forma semicircular, controlados estructuralmente, aflorando en ocasiones sobre una granodiorita de grano fino a medio, y en otras como una costra silíceo de gran extensión areal, donde los cuerpos presentan una alta pureza y se encuentran constituidos principalmente por cuarzo cristalino.

Diversas visitas a la zona, realizadas a fines de los noventa y comienzos de dos mil por distintos profesionales, demostraron la necesidad de actualizar la geología del área debido al gran potencial de recursos de  $\text{SiO}_2$  con que cuenta el prospecto. Nuevos estudios realizados entre los años 2003 y 2005 (realizados por el autor), reportaron bajos niveles de elementos

contaminantes, por lo que se presume que existen altas leyes de SiO<sub>2</sub> para los cuerpos de cuarzo ubicados en el área. Lo anterior, motivó nuevos trabajos que apuntaron a la cuantificación de estos recursos mediante trincheras y trabajos del tipo cantera, los que indican recursos por sobre los **20 Mton** (Este trabajo).

## **2.2 Justificación**

Este trabajo tiene como fin elaborar un estudio de prefactibilidad técnico-económica, que trate las diversas posibilidades de negocio nacionales como internacionales, relacionadas con la explotación de cuarzo desde el prospecto Cerro Blanco, ubicado en la IV región de Coquimbo.

En la actualidad, tanto en nuestro país como en el extranjero, existen diversos escenarios de negocios relacionados con la explotación y comercialización de cuarzo. Mientras en Chile el negocio se limita principalmente al suministro de cuarzo como fundente y a la industria del vidrio, en el ámbito internacional este mineral industrial es utilizado como insumo para la fabricación de diversos productos que gozan de mercados altamente atractivos.

La idea de realizar este trabajo nace a partir de la calidad y cantidad de recursos de que presenta el prospecto Cerro Blanco y al escenario que nos enfrentaremos en un futuro cercano debido a la escasez de minerales, donde aumentarán sus precios y las oportunidades de negocios relacionados con la comercialización de ellos serán cada vez más atractivas.

Este estudio expone por un lado las ventajas que presenta actualmente la explotación y comercialización de cuarzo desde el Prospecto Cerro Blanco (gran volumen de recursos, altas leyes de SiO<sub>2</sub> y condiciones logísticas favorables), y por otro lado, políticas de apertura que facilitan la exportación de este producto a los principales mercados internacionales.

## **2.3 Motivación**

Dentro de las motivaciones de este trabajo se encuentran:

- La Innovación. Esto debido a que es un proceso productivo nuevo y desconocido en Chile.
- Motivación Personal de generar nuevas fuentes de trabajo en una de las zonas más pobres de Chile (Combarbalá - Punitaqui).
- Motivación Personal de generar nuevas empresas para el desarrollo de nuestro país.

## **2.4 Objetivo general**

Este trabajo de Memoria de Título tiene como objetivo general:

- Evaluar la factibilidad técnico-económica de la fabricación de silicio metálico de grado metalúrgico en Chile, a partir de la explotación de cuarzo del prospecto Cerro Blanco.

## **2.5 Objetivos específicos**

Dentro de las tareas a realizar en este trabajo, se cuentan los objetivos específicos que se detallan a continuación:

- Actualizar la Geología del Prospecto Cerro Blanco.
- Captar capitales de riesgo que permitan cuantificar las reservas del depósito y definir las leyes de SiO<sub>2</sub> de los cuerpos mineralizados.
- Estudiar el mercado del cuarzo a nivel nacional y el mercado del silicio metálico a nivel internacional.

- Realizar los flujos económicos del proyecto, determinando el VPN y la TIR (prefactibilidad Comercial, Legal, Técnica y Económica).
- Demostrar que el negocio del cuarzo de alta pureza en Chile para producir silicio, es una alternativa rentable.

## **2.6 Metodología**

### **a) Estudio Geológico**

#### ***1.- Confección Mapa***

Entre el período 2005 - 2006, se realizaron diversas campañas de terreno al área del Prospecto Cerro Blanco. El objetivo de estas campañas, fue confeccionar un mapa de detalle que actualizara la información geológica del lugar. Este trabajo finalizó a fines del primer semestre de 2006, con la confección de un mapa escala 1:10.000, que identificó claramente todos los cuerpos aflorantes del lugar.

#### ***2.- Estimación de Recursos y Leyes***

El segundo objetivo de este estudio geológico, era identificar la geoquímica de los cuerpos de cuarzo. Para ello se realizaron dos campañas de muestreo geoquímico, la primera de ellas que consistió en la toma aleatoria de 10 muestras por el método chip sample y que fueron analizadas por un barrido geoquímico del tipo ICP-30, en los laboratorios de la empresa ACME.

Una vez identificada la geoquímica de los cuerpos mineralizados reportados por la primera campaña, se procedió a la toma de más de 100 muestras del tipo chip sample orientadas principalmente a los cuerpos aflorantes de cuarzo y a trabajos del tipo trincheras que se realizaron en el área. Estas muestras fueron analizadas por un barrido geoquímico del tipo ICP-41, un análisis de vapor frío (para la identificación de Hg), y un análisis Au-AA23, en los laboratorios de la empresa ACME.

Además, la intención de este estudio fue estimar el potencial de recursos que presenta el prospecto. Para ello se trabajó con maquinaria pesada (retroexcavadora), la que abrió trincheras sobre los cuerpos de cuarzo y en sectores donde existía la posibilidad de encontrar

nuevos cuerpos. En total, se confeccionaron alrededor de 3000 metros de trincheras que aportaron la información básica necesaria para los fines de este estudio, incluyendo el muestreo geoquímico de los cuerpos de cuarzo.

### ***3.- Elaboración de Informe Geológico***

Una vez confeccionado el mapa y lograda la estimación de recursos, se procedió a la elaboración de un informe geológico-económico del prospecto, el que además contó con una recopilación de material bibliográfico, para la confección del Marco geológico.

#### **b) Prefactibilidad Comercial**

1. Describir el negocio. La idea es describir la industria del cuarzo como insumo para la fabricación de silicio metálico.
2. Identificar productores, consumidores, clientes potenciales, etc. Elaboración de un estudio de mercado.
3. Motivación del negocio. Necesidad que satisface el producto o servicio / demanda que atiende (cualitativamente).
4. Ventajas comparativas en el mercado nacional y extranjero (por qué este negocio es rentable en comparación a la oferta existente).
5. Análisis –al menos preliminar- del medio externo:
  - análisis del mercado nacional y de la región: tamaño, clientes, segmentación, modelo de negocios vigente (de dónde provienen los ingresos), canales, volúmenes por canal, caracterización de principales competidores.

#### **c) Prefactibilidad Legal**

6. Estudiar la Legislación ambiental vigente. Descripción de pasos a seguir con respecto a estudios de impacto ambiental (EIA), asociados al proyecto.
7. Extrapolar el Impacto ambiental estimado. Una vez realizado el EIA, cuantificar el impacto asociado a esta industria.
8. Generar Medidas de mitigación. Una vez estudiado el impacto ambiental creado por esta industria, generar medidas que permitan mitigar en parte el daño o impacto asociado.

#### **d) Prefactibilidad Técnica**

1. Descripción del proceso de extracción. Breve descripción del Proceso (Equipos a utilizar).
2. Descripción del proceso de Molienda. Breve descripción del proceso de Chancado y Molienda del cuarzo de Cerro Blanco (Equipos a utilizar).
3. Descripción del Proceso químico del Silicio Metálico. Describir claramente el consumo de cuarzo, carbón, astillas de madera y electricidad que se requiere para la producción de silicio metálico. Además en este punto, se describirán también los equipos a utilizar.
4. Descripción del Proceso de Transporte. Breve reseña estimativa del proceso de transporte terrestre y marítimo.

#### **e) Prefactibilidad Económica**

1. Inversión (en base a los datos obtenidos, efectuar el cálculo de la inversión para el proyecto).
2. Costos (analizar los costos hundidos, costos fijos y variables para el proyecto).
3. Ingresos (en base a los precios de cada mercado, costos, Inversión, volúmenes de entrega y tasas de crecimiento del negocio, efectuar los respectivos flujos de caja)
4. Financiamiento (ver las alternativas de financiamiento que presenta el mercado)
5. Tasa de descuento
6. Evaluación Económica.

#### **f) Recomendaciones y Conclusiones**

En base a los datos obtenidos, realizar la mejor recomendación de negocios.

### **2.7 Alcances**

El presente estudio cuantitativo tiene un carácter analítico, ya que consiste en la prefactibilidad técnico-económica del negocio de la fabricación de silicio metálico, investigando volúmenes, leyes y mercados para este producto, otorgando una visión global del negocio, con la finalidad de lograr identificar la mejor alternativa para invertir.

Para ello, se realiza un análisis del mercado nacional e internacional, para cimentar bases sólidas con el objetivo de incentivar la participación de capitales de riesgo nacionales como extranjeros en el negocio del silicio metálico en Chile.

## **2.8 Resultados esperados**

Los resultados esperados para este estudio, consisten en visualizar las posibilidades que presenta el negocio de la fabricación de silicio metálico en Chile y su posterior comercialización en mercados internacionales, identificando las fortalezas y deficiencias que presenta el país para el desarrollo de estos proyectos, realizando un análisis somero de carácter técnico-económico.

Ahora bien, en el contexto nacional el objetivo es presentar el negocio desde un punto de vista estratégico, agregando variables que ayuden a lograr rentabilidades atractivas para el negocio de la explotación de cuarzo para la fabricación de silicio metálico, que incentiven el financiamiento de inversionistas nacionales.

### III. Marco Geológico y Tectónico.

#### 3.1 Ubicación y Accesos

El prospecto Cerro Blanco se encuentra ubicado entre las coordenadas UTM 282500 E – 291500 E y 6559000 N – 6549000 N, y situado entre las localidades de Punitaqui y Combarbalá, en el sector de Peñablanca, IV Región de Coquimbo, Chile (Figura 4).

Es posible acceder al área de estudio desde la localidad de Combarbalá, avanzando 30 Km. aproximadamente por el camino que lleva al pueblo de Quilitapia. En la localidad de Quilitapia nace un camino de tierra en buen estado, que lleva al pueblo de Chipel, ubicado en el sector NE de las propiedades de Cerro Blanco.

El prospecto se ubica a 80 km de la carretera Panamericana Norte, siguiendo por el camino que une Combarbalá y Puerto Oscuro.



Figura 4. Mapa de Ubicación de Cerro Blanco. El rectángulo rojo muestra el área del Prospecto Cerro Blanco (Fuente: Turistel, Mapa Rutero IV Región).

## **3.2 Propiedad Minera**

El área total del prospecto esta constituida por 32 manifestaciones (concesiones de explotación), que corresponden a 3200 hectáreas las cuales se encuentran en trámites de solicitud de mensura. Estas Propiedades tienen como dueños a la empresa SEIZAR Limitada a la que corresponde un 50% de las acciones y la empresa KORDA Limitada dueña del otro 50%.

## **3.3 Geología**

### **3.3.1 Marco Tectónico.**

El área de estudio, se encuentra inserta en la franja central de la IV Región, definida dentro del régimen extensional de edad Jurásico - Cretácico Inferior, donde el principal elemento de esta etapa es el par formado por el arco magmático y la cuenca de trasarco (Camus, 2003). El primero coincide, en gran parte del norte de Chile, con el arco La Negra que se extiende por más de 1500 km a lo largo de la Cordillera de la Costa entre los 18° y 33°S, mientras que el sistema de cuencas de trasarco incluye, de norte a sur, la Cuenca de Tarapacá (18°-28°S), la Cuenca Marginal Abortada de Aconcagua (28°-33°S), que abarca nuestra zona de estudio, y la Cuenca de Neuquén (36°-39°S), ubicadas al oriente del arco magmático, las que fueron rellenadas con depósitos volcánicos y sedimentarios continentales y marinos durante el Jurásico y el Cretácico Inferior (Coria et al. 1982; Mpodozis y Ramos, 1990; citado por Camus, 2003), caracterizados por las Formaciones Arqueros y Quebrada Marquesa, presentes en el área de estudio.

Tanto las rocas volcánicas y los complejos intrusivos que conforman el arco como los depósitos sedimentarios y volcánicos de las cuencas de trasarco fueron depositados y emplazados dentro de un ambiente tectónico de subducción en régimen extensional de tipo Mariana, caracterizada por su alto ángulo, con bajos niveles de contaminación cortical de los magmas (Rogers, 1985; Vergara et al., 1995; citados en Camus, 2003). La convergencia oblicua habría dado origen a grandes sistemas de fallas dúctiles y/o frágiles con una componente de desplazamiento sinistral en el rumbo, tales como la zona de Falla de Atacama (ZFA), a lo largo del eje del arco magmático (Hervé, 1987; Thiele y Pincheira, 1987; Scheuber y Andriessen, 1990; Brown et al., 1993; citados en Camus, 2003).

Durante la evolución del Sistema de Fallas de Atacama, se alternan periodos de transtensión y/o extensión pura con etapas de movimientos sinistral ocurridas entre los 150 y

100 Ma (Hervé, 1987; Brown et al., 1993; citado en Camus, 2003). Maksaev (2000) estima que, desde el punto de vista metalogénico, tanto el magmatismo como los episodios de mineralización que dieron origen a yacimientos estratoligados y vetiformes de Cu-Ag y Cu-Fe-Au (Espinoza et al., 1996; Vivallo y Henríquez, 1997, 1998; citados en Camus 2003), ocurrieron en condiciones extencionales durante el Jurásico Superior, mientras que el emplazamiento del cordón de yacimientos de Fe de la Cordillera de la Costa de la III y IV Regiones, ocurrió durante una fase de transtensión sinistral del Cretácico Inferior (Camus, 2003).

### **3.3.2 Marco Geológico.**

En el área de trabajo, se reconoce una secuencia de rocas volcánicas con intercalaciones marinas de la Formación Arqueros, de edad cretácica inferior (Aguirre y Egert, 1962, 1965; Rivano y Sepúlveda, 1991), que litológicamente se compone de brechas volcánicas y aglomerados con intercalaciones lenticulares de calizas fosilíferas, areniscas y escasos niveles de conglomerados (Figura 5). Su base se presenta en discordancia de erosión con las unidades Triásicas-Jurásicas y por otro lado, es intruida por la Súper Unidad Illapel de edad Cretácico Inferior (Figura 5). Su techo lo constituye la Formación Quebrada Marquesa de edad Neocomiano Superior a Albiano Superior (Aguirre y Egert, 1962, 1965; Rivano y Sepúlveda, 1991), con la que se encuentra en contacto concordante. Esta última, es una secuencia continental, con una intercalación delgada de areniscas marinas en su base (Figura 5). Thomas (1967) en la hoja Ovalle, distinguió dos niveles, uno superior compuesto por areniscas de grano fino, lutitas, calizas lagunares y mantos de manganeso y yeso, y uno inferior, volcánico, andesítico, con intercalaciones de brechas y conglomerados.

En esta zona afloran intrusivos de edad Cretácica, representados por la Súper Unidad Illapel, compuesta por las unidades Limahuida y Chalinga (Berg y Charrier, 1987; citados en Rivano y Sepúlveda, 1991).

Este conjunto se compone de tres plutones principales: Plutón Illapel – Caimanes, Plutón Llahuín y Plutón Quilitapia – El Durazno. Asociados a estos plutones, existe una serie de cuerpos menores, generalmente de la misma composición, pero de texturas variables que van desde grano fino a porfíricas (Rivano y Sepúlveda, 1991).

En el área de estudio, afloran rocas del Plutón Quilitapia – El Durazno, perteneciente a la Unidad Chalinga, que incluye desde dioritas de anfíbola y piroxeno, y dioritas cuarcíferas, hasta sienogranitos de anfíbola y hornblenda pasando por tonalitas, granodioritas y monzodioritas, intruyendo a las Formaciones Arqueros y Quebrada Marquesa (Figura 5).

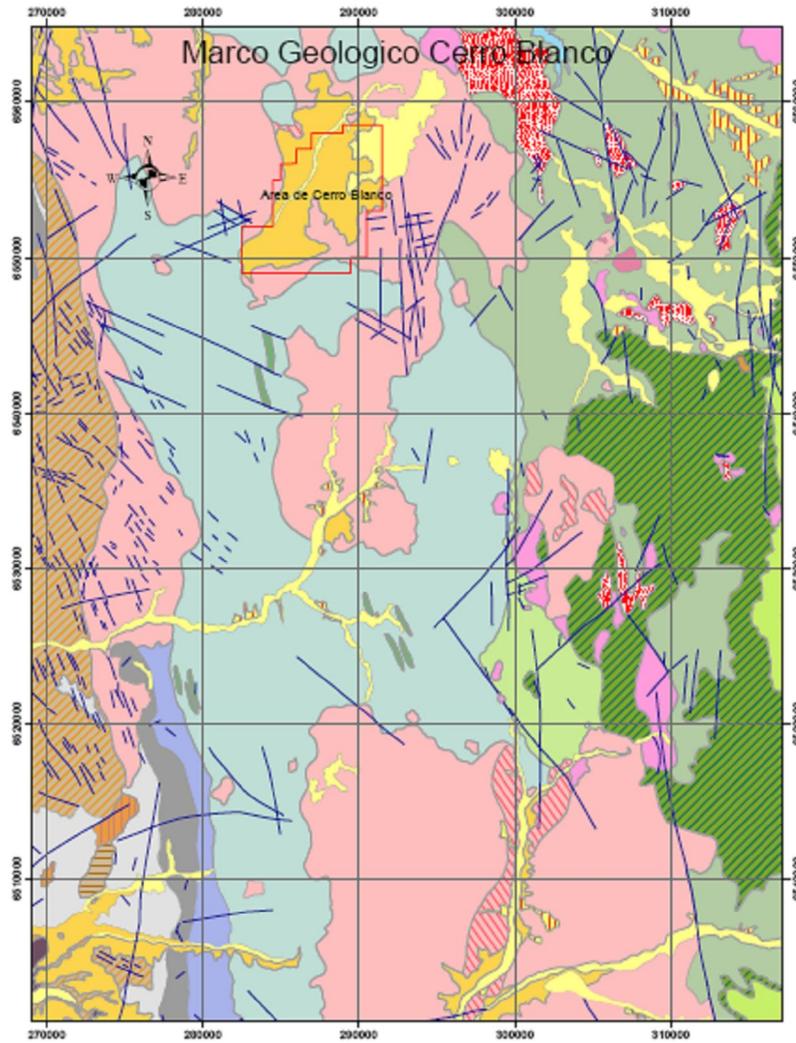


Figura 5. Marco Geológico de la zona de estudio. (Fuente: SERNAGEOMIN)

## IV. Geología Local

### 4.1 Litología, Alteración y Mineralización en el Prospecto Cerro Blanco.

El área del prospecto, esta constituida por de 3200 hectáreas, las que presentan una extensa cobertura de sedimentos recientes y no consolidados. A pesar de ello, se logran reconocer abundantes afloramientos de una brecha ígnea pegmatítica (Figura 6) compuesta principalmente de cuarzo, con menor feldespato, mica y anfíbolos de distintos tamaños (actinolitas), que contiene además, cristales erráticos de molibdenita (Fotografía 1).



**Fotografía 1. Brecha Pegmatítica a) En la imagen de la izquierda podemos ver el tamaño de los clastos de la brecha ígnea pegmatítica rica en cuarzo. b) En la imagen de la derecha, se puede apreciar el tamaño de los cristales pegmatíticos de cuarzo.**

La brecha, se presenta en el área central del prospecto y está restringida a patrones estructurales principales NNE y en menor medida NS (distrital), y a patrones secundarios WNW (Figura 6). Por otra parte se reconocen algunos afloramientos dispersos de un pórfido félsico (con apariencia aplítica), con alteración cuarzo - sericita, el que presenta mineralización de pirita – calcopirita – oro y menor bornita, copper wad y escasa calcosina. Estos afloramientos consisten en diques discretos restringidos a patrones estructurales NNE, un stock en el centro del prospecto y como fragmentos en cuerpos de brechas hidrotermales de magnetita, turmalina y especularita en el sector oriental. Estas últimas, solo han sido reconocidas como regolitos, presentando pirita y calcopirita diseminadas en su matriz y que a su vez, se muestran débilmente oxidadas (Figura 6).

MAPA LITOLÓGICO DE CERRO BLANCO

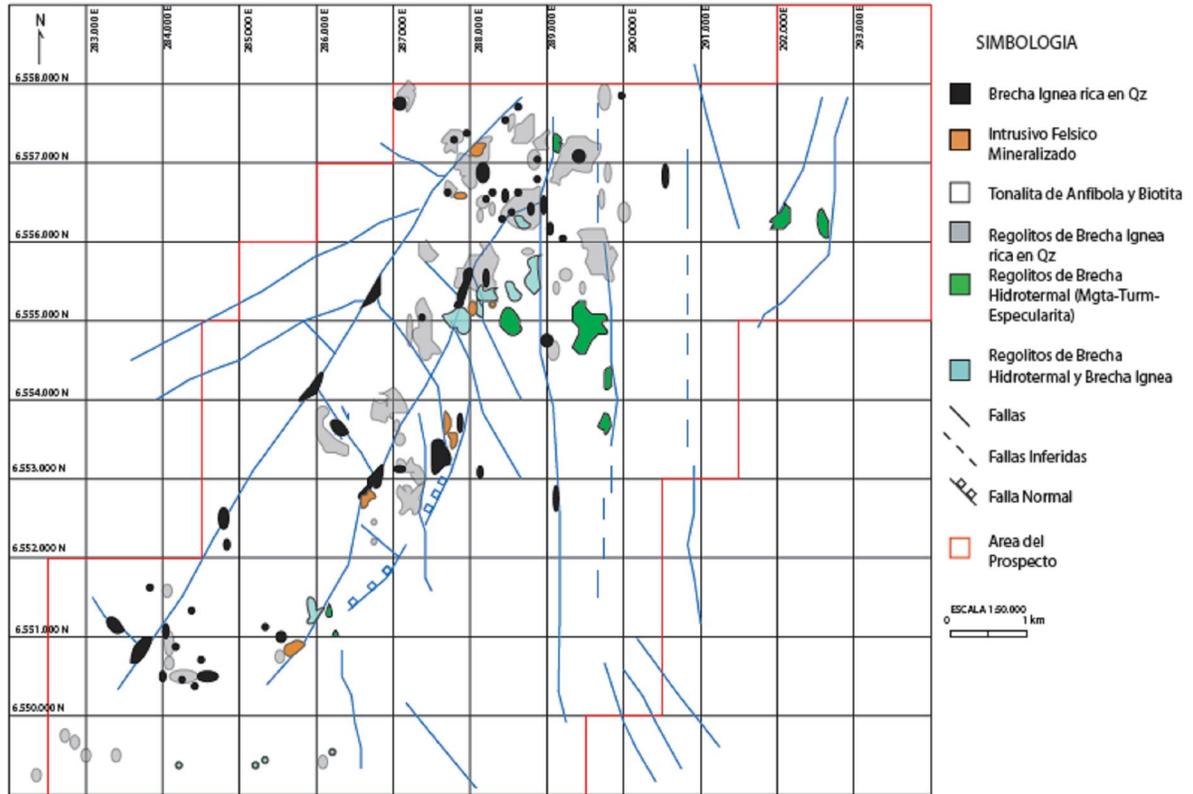


Figura 6. Mapa Litológico del Prospecto Cerro Blanco. En negro se muestran los cuerpos de Cuarzo, mientras que en gris se ubican las áreas con posibilidad de encontrar cuerpos de cuarzo.

Los cuerpos pegmatíticos de cuarzo, afloran en toda el área de estudio, principalmente como bolsonadas en cruce de estructuras NNE y WNW (Fotografías 2 y 3). Estos afloramientos son de diversos tamaños que varían desde 40 a 300 metros de diámetro. Además, fuera de las estructuras, se reconoció un cuerpo subhorizontal que forma una costra sílicea, la que presenta una extensa continuidad areal (Fotografía 4).



**Fotografía 2. Pequeño Rajo, explotado por pirquineros de la zona.**



**Fotografía 3. En la imagen se muestra una bolsonada de cuarzo trabajada por pirquineros de la zona.**



**Fotografía 4. La imagen muestra el cuerpo subhorizontal de cuarzo o costra silícea.**

## **4.2 Estimación de Recursos**

Entre los años 2005 y 2006 se realizaron diversas campañas de terreno (a cargo del autor), que tuvieron como objetivo principal la actualización de la información del área y el reconocimiento de su potencial.

Dentro de estas campañas, se confeccionó un mapa litológico a escala 1:10.000 (Mapa 1 anexo), con la finalidad de reconocer los distintos cuerpos aflorantes en el lugar. Se identificaron más de 100 afloramientos que presentaban cuerpos de cuarzo de dimensiones variables, que fueron levantados en este mapa y que además, fueron reconocidos gracias a la confección de más de 3000 m de trincheras, que tuvieron la finalidad de abrir estos cuerpos con la idea de ver su continuidad y comportamiento geoquímico. Además, en el sector sur y centro de las propiedades, pirquineros de la zona abrieron laboreos con profundidades superiores a los 30 m, lo que dio una idea de la potencia y geometría de los cuerpos.

Los recursos indicados de Cerro Blanco, en base al mapeo realizado, construcción de trincheras, laboreos y estimación de reservas en base a los perfiles de los principales cuerpos de la brecha ígnea rica en cuarzo son superiores a 20 Mton, (ver Figuras 7,8 y 9).

Por otro lado, los recursos inferidos alcanzan los 100 Mton, en base a las áreas potencialmente mineralizadas. Hay que considerar que el área del prospecto presenta una extensa cobertura de sedimentos que abarca un 80% del total del área, donde se pueden apreciar amplias zonas con regolitos de cuarzo, las que no han sido reconocidas aún.

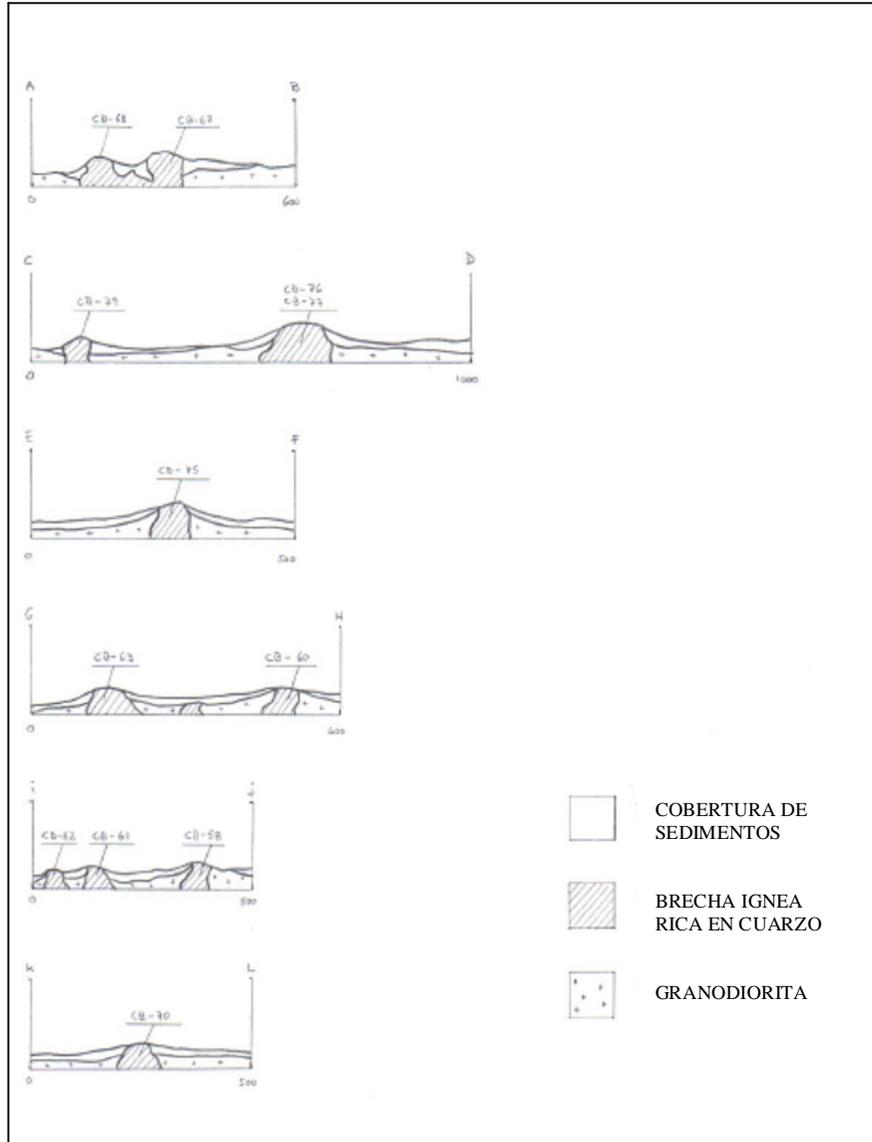


Figura 7. Perfiles 1. Secciones A-B, C-D, E-F, G-H, I-J, K-L. Estos perfiles, muestran en detalle los principales cuerpos de la brecha ígnea rica en cuarzo del sector norte de las propiedades.

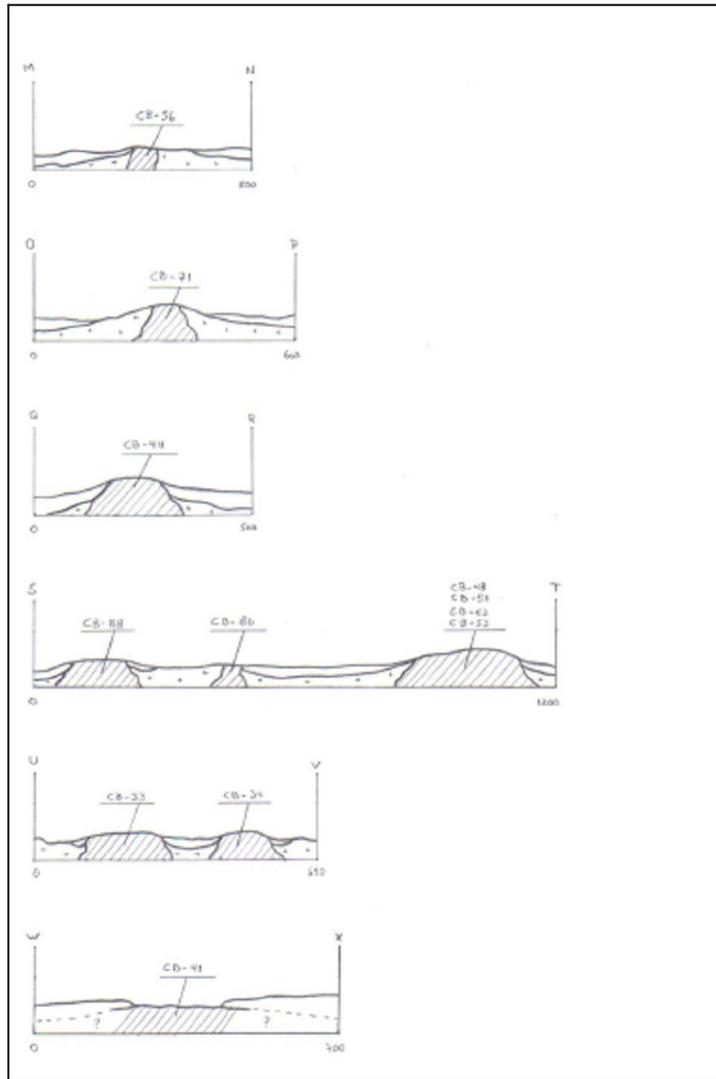
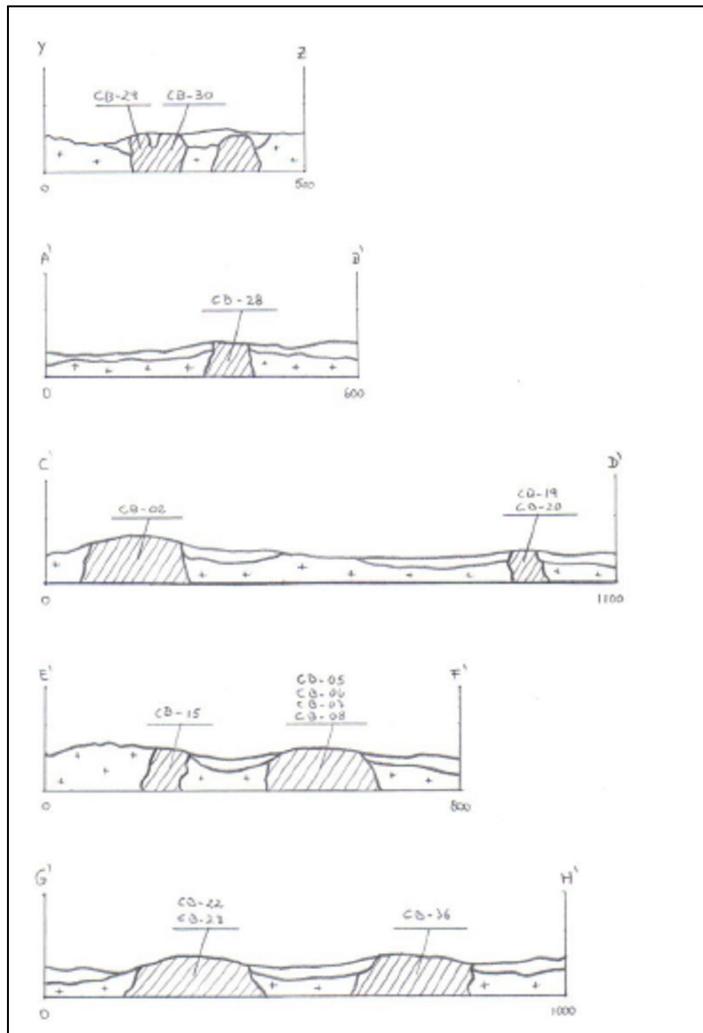


Figura 8. Perfiles 2. Secciones M-N, O-P, Q-R, S-T, U-V, W-X. Estos perfiles muestran en detalle los cuerpos de brecha ígnea rica en cuarzo de la zona central de las propiedades.



**Figura 9. Perfiles 3. Secciones Y-Z, A'-B', C'-D', E'-F', G'-H'. Estos perfiles muestran los cuerpos de la brecha ígnea rica en cuarzo de la zona sur de las propiedades.**

Para la evaluación preliminar de recursos, se confeccionaron secciones de los principales cuerpos mineralizados (Mapa 1 anexo) y se estimó el potencial del prospecto bajo las siguientes condiciones: a) se consideró que todos los cuerpos tienen forma circular (en base a pirquenes) y b) la profundidad media de cada cuerpo, en base a laboreos existentes en el área es de 50 metros. Los resultados de esta estimación de recursos dieron un valor superior a 22 millones de toneladas (Tabla 1). Además, para este análisis, se consideró una densidad del cuarzo en 2,65 gr/cm<sup>3</sup>.

Se debe tener presente que los cuerpos presentan formas irregulares (en su gran mayoría), pero para efectos de facilitar el trabajo se consideraron de forma circular.

**Tabla 1. Estimación de recursos en base a perfiles de detalle.**

<b>PERFIL</b>	<b>Recursos Estimados por Perfil (Ton)</b>
<b>A-B</b>	353250
<b>C-D</b>	981250
<b>E-F</b>	125600
<b>G-H</b>	510250
<b>I-J</b>	266900
<b>K-L</b>	125600
<b>M-N</b>	158952
<b>O-P</b>	331663
<b>Q-R</b>	1130400
<b>S-T</b>	3140000
<b>U-V</b>	2551250
<b>W-X</b>	2833850
<b>Y-Z</b>	70650
<b>A`-B`</b>	282600
<b>C`-D`</b>	2394250
<b>E`-F`</b>	2048850
<b>G`-H`</b>	5102500
<b>Volumen Total</b>	<b>22407815</b>

### **4.3 Estimación de Leyes**

La primera campaña que se realizó apuntó a reconocer la calidad de los cuerpos de cuarzo por medio de métodos geoquímicos. Para ello se recolectaron 10 muestras por el método chip sample, de las cuales 8 correspondían a la brecha pegmatítica de cuarzo y dos a un intrusivo mineralizado que se presenta en el sector central de las pertenencias.

Los resultados de la geoquímica mediante digestión total y análisis ICP-30 se reportan en la tabla 1 (Anexo Tablas).

En la tabla 1 (Anexo Tablas), se muestran en rojo los valores obtenidos del primer muestreo geoquímico hecho en el intrusivo mineralizado, mientras que en negro se reportan los resultados de los análisis efectuados en las brechas pegmatitas de cuarzo.

Como se puede constatar en los resultados de la geoquímica de la pegmatita de cuarzo, los valores de Fe no superan el 0.65%, atribuibles a la contaminación superficial representada por limonitas que rellenan fracturas y se presentan en patinas. Además, los valores de elementos mayores (Al, Ti, Ca, Na, P, K y Mg), no superan el 0.5% en suma total. Por otro lado los valores de As, Sb y Pb, elementos contaminantes, no son detectados.

Una vez confirmada la geoquímica de los cuerpos de cuarzo de la zona, se realizó una nueva campaña con una geoquímica orientada al muestreo de dos cuerpos de importancia, la brecha pegmatítica rica en cuarzo y el intrusivo félsico. Se recolectaron 88 muestras a las cuales se les realizó un análisis por digestión total y análisis mediante los métodos ICP-AES y AAS, reportando los resultados que se muestran en la tabla 2 (Anexo Tablas).

Las muestras que se encuentran en rojo en la tabla 2 (Anexo Tablas), corresponden al intrusivo mineralizado ubicado en la zona de estudio, mientras que las muestras de la brecha ígnea pegmatítica se presentan en color negro.

Haciendo un análisis general de ambas campañas geoquímicas y tomando en cuenta un total de 98 muestras, de las cuales 66 corresponden a muestras de la brecha rica en cuarzo, se determina que esta la suma de todos los elementos contaminantes no superan el 1% de la muestra, lo que permite **suponer** una gran pureza y calidad, presentando condiciones más que optimas para abastecer a la industria del silicio metálico metalúrgico, debido a que no presenta cantidades importantes de elementos pesados, no supera el 0.6% promedio de Fe (que claramente disminuye en profundidad), y en cuanto a los álcalis, no supera al 0.5%.

Para el análisis estadístico de los elementos mayores sólo se consideró la Tabla 2 (Anexo Tablas), debido a que presenta una cantidad mayor de muestras que pueden representar de mejor manera la geoquímica del Prospecto.

Los elementos mayores a considerar en este análisis son Fe, Ca, Al, Mg, K y Na, elementos que en suma no pueden superar el 1%.

Se debe tener en cuenta, que el límite inferior de calidad para el cuarzo utilizado en la fabricación de silicio metálico metalúrgico (de 99% de Si) es de 98.5% de SiO<sub>2</sub>.

Para nuestro análisis solo se consideraron las muestras que corresponden a la Brecha Ígnea Pegmatítica rica en cuarzo. Los valores de contenidos de estos elementos se reportan en las figuras 1,2,3,4,5 y 6 (Anexo Geoquímica de Elementos Mayores).

Para el caso del contenido de Fe podemos ver en la Tabla 3 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.5033, con una varianza de 0.0229 y una desviación estándar de 0.1513.

Para el caso del contenido de Ca podemos ver en la Tabla 4 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.0315, con una varianza de 0.0029 y una desviación estándar de 0.0540.

Para el caso del contenido de Al podemos ver en la Tabla 5 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.0484, con una varianza de 0.0027 y una desviación estándar de 0.0519.

Para el caso del contenido de Mg podemos ver en la Tabla 6 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.0159, con una varianza de 0.0001 y una desviación estándar de 0.0131.

Para el caso del contenido de K podemos ver en la Tabla 7 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.0174, con una varianza de 0.0004 y una desviación estándar de 0.0220.

Para el caso del contenido de Na podemos ver en la Tabla 8 (Anexo Tablas), que el promedio fue de 0.0111, con una varianza de 2.1E-05 y una desviación estándar de 0.0045.

Para el análisis de control de calidad, lamentablemente no existen duplicados para ver la precisión del análisis.

Como se puede ver, los promedios sumados de cada elemento no superan el 1% de la muestra. Ahora, si vemos la varianza para cada elemento podremos darnos cuenta que los valores no se alejan considerablemente del promedio y no tienen gran incidencia en la sensibilidad de la calidad del producto.

Tomando en cuenta la desviación estándar de cada elemento, podemos darnos cuenta que el análisis se hace más sensible al combinar las variables, pero de todas maneras no sobrepasa el límite inferior requerido de contenido de estos elementos.

### **3.3.5 Geología Estructural**

Durante diferentes campañas de terreno que se efectuaron a la zona y a trabajos de interpretación con fotografías aéreas e imágenes satelitales, se determinó que las estructuras mayores tienen una orientación preferencial NS (distritalmente), con variaciones hacia el Este (zona de este estudio) y en menor medida al Oeste (figura 10). Además existe un arreglo de fallas secundarias con una orientación WNW, correspondientes a estructuras extensionales las que segmentan el bloque principal. Indicadores cinemáticos y geometría de estructuras sugieren fallas de rumbo dextrales y en menor medida a fallas normales.

La estructura principal de la zona de estudio que llamaremos Falla Quilitapia-Chipel (este trabajo), presenta una orientación preferencial NNE y restringe los afloramientos de la brecha pegmatítica rica en cuarzo al cruce de estas estructuras con estructuras secundarias de orientación WNW (Figura 10).

La falla Quilitapia-Chipel, tiene una extensión reconocida de 10 km y se encuentra representada en el área por el cauce del drenaje principal del sector. Probablemente esta falla corresponda a una falla extensional, debido a que se ubica entre dos fallas mayores y paralelas de orientación aproximada NS.

### MAPA ESTRUCTURAL DE CERRO BLANCO

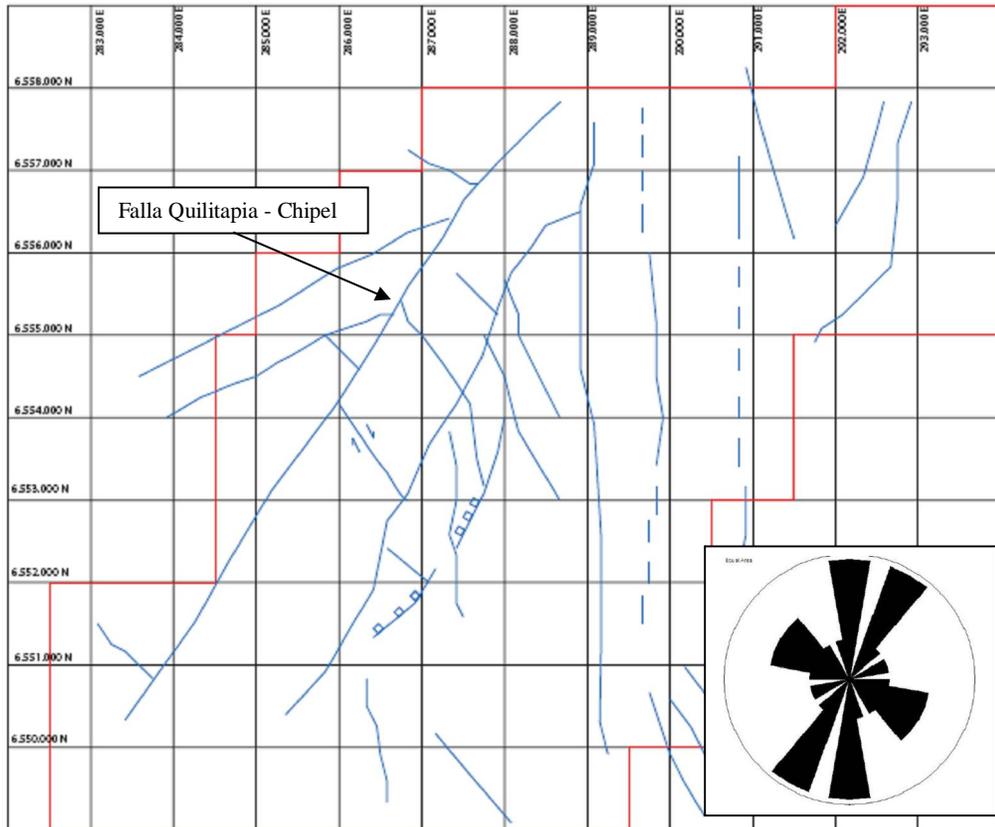


Figura 10. Mapa Estructural de Cerro Blanco. En la figura podemos ver el comportamiento estructural del área de estudio. Claramente se puede apreciar la Falla Quilitapia – Chipel con orientación principal NNE. También se pueden apreciar estructuras principales NS y secundarias WNW. Por otro lado también podemos ver el diagrama de roseta en el costado inferior derecho.

## **V. Prefactibilidad Comercial**

### **5.1 Estudio del Mercado Nacional del Cuarzo**

#### **5.1.1 Usos y Propiedades**

El **cuarzo** es un mineral compuesto por silicio y oxígeno en proporción de uno a dos ( $\text{SiO}_2$ ). Este mineral es uno de los más comunes en la tierra y representa un 12% del total de la corteza terrestre. Perteneció a la clase de los silicatos y al sistema cristalino trigonal. Este mineral es muy rico en variedades, los que se pueden agrupar en macrocristalinas, con cristales bien visibles a simple vista, y criptocristalinas, formada por cristales microscópicos. Al primer grupo pertenece el cuarzo puro (hialino o cristal de roca), incoloro y transparente, y variedades que presentan diversas coloraciones: violeta (cuarzo amatista), parda (ahumado), negra (morión) y amarillo (citrino). El segundo grupo incluye variedades importantes como calcedonia, jaspe y sílex, que comprenden diversas subvariedades.

Es un mineral frágil, duro (7 de la escala de Mohs) y sumamente estable en condiciones de superficie, e interviene en la composición de numerosas rocas ígneas intrusivas y efusivas; también en pegmatitas graníticas, como ganga en filones metalíferos y en rocas metamórficas y sedimentarias.

Dentro de los usos que presenta el cuarzo a nivel nacional, se encuentran su utilización en la industria minera (como fundente en la metalurgia del cobre), fabricación de vidrios y elaboración de abrasivos.

#### **Cuarzo para Fundición**

Para el caso de las fundiciones, el cuarzo se emplea de dos maneras. La primera de ellas consiste en bajar el punto de fusión de la mezcla y la segunda, consiste en captar el hierro contenido en los minerales fundidos y concentrarlos en la parte más liviana de la mezcla.

#### **Cuarzo para Fabricación de Vidrios**

El proceso de elaboración del vidrio consiste en fundir en un horno una mezcla de arenas silíceas o cuarzo molido (principal componente), carbonato o sulfato de sodio (para fundir a menor temperatura) y piedra caliza (para que el cristal no se descomponga en el agua), a

temperaturas entre los 1500°C y 2000°C. Luego este fundido es recepcionado por un depósito de estaño a 1000°C, donde se comienza a enfriar el fundido, quedando pegajoso y viscoso. Este fundido plástico es calentado en otro horno que tiene el objetivo de evitar el agrietamiento una vez que se deje enfriar.

### **Cuarzo para Fabricación de Abrasivos**

Debido a su alta resistencia a la abrasión, las finas partículas de cuarzo son usadas como abrasivo para pulimentar superficies metálicas en la industria de los abrasivos.

### **5.1.2 Yacimientos en Chile**

En Chile, existen varios depósitos de cuarzo que actualmente se encuentran en operación, destinados principalmente a las fundiciones de cobre, fabricación de vidrio y abrasivos. Estos depósitos se extienden por todo el territorio nacional y se presentan en bolsonadas pegmatíticas y como cuerpos tipo veta, generalmente en la franja del Cretácico exhibiendo volúmenes pequeños que no superan el medio millón de toneladas y que presentan altas leyes de SiO<sub>2</sub> (Figura 11).



**Figura 11. Ubicación de los principales depósitos de cuarzo en Chile.**

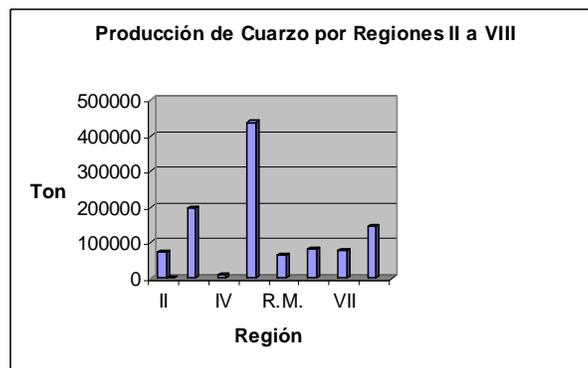
### 5.1.3 Productores Nacionales.

Los productores de Cuarzo en Chile, están representados por pequeños y medianos mineros que ubican sus faenas en los alrededores de las principales fundiciones del país. A continuación se presentan los principales productores de cuarzo que trabajan con los distintos mercados del país (Tabla 2).

**Tabla 2. Principales productores de cuarzo que trabajan con las principales fundiciones del país. Fuente: CODELCO.**

Productores	Ciudad
Cedric Fernandez B.	Calama
Soc. Legal Minera Pedro Luis 1/10	Chañaral
Antonio Zotti R.	Santiago
Mra. Alfa Quintay	Santiago
Minera San Pedro	Santiago
S.L.M. Santa Dorila	Santiago
Codelco, División El Teniente	Rancagua
Vidrios Lirquén S.A.	Lirquén
Andres Pirazzoli y Cía. Ltda.	Santiago
Minera Arcil S.A.	Arauco
Cristalerías Toro	Santiago
Minera Granos Ind. Ltda.	Cartagena
Productora de Cuarzo El Peral Ltda.	Cartagena

En el siguiente cuadro, se muestra la producción de cuarzo del año 2004 por regiones (Figura 12).



**Figura 12. Producción de cuarzo por regiones año 2004. Fuente Compenio de la Minería Chilena año 2004.**

En el cuadro anterior, se puede apreciar que en las regiones donde se ubican los principales centros industriales del país, se concentra la producción de cuarzo.

Además, se reconoce un aumento sostenido en la producción anual de cuarzo en Chile (Figura 13).



Figura 13. Producción de cuarzo de los últimos 12 años en Chile. Fuente: Compendio de la Minería Chilena año 2006.

En la figura anterior, se puede apreciar un aumento sostenido de la producción de cuarzo nacional, todo esto impulsado por el gran auge que goza la gran minería del cobre. En ella podemos ver que la producción del año 2004 fue de 1.085.412 toneladas, mientras que en el año 2005 fue de 1.151.443 toneladas, lo que representa un aumento del 6%. Ahora si comparamos entre el año 1995, donde la producción fue de 597.056 y el año 2005, veremos que el aumento en la producción fue de un 48% aproximadamente, es decir, casi el doble en 10 años.

### 5.1.4 Consumidores Nacionales

Los Principales consumidores de cuarzo del país, son las fundiciones de la gran minería del cobre, la industria del vidrio y la industria de los abrasivos. El mercado del cuarzo en Chile, se reparte de la siguiente manera (Figura 14):

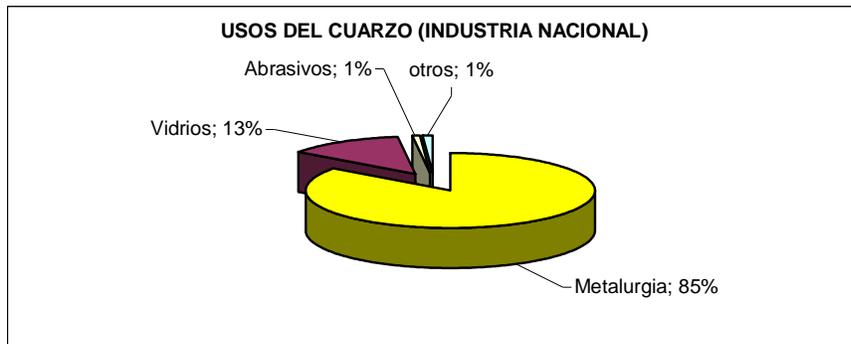


Figura 14. Mercado Nacional del Cuarzo. Fuente: Compendio de la Minería Chilena año 2006.

Donde la Minería representa un 85% del consumo total, con alrededor de 985.000 Toneladas al año y donde el mercado del vidrio consume un 13% de la producción total de cuarzo (arenas silíceas y cuarzo) con 150.000 Toneladas por año.

En el caso de las fundiciones del país, el mercado del cuarzo se reparte de la siguiente forma (Figura 15):

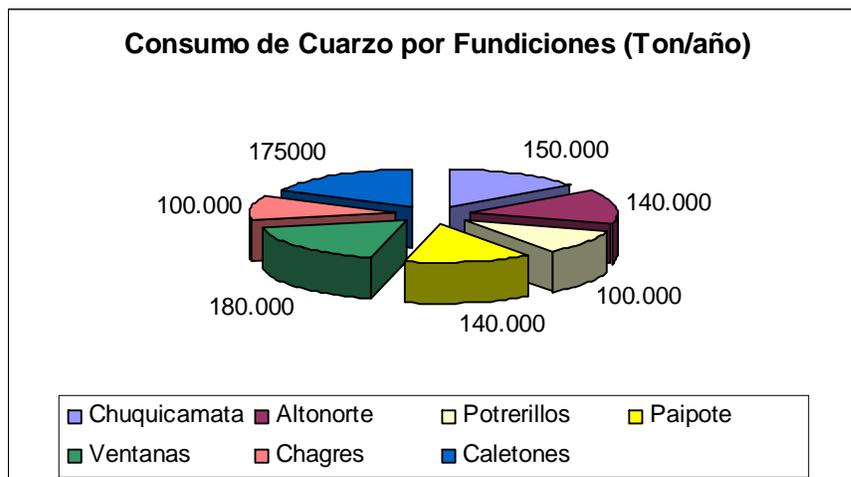


Figura 15. Consumo de Cuarzo por fundiciones. Fuente: CODELCO.

En el cuadro anterior, se puede apreciar que el mayor consumidor es CODELCO, que tiene 4 fundiciones y consume un 62% de la producción total de cuarzo, destinada al uso de cuarzo como fundente en la gran minería.

En el caso de la Industria del Vidrio en Chile, esta se orienta a la fabricación de envases preferentemente, y se reparte de la siguiente manera (Figura 16):

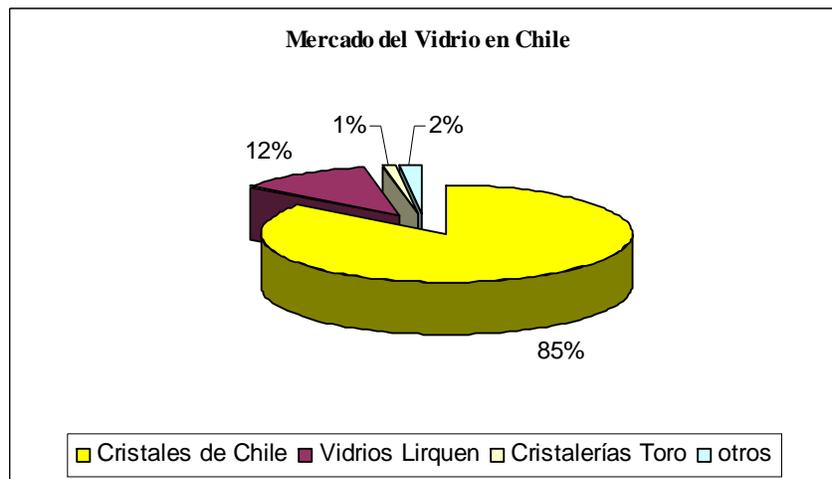


Figura 16. Consumo de cuarzo y arenas silíceas por la industria del vidrio en Chile. Fuente: Banchile Corredores de Bolsa S.A. año 2005.

El volumen de consumo anual bordea las 150.000 toneladas y el principal consumidor es Cristales de Chile con un 85% de participación del mercado (orientado principalmente a embotelladoras), seguido por Vidrios Lirquén con una participación de un 12% del mercado. (En este análisis, no se consideró el consumo de las nuevas inversiones de Cristales de Chile, en la quinta región).

## **5.2 Estudio del Mercado Internacional del Silicio Metálico.**

### **5.2.1 Usos y Propiedades**

El silicio es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Su símbolo químico es Si y su número atómico es el 14. Se sitúa en el grupo 4 de la tabla periódica de elementos químicos y forma parte del grupo de los carbonoides.

Por lo regular, es tetravalente en sus compuestos, aunque algunas veces es divalente, y es netamente electropositivo en su comportamiento químico. El silicio natural contiene 92.2% del isótopo de masa número 28, 4.7% de silicio-29 y 3.1% de silicio-30. Además de estos isótopos naturales estables, se conocen varios isótopos radiactivos artificiales.

El silicio elemental tiene las propiedades físicas de los metaloides, parecidas a las del germanio, situado debajo de él en el grupo IV de la tabla periódica. En su forma más pura, el silicio es un semiconductor intrínseco, aunque la intensidad de su conducción se ve enormemente incrementada al introducir pequeñas cantidades de impurezas. El silicio se parece a los metales en su comportamiento químico. Es casi tan electropositivo como el estaño y mucho más positivo que el germanio o el plomo. De acuerdo con este carácter más bien metálico, forma iones tetrapositivos y diversos compuestos covalentes; aparece como un ion negativo sólo en unos pocos siliciuros y como un constituyente positivo de oxiácidos o aniones complejos.

El silicio elemental crudo y sus compuestos intermetálicos se emplean como integrantes de aleaciones para dar mayor resistencia al aluminio, magnesio, cobre y otros metales. El silicio metalúrgico con pureza del 98-99% se utiliza como materia prima en la manufactura de compuestos organosilícicos y resinas de silicona, elastómeros y aceites. Los chips de silicio se emplean en circuitos integrados. Las células fotovoltaicas para la conversión directa de energía solar en eléctrica utilizan obleas cortadas de cristales simples de silicio de grado electrónico. El dióxido de silicio se emplea como materia prima para producir silicio elemental y carburo de silicio. Los cristales grandes de silicio se utilizan para cristales piezoeléctricos.

## 5.2.2 Ventajas del Negocio en el Ámbito Internacional.

En la actualidad, Chile goza de una posición cada vez más favorable para sus exportaciones. Esto se debe, a que nuestro país ha efectuado una política de apertura comercial, firmando una gran cantidad de Acuerdos de Libre Comercio con los Mercados más importantes del Mundo (Tabla 3).

Gracias a la firma de estos acuerdos, nuestros productos y materias primas, gozan de garantías arancelarias para internarse en los principales mercados mundiales, lo que permite suponer condiciones favorables con respecto a las exportaciones de nuestros vecinos como Argentina, Brasil o Venezuela.

**Tabla 3. Acuerdos de Libre comercio firmados por Chile. Fuente: DIRECON**

Acuerdos de Libre Comercio			
País o Grupo de Países	Tipo de Acuerdo	Fecha Firma	Entrada en Vigencia
P-4 (1)	Acuerdo de Asociación Económica	18 de julio de 2005	08 de noviembre de 2006
Unión Europea (2)	Acuerdo de Asociación Económica	18 de noviembre de 2002	01 de febrero de 2003
Canadá	Tratado de Libre Comercio	05 de diciembre de 1996	05 de julio de 1997
Corea	Tratado de Libre Comercio	15 de febrero de 2003	01 de abril de 2004
China	Tratado de Libre Comercio	18 de noviembre de 2005	01 de octubre de 2006
Costa Rica (TLC Chile - Centroamérica)	Tratado de Libre Comercio	18 de octubre de 1999	14 de febrero de 2002 (Protocolo Bilateral)
El Salvador (TLC Chile Centroamérica)	Tratado de Libre Comercio	18 de octubre de 1999	03 de junio de 2002 (Protocolo Bilateral)
Guatemala (TLC Chile-Centroamérica)	Tratado de Libre Comercio	18 de octubre de 1999	Bilateral en negociación
Honduras (TLC Chile-Centroamérica)	Tratado de Libre Comercio	18 de octubre de 1999	Falta concluir tramitación parlamentaria
Nicaragua (TLC Chile-Centroamérica)	Tratado de Libre Comercio	18 de octubre de 1999	Bilateral en negociación
Estados Unidos	Tratado de Libre Comercio	06 de junio de 2003	01 de enero de 2004
México	Tratado de Libre Comercio	17 de abril de 1998	01 de agosto de 1999
EFTA (3)	Tratado de Libre Comercio	26 de junio de 2003	01 de diciembre de 2004
Panamá	Tratado de Libre Comercio	27 de junio de 2006	Falta concluir tramitación parlamentaria
Colombia	Tratado de Libre Comercio	27 de noviembre de 2006	Falta concluir tramitación parlamentaria
Perú	Tratado de Libre Comercio	22 de agosto de 2006	Falta concluir tramitación parlamentaria
Ecuador	Acuerdo de Complementación Económica N° 32	20 de diciembre de 1994	01 de enero de 1995
Mercosur (4)	Acuerdo de Complementación Económica N° 35	25 de junio de 1996	01 de octubre de 1996
Bolivia	Acuerdo de Complementación Económica N° 22	06 de abril de 1993	07 de julio de 1993
Venezuela	Acuerdo de Complementación Económica N° 23	02 de abril de 1993	01 de julio de 1993
India	Acuerdo de Alcance Parcial	8 de marzo de 2006	Falta tramitación parlamentaria
Cuba	Acuerdo de Alcance Parial	21 de agosto de 1998 (5)	Falta tramitación parlamentaria
(1) Pacífico-4, integrado por Chile, Nueva Zelanda, Singapur y Burnei Darussalam.			
(2) Los países miembros de la Unión Europea son: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Italia, Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia y desde el 1° de Mayo de 2004, los 10 nuevos países miembros son: Chipre, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Hungría, Letonia, Malta, Polonia y República Checa.			
(3) La Asociación Europea de Libre Comercio (EFTA) Está integrada por: Islandia, Liechtenstein, Noruega y Suiza.			
(4) El Mercado Común del Sur está integrado por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Chile participa como país asociado.			
(5) La Fecha sólo se refiere al cierre de las negociaciones.			

Los mercados más importantes del mundo son actualmente Norteamérica (principal socio comercial de Chile), Europa, China (segundo socio comercial de Chile) y potencialmente India. Para ello nuestro país ya ha tomado ciertas medidas y ha impulsado el intercambio comercial. Si se considera que estos mercados ven en el corto y mediano plazo a América Latina como abastecedora de materias primas necesarias para el desarrollo de sus economías, debemos imaginar que existe un gran potencial para el perfeccionamiento de políticas que apunten a generar una estrategia de negocios entre América Latina y especialmente Chile, con los principales mercados mundiales.

Ahora bien, las proyecciones de crecimiento para las principales economías mundiales, nos dicen que la gran mayoría de estas economías, mantendrá sus niveles de crecimiento para los años venideros. Con esto, la industria chilena y latinoamericana ven una solidez, al menos de corto y mediano plazo, para invertir en el desarrollo de nuevos requerimientos del mercado (Tabla 4).

**Tabla 4. Proyección de Crecimiento de Los Principales Mercados Mundiales. Fuente: DIRECON.**

	Promedio 1989-98	2002	2003	2004	2005	2006	2007 a	2007 b	2008 a	2008 b
<b>Mundial</b>	3.2	3.1	4.0	5.3	4.8	5.4	5.2	5.1	4.8	5.1
<b>Estados Unidos</b>	3.0	1.6	2.5	3.6	3.1	2.9	1.9	1.9	1.9	2.6
<b>Area del Euro</b>		0.9	0.8	2.0	1.5	2.8	2.5	2.7	2.1	2.3
<b>Japón</b>	2.0	0.3	1.4	2.7	1.9	2.2	2.0	2.4	1.7	2.1
<b>China</b>	9.6	9.1	10.0	10.1	10.4	11.1	11.5	11.3	10.0	10.6
<b>India</b>	5.7	4.3	7.3	7.8	9.0	9.7	8.9	n.d.	8.4	n.d.
<b>Asia</b>										
<b>Industrializada</b>	6.1	5.5	3.2	5.9	4.7	5.3	4.9	5.2	4.4	5.4
<b>Asia Emergente</b>	7.3	7.0	8.3	8.8	9.2	9.8	9.8	n.d.	8.8	n.d.
<b>América Latina</b>	3.1	0.3	2.4	6.0	4.6	5.5	4.9	5.0	4.2	4.4

Brasil es el principal productor de silicio metálico y ferrosilicio del mundo (2.000.000 Toneladas anuales), siendo el principal exportador de silicio metálico al mercado Norteamericano, y ubicándose dentro de los principales exportadores a Europa y Asia (Fuente: U.S. Geological Survey, 2005).

Un estudio realizado por el Laboratorio de Ciclo Integrado de Cuarzo de Brasil (Suzuki et al., 2007), sobre el escenario actual de la fabricación de silicio metálico en este país, hizo hincapié en que a los volúmenes actuales de producción, el cuarzo de alta pureza (superior a 98.5% SiO<sub>2</sub>), se agotaría en 15 o 20 años más (a partir de las reservas conocidas). Este mismo estudio reporto además, que los demás países productores de silicio metálico viven

condiciones similares. Todo lo anterior, motivo la necesidad de buscar nuevas fuentes de materias primas para la producción de silicio metálico, por lo que se comenzó a estudiar la posibilidad de producir un material de menor calidad en base a cuarcitas y depósitos pegmatíticos de cuarzo, que presentan leyes de menor calidad.

Un análisis simple del negocio del silicio metálico a nivel internacional, nos habla de un desabastecimiento de materias primas de alta calidad por parte del principal productor de silicio metálico del mundo (como es Brasil), situación más que favorable para las intenciones de este trabajo. A partir de lo anteriormente señalado, se debe hacer hincapié en las ventajas que se presentan para la fabricación de silicio metálico en Chile. Las ventajas que se pueden mencionar son la gran cantidad de depósitos de cuarzo de alta ley que existen en nuestro país, fácil acceso a carbón vegetal, cercanías a puertos de embarque, buenos caminos, y sobretodo, una política de intercambio, que ha preparado el camino para realizar este tipo de negocios.

### 5.2.3 Productores Mundiales.

Dentro de los principales países productores de silicio metálico (Figura 17), se encuentran Brasil (principal productor mundial), EEUU, China, Noruega, Canadá y Rusia, mientras que en menor medida se presentan España (con una industria en alza con inversiones en Asia), Sudáfrica, Francia, Filipinas, Bélgica, México, Argentina, Kazajstán, Alemania, India, Japón, Holanda, Ucrania, Eslovenia y Venezuela. La gran mayoría de estos países, destina este producto hacia los tres principales mercados mundiales como son el Mercado Norteamericano, la Comunidad Europea y la República China, quienes consumen más del 90% de la producción mundial del silicio metálico.

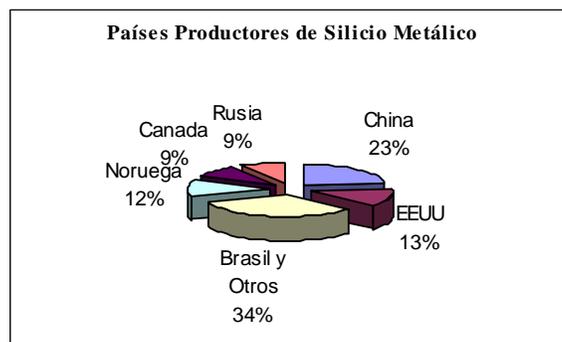
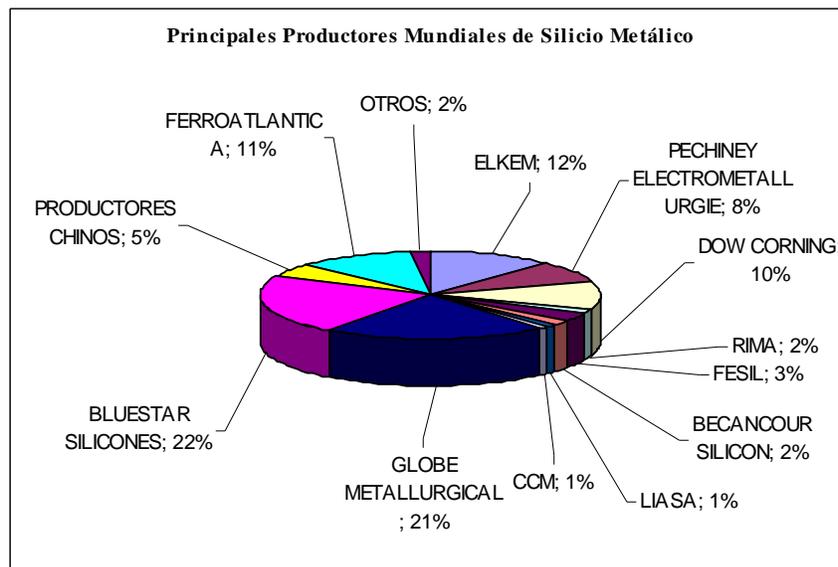


Figura 17. Países productores de silicio metálico. Fuente: Pechiney Electrometallurgie.

Esta producción está representada por alrededor de 12 compañías (Tabla 5; Figura 18), quienes comercializan este producto y se concentran en los países con mayores reservas de cuarzo.

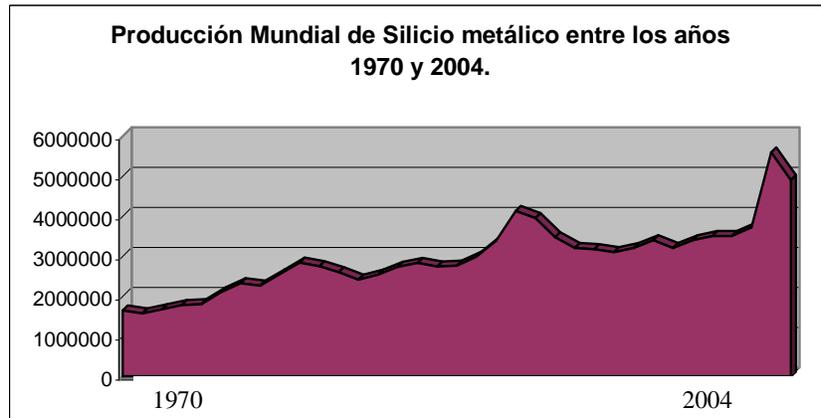
**Tabla 5. Principales empresas productoras de silicio metálico. Fuente: Ferroatlántica.**

Principales Productores Mundiales de Silicio Metálico		
Compañía	País	Participación del Mercado
ELKEM	Noruega-EEUU	12%
PECHINEY ELECTROMETALLURGIE	Francia-Sudáfrica	8%
DOW CORNING	Brasil-EEUU	10%
RIMA	Brasil	2%
FESIL	Noruega	3%
BECANCOUR SILICON	Canadá	2%
LIASA	Brasil	1%
CCM	Brasil	1%
GLOBE METALLURGICAL	EEUU	21%
BLUESTAR SILICONES	China	22%
PRODUCTORES CHINOS	China	5%
FERROATLANTICA	España-Venezuela	11%
OTROS	otros	2%
PRODUCCION MUNDIAL		100%



**Figura 18. Principales Productores mundiales de silicio metálico. Fuente: Ferroatlántica y Pechiney Electrometallurgie.**

Entre los años 1970 y 2004, la producción mundial de silicio metálico creció constantemente, llegando a superar los 5.000.000 de toneladas métricas anuales.



**Figura 19. Producción mundial de silicio metálico entre los años 1970 y 2004. Fuente: U.S. Geological Survey año 2006.**

(\*) En la figura no se considera la producción de silicio metálico de China.

En la figura 19 se puede apreciar que la producción de silicio metálico ha ido creciendo debido a un aumento sostenido en el consumo mundial y se estima que seguirá aumentando aún más. Esta estimación, se debe a que existe en el mercado mundial una necesidad de dar un vuelco hacia energías limpias. Una de ellas es la energía solar fotovoltaica.

#### **5.2.4 Consumidores Internacionales.**

Los principales mercados consumidores de silicio metálico son el mercado Norteamericano, Europeo y Chino, con un crecimiento importante del mercado Japonés (para este estudio, consideraremos solo los mercados Norteamericano y Europeo, debido a que los mercados Chinos y Japonés, se autoabastecen).

##### **Mercado Norteamericano**

El consumo norteamericano de silicio metálico en los últimos años, se ha mantenido de manera constante, fluctuando entre las 600.000 y 500.000 toneladas métricas anuales. Lo atractivo del mercado norteamericano, es que su producción interna en los últimos 30 años, ha caído aproximadamente en un 50% (Figura 20), favorecida por las importaciones que se han quintuplicado y siguen en aumento (Figura 21).

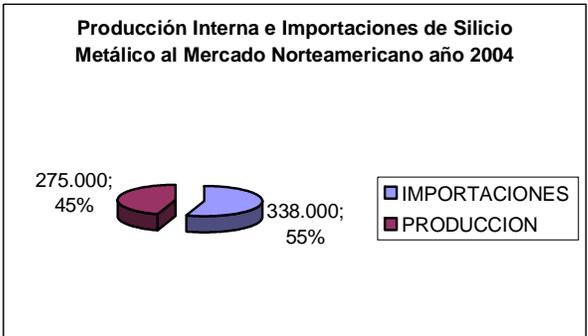
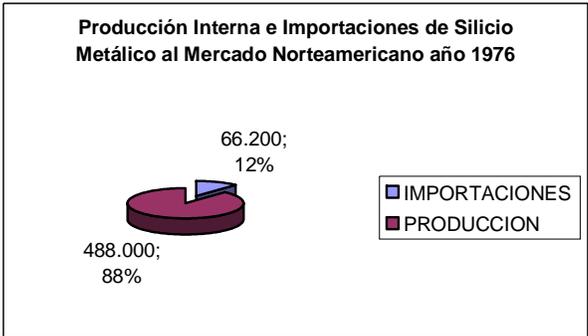


Figura 20. Producción interna e importaciones de silicio metálico a Norteamérica en los años 1976 (arriba) y 2004 (abajo).

(\*) En este análisis se agrupó el silicio metalúrgico, silicio ultrapuro y Ferrosilicio.  
 (\*) El silicio metálico corresponde a un 46% del total de productos derivados del silicio.

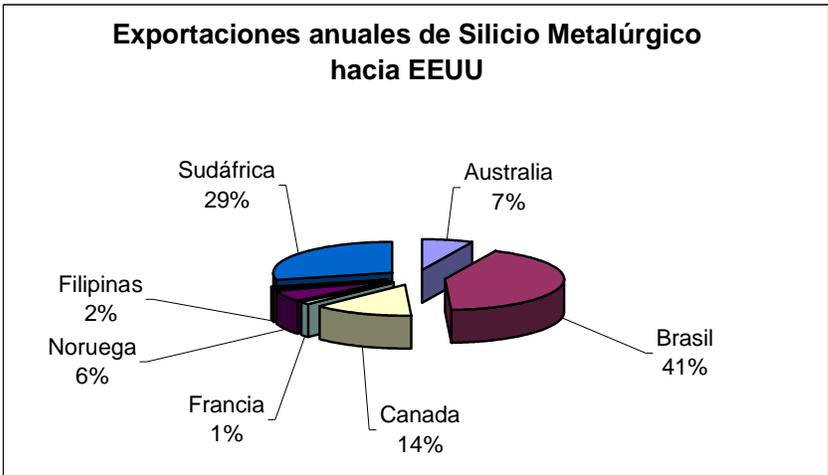


Figura 21. Exportaciones anuales de silicio metalúrgico hacia EEUU. Fuente: U. S. Geological Survey.

Tabla 6. Principales Exportaciones de Silicio Metálico Metalúrgico a EEUU. Año 2005.

Principales Exportaciones de Silicio Metalúrgico anual a EEUU, año 2005.		
País	Toneladas métricas	Valor US\$
Australia	8.330	14.200.000
Brasil	51.500	71.500.000
Canadá	16.800	27.100.000
Francia	1.560	2.140.000
Noruega	7.010	15.500.000
Filipinas	1.850	2.680.000
Sudáfrica	34.800	52.300.000

Fuente: U. S. Geological Survey

(\*) En la tabla, se muestra la cantidad de silicio metálico Metalúrgico por si solo, sin considerar el silicio ultrapuro ni el ferrosilicio.

En la Figura 18 y en la tabla 6, se muestran las principales importaciones realizadas por EEUU. En estas se puede apreciar que sólo Brasil representa más del 40% de las importaciones totales de silicio metalúrgico que llega a Norteamérica.

En la tabla 7, se puede visualizar el mercado Norteamericano de los últimos 30 años, con producciones, importaciones, consumo del mercado interno y producción mundial. Importante es hacer el análisis de la variación en los precios en los últimos 5 años.

Tabla 7. Estadísticas del mercado del silicio metálico en Norteamérica.

SILICON STATISTICS<sup>1</sup>  
U.S. GEOLOGICAL SURVEY  
[All values in metric tons (t) silicon unless otherwise noted]  
Last modification: October 12, 2006

Year	Production	Shipments	Imports	Exports	Stocks	Apparent consumption	Unit value (\$/t)	Unit value (98\$/t)	World production
1974	534,000	440,000	90,000	6,350	104,000	610,000	851	2,810	1,800,000
1975	429,000	341,000	46,000	17,200	108,000	458,000	658	1,990	2,100,000
1976	488,000	447,000	66,200	5,440	109,000	548,000	811	2,320	2,320,000
1977	488,000	444,000	92,500	4,540	106,000	579,000	832	2,240	2,260,000
1978	493,000	459,000	110,000	9,980	103,000	596,000	730	1,830	2,350,000
1979	560,000	479,000	92,500	14,500	93,400	647,000	824	1,850	2,840,000
1980	438,000	381,000	61,700	25,400	92,500	475,000	942	1,860	2,750,000
1981	432,000	357,000	126,000	15,400	113,000	522,000	972	1,740	2,600,000
1982	253,000	237,000	70,800	9,070	98,900	329,000	965	1,630	2,410,000
1983	302,000	285,000	121,000	8,160	78,000	435,000	871	1,430	2,540,000
1984	412,000	371,000	110,000	18,100	81,600	500,000	924	1,450	2,730,000
1985	363,000	305,000	140,000	8,160	92,500	484,000	928	1,410	2,830,000
1986	304,000	289,000	173,000	10,000	65,000	478,000	967	1,440	2,740,000
1987	338,000	309,000	171,000	15,000	52,000	507,000	1,040	1,490	2,760,000
1988	420,000	373,000	192,000	24,000	45,000	595,000	1,350	1,870	2,990,000
1989	439,000	368,000	157,000	32,000	61,000	548,000	1,210	1,590	3,380,000
1990	418,000	356,000	217,000	36,000	72,000	588,000	1,060	1,330	4,130,000
1991	363,000	335,000	164,000	35,000	64,000	500,000	1,090	1,300	3,950,000
1992	370,000	349,000	193,000	38,000	57,000	532,000	1,040	1,210	3,470,000
1993	367,000	345,000	212,000	31,000	48,000	557,000	1,140	1,280	3,200,000
1994	390,000	355,000	255,000	32,000	45,000	616,000	1,120	1,230	3,170,000
1995	396,000	368,000	250,000	47,000	35,000	609,000	1,380	1,470	3,100,000
1996	412,000	378,000	227,000	44,000	35,000	594,000	1,680	1,750	3,200,000
1997	430,000	384,000	256,000	50,000	44,000	628,000	1,520	1,550	3,400,000
1998	429,000	380,000	241,000	47,000	50,000	616,000	1,360	1,360	3,200,000
1999	423,000	379,000	286,000	61,000	54,000	643,000	1,230	1,200	3,400,000
2000	367,000	320,000	361,000	40,900	52,400	689,000	1,140	1,080	3,500,000
2001	282,000	250,000	231,000	22,900	40,600	502,000	1,140	1,050	3,500,000
2002	261,000	232,000	285,000	21,600	25,100	541,000	1,120	1,010	3,720,000
2003	253,000	255,000	315,000	26,200	22,500	544,000	1,240	1,100	5,590,000
2004	273,000	252,000	338,000	24,900	22,300	594,000	1,530	1,320	4,900,000

## Mercado Europeo

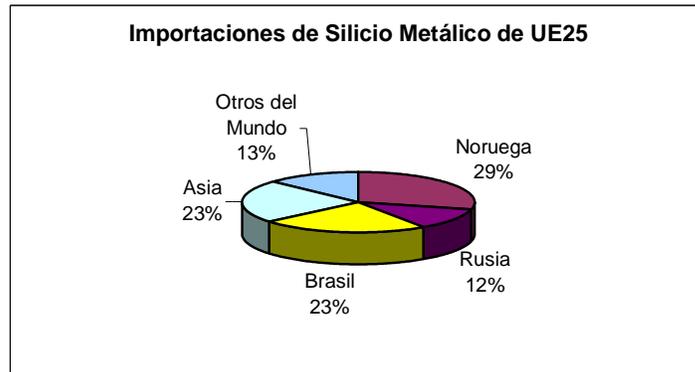
El Mercado Europeo (UE-25) del silicio metálico ha desarrollado una industria donde su producción interna no satisface el consumo interno. Por lo cual debe importar más del 70% del silicio metálico ocupado en su industria. Los principales países exportadores de silicio metálico hacia Europa son: Noruega, China, Rusia y Brasil.

En la tabla 8, se indica la participación que tienen las empresas productoras de silicio metálico más importantes del mundo.

**Tabla 8. Principales Empresas de Silicio Metálico en el Mercado Europeo.**

<b>Principales Productores de la Comunidad Europea (UE25)</b>		
<b>Compañía</b>	<b>País</b>	<b>Participación del Mercado</b>
FERROATLANTICA	España	10%
PECHINEY ELECTROMETALLURGIE	Francia	10%
Otros Productores de UE25	Otros	10%
<b>Peroduccin Total UE25</b>		<b>30%</b>
<b>Exportaciones de UE25 a Otros Continentes</b>		<b>10%</b>
<b>Importaciones hacia UE25:</b>		<b>70%</b>
ELKEM	Noruega	22%
FESIL	Noruega	10%
RIMA	Brasil	2%
LIASA	Brasil	1%
CBCC	Brasil	10%
BLUESTAR y Otros Productores Chinos	China	15%
Rusal y Sual	Rusia	8%
Otros	Otros	2%

El consumo anual de silicio metálico metalúrgico y ferrosilicio en Europa, alcanza a aproximadamente 2.500.000 Toneladas métricas, las que se destinan principalmente a la industria automotriz (aleaciones con aluminio) y a la confección de siliconas. De este total, un 40% corresponde a silicio metálico (un millón de toneladas).



**Figura 22. Importaciones de Silicio metálico a Europa. En el gráfico se puede ver la participación del Mercado Europeo que presentan los principales países productores de Silicio Metalúrgico (Fuente: Elkem).**

Como se puede apreciar en la figura 22, del total de importaciones de silicio metálico que llega a Europa, un 23% proviene desde Brasil (alrededor de 230.000 Ton). La fuerte y creciente demanda europea, da cuenta del potencial de negocios de este mercado para las aspiraciones chilenas.

## **VI. Prefactibilidad Legal**

### **6.1 Legislación Ambiental**

La normativa ambiental general está referida a los fundamentos del SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental) y al derecho constitucional que protege y resguarda un medio ambiente libre de contaminación (artículo 19, N°8 Constitución Política del Estado).

La normativa ambiental específica aplicable al proyecto expone un plan de cumplimiento exigido por el Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que aprueba el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de la Ley N° 19.300, es decir, la indicación de los antecedentes necesarios para determinar si el impacto ambiental que generará o presentará este proyecto se ajusta a las normas ambientales vigentes.

Adicional al SEIA se deberán considerar los permisos ambientales sectoriales contemplados en el título VII del reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que se refiere al proyecto en relación con el patrimonio económico y cultural del país.

### **6.2 Impacto Ambiental Estimado**

#### **Etapas de Construcción del Proyecto**

- Durante la etapa de construcción, de acuerdo con la DIA (Declaración de Impacto Ambiental), trabajarán hasta 40 personas relacionadas a empresas contratistas, las que dispondrán de baños químicos y de las correspondientes instalaciones (tipo “container”) para su alimentación y aseo personal, según lo reglamenta el Código Sanitario. En esta etapa la mantención de dichos baños e instalaciones serán responsabilidad de la consultora.
- Durante el montaje de la planta y sus instalaciones, se generarán residuos industriales como: despuntes de fierro y madera, restos sólidos de materiales de construcción, etc., los que serán almacenados en tambores y periódicamente transportados al vertedero municipal de Combarbalá.

- El agua potable, para uso de baños y aseo personal, se traerá desde Quilitapia en camiones aljibes adecuados, almacenada en estanques de fibra de vidrio sanitario y distribuido mediante cañerías de PVC.
- Los residuos domésticos como basura serán almacenados en tambores con tapa, para evitar la proliferación de moscas y roedores y periódicamente, cada 48 horas, serán transportados al vertedero municipal de Combarbalá.
- No se quemarán basuras o desechos de ningún tipo en el área de influencia del proyecto.

### **Etapas de Operación del Proyecto**

- La operación de extracción y posterior chancado y molienda de cuarzo, generará una cantidad significativa de polvo que pudiera ser relevante ambientalmente, para lo cual se requerirá de mascarillas adecuadas para los trabajadores para evitar daños ocasionados por la silicosis. Además, en la planta se instalará un filtro centralizado para control de polución, con el objetivo de disminuir al máximo el material particulado en suspensión.
- Este trabajo además, generará ruido debido a la perforación y tronaduras, todo esto acompañado de la presencia de equipos pesados, tanto de perforación como de transporte y arrastre. Estos ruidos no afectarán o no serán perceptibles desde ningún lugar poblado y serán emitidos sólo durante la jornada diurna normal de trabajo.
- Los efluentes líquidos derivados de la operación del proyecto, serán esencialmente las aguas servidas provenientes de baños químicos y aseo. Estos líquidos serán evacuados en una fosa séptica con pozo absorbente, según lo reglamente el código sanitario o las autoridades de salud. El abastecimiento del agua potable y su manejo se hará como ya se indicó. Las operaciones realizadas en la planta de chancado son esencialmente “secas”.
- Durante la operación del proyecto se generarán diariamente residuos sólidos permanentes, consistentes en guijarros, piedrecillas, arcillas e impurezas inherentes al cuarzo. Estos serán continuamente restituidos como relleno estéril a las zonas ya explotadas del yacimiento en donde serán reincorporados, naturalmente al terreno. En ningún caso se producirán apilamientos de residuos mineros o de otros residuos sólidos.

- En la primera etapa del proyecto se utilizará solo energía eléctrica. Para este efecto, el proyecto pretende conectarse a la red de alto voltaje que pasa entre Puerto Oscuro, Canela y Combarbalá.
- El proyecto, en su etapa de operación y producción de silicio metálico, generará emisiones de 4 Kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de silicio metálico producido (dentro de las normas).
- Una cantidad de aproximadamente el 15% del cuarzo, es descartado del proceso debido a impurezas (selección). Este cuarzo puede ser reocupado en otros procesos.
- Como consecuencia de la producción de silicio metálico, un 7% del silicio obtenido, es desechado como escoria. Este 7% corresponde a menos de 1000 toneladas anuales, las que serán depositadas en canchas de acopio.

### **6.3 Medidas de Monitoreo, Mitigación y Plan de Abandono**

#### **Medidas de Monitoreo**

Existirá un plan de monitoreo permanente, inicialmente certificado por algún organismo autónomo como universidad e instituto que posea las cualidades de ente fiscalizador. Estas medidas utilizan instrumentos para resguardar el cumplimiento de la normativa ambiental.

Los instrumentos principales para el monitoreo son:

#### **Estación Metereológica**

Para el registro estadístico y sistemático de: presión barométrica, humedad, punto de rocío, temperatura, velocidad y dirección del viento, lluvia y radiación solar. Se utilizará un equipo (ver descripción abajo), que sirve para monitorear las variables que puedan afectar al correcto funcionamiento del proyecto como cambios climáticos o viento que pudiera provocar polución en zonas aledañas al mineral de cuarzo.

Referencia Equipo de Medición: Cole-Parmer Internacional, U.S.A.

Catálogo 2003-2004; pp. 2094

Tag.: A-86403-12

### **Medidor de Nivel de Ruido**

Para el registro estadístico y sistemático del nivel de ruido en la planta, se ocupará el siguiente equipo:

Referencia: Cole-Parmer Internacional, U.S.A.  
Catálogo 2003-2004; pp. 1556  
Tag.: A-86414-01

### **Material Particulado en el Aire**

Para el registro estadístico y sistemático del nivel de material particulado en la planta se ocupará el siguiente equipo:

Referencia: Cole-Parmer Internacional, U.S.A.  
Catálogo 2003-2004; pp. 268  
Tag.: A-18460-30

### **Medidas de Mitigación**

- La modalidad de extracción utilizará perforación, tronadura y explosivos, como ya se explicó anteriormente. Para ello, se desarrollará un plan de desarrollo con la finalidad que estos trabajos sean realizados durante el día.
- Se planificará la construcción de caminos al interior del yacimiento seleccionando áreas de bajo riesgo erosivo y tratando de disminuir al máximo su extensión.
- Se restringirán los caminos al mínimo ancho requerido para la circulación segura de vehículos y maquinaria. Además, los caminos de tierra se regarán periódicamente con el objetivo de no levantar polvo debido el constante uso.
- Las emisiones particuladas estarán permanentemente controladas y, eventualmente, ajustadas a los criterios establecidos en la normativa vigente aprovechando las mediciones obtenidas mediante la aplicación del plan de monitoreo.
- Como medida mitigadora de la polución, se instalará un filtro centralizado para control de polución, con el objetivo de disminuir al máximo el material particulado en suspensión (molienda de cuarzo).

- Debido a la generación de CO<sub>2</sub>, se utilizará carbón vegetal que no interfiere mayormente en los procesos medio ambientales, ni afecta la normal fotosíntesis de la flora del sector. En este punto es necesario recalcar la posibilidad de comprar bonos por emisiones de carbón.
- Los desechos sólidos (cuarzo y escoria), serán ocupados para rellenar los laboreos dejados por la explotación.

### **Plan de Abandono**

Al finalizar la vida útil del proyecto se considera:

- Retirar construcciones, equipos y maquinarias del área de influencia del proyecto.
- Limpiar al máximo el área, de los vestigios de la actividad industrial realizada y/o materiales extraños a las características del yacimiento explotado.
- Los materiales extraños serán transportados al vertedero municipal de la ciudad de Combarbalá.
- El pozo séptico será sellado, según normativa sanitaria vigente.

### **6.4 Costo del EIA**

El costo de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), tiene un valor de mercado aproximado de US\$ 83.000. Para el caso de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), para poner en marcha este proyecto en su primera etapa (chancado y molienda), el costo se reduce a US\$ 32.000 aproximadamente (Fuente: BC&C; Prammar; Upgrade S.A., Arcadis; consultoras ambientales).

## VII. Prefactibilidad Técnica

### 7.1 Accesos

Para llegar al proyecto, existen dos alternativas (Figura 23), la primera de ellas consiste en tomar el camino que nace en la carretera Panamericana Norte (sector de Puerto Oscuro), y que lleva a la ciudad de Canela. Desde allí, se debe seguir hasta la ciudad de Combarbalá por unos 30 km, todo esto por carreteras asfaltadas y en muy buen estado, Desde esta última ciudad, se toma el camino que conduce a Punitaqui, y en el cruce con el camino que lleva a Quilitapia, se accede a un camino de tierra en buen estado que conduce a las propiedades de Cerro Blanco. El otro acceso, se realiza desde Ovalle, tomando el camino que une Punitaqui y Combarbalá. Por esta alternativa, también se accede al cruce con el camino que lleva a Quilitapia, y desde allí, se recorre el tramo descrito en el acceso anterior.



Figura 23. Mapa de accesos a Cerro Blanco. Fuente: Icarito, Diario La Tercera.

## **7.2 Descripción del Proceso de Extracción, Chancado y Molienda**

El cuarzo de Cerro Blanco se presenta en afloramientos de cuarzo masivos, en forma de bolsonadas que sobresalen de la topografía circundante y por otro lado, aflora también como una costra silíceo de gran extensión areal.

El producto deseado para la fabricación de silicio metálico, corresponde a un cuarzo de alta ley (>99%), con una granulometría que varía entre un ¼” y malla #100.

Para obtener este producto, es necesario contar con un adecuado método de extracción, el cual se describe a continuación (Figura 24).

### **Descapote**

Como primera etapa, se despeja la sobrecarga del área (descapote), mediante el uso de maquinaria pesada (cargador y Buldózer). El estéril es removido en camiones de 30 Toneladas y depositado transitoriamente en un lugar de acopio.

### **Perforación y Tronadura**

Una vez despejada el área, se requiere de un plan de Perforación y Tronadura. Este plan consiste en realizar un diagrama de disparo, que permita extraer 300 Toneladas por día de un mineral triturado con un tamaño no superior a los 30 cm. Para esta tarea, es necesario contar con un equipo de perforación que puede ser en un Jumbo o trackdrill.

### **Carguío y Transporte a Planta**

Para el carguío, es necesario contar con un cargador frontal (con capacidad de carga de tres metros cúbicos), que se encontrará en la faena y que se encargará de las limpiezas de frente y carguío del mineral triturado y acopiado. Este mineral, será transportado a su vez, en camiones de 30 Toneladas, que serán los encargados de llevar el mineral a la planta de Chancado y Molienda distante a no más de 3 Km.

## **Chancado**

El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría muy gruesa (bloques de 10-50 cm), por lo que el objetivo del chancado es reducir el tamaño de los fragmentos hasta obtener un tamaño uniforme menor a 1/4" (un cuarto de pulgada).

Para lograr el tamaño deseado, en el proceso del chancado se utiliza la combinación de 2 equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas.

En la primera etapa, consiste en un chancador primario (con una capacidad de 50 ton/hora), que reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 3 pulgadas de diámetro. Este material es transportado por correas transportadoras a un chancador secundario (con una capacidad de 50 ton/hora), el que tiene la tarea de reducir el material a 1 pulgada.

Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina al buzón principal, pasando por el proceso de chancado y molienda, hasta llegar al acopio del mineral en silos listos para la entrega.

## **Molienda**

Mediante la molienda, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas de cuarzo, para obtener una granulometría que puede alcanzar hasta una malla 100. El proceso de la molienda se realiza utilizando equipos giratorios o molinos de bolas cilíndricos.

Este molino está ocupado en un 35% de su capacidad por bolas de acero o cerámica, las cuales son los elementos de molienda. El tipo de bolas a utilizar depende del grado de pureza que deba poseer el producto terminado, debido a que las bolas de acero contaminan con hierro.

Los tamaños menores son generados por la molienda autógena o semiautógena del material a menos de 3 mm en molinos cilíndricos. En este paso se realiza un zarandeado que produce molidos malla 30/80 y la fracción pasante (siempre y cuando sea necesario), es sometida a ciclonado, lo cual permite obtener diferentes granulometrías menores.

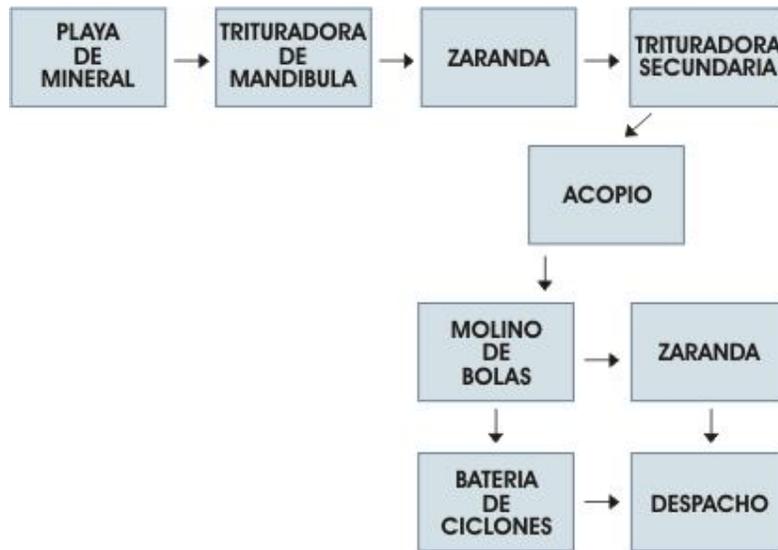


Figura 24. Diagrama de Molienda y Chancado de Mineral de Cuarzo.

Dependiendo de las calidades que se requieran, en algunos procesos es necesario tambores magnéticos para eliminar el hierro (todo esto se puede adicionar al proyecto en un futuro).

### 7.3 Descripción del Proceso de Producción.

La estrategia de Explotación del Proyecto Cerro Blanco, consiste en la puesta en marcha de dos Plantas: la primera, una Planta de Chancado y Molienda (Figura 25), con una capacidad de 50 Ton/hora (300 Ton/día) y el montaje de una segunda Planta (Figura 26), para procesar cuarzo de alta calidad, con el objetivo de fabricar silicio metálico de grado Metalúrgico (Montaje y construcción de un Horno de Arco Eléctrico).

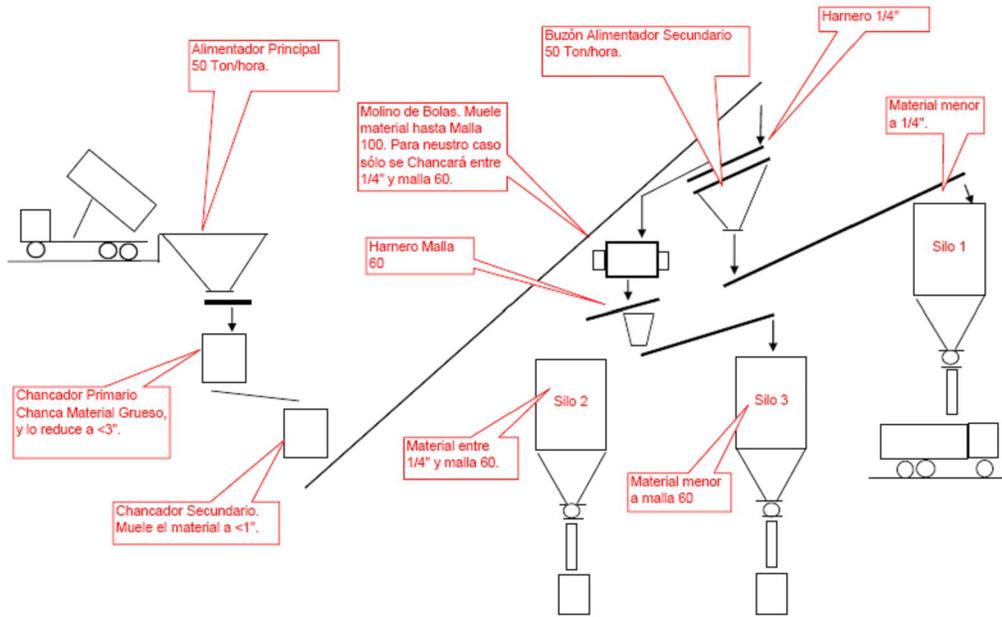


Figura 25. Diseño Planta Chancado y Molienda.

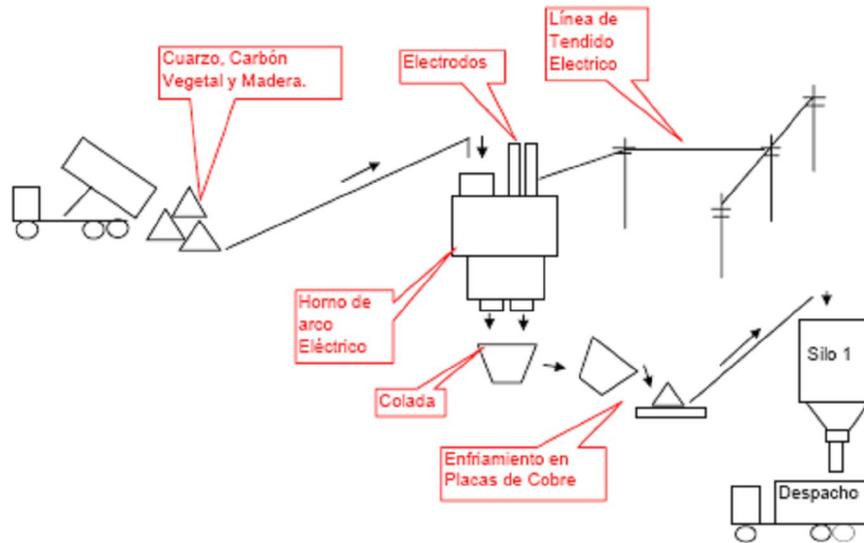


Figura 26. Diseño Planta Fabricación Silicio Metálico

El desarrollo del proceso de producción consiste en los siguientes pasos:

### **Perforación y Tronadura**

Una vez identificado y definidos los cuerpos mineralizados de alta ley (\*) y los puntos de extracción, se procederá a efectuar un diagrama de disparo el que permita producir 300 toneladas por día. El equipo utilizado será un Jumbo o trackdrill.

(\*) Para este punto es necesaria una campaña de perforación que permita definir adecuadamente los cuerpos de cuarzo de alta ley.

### **Carguío Mina**

Para esta etapa se consideró un cargador frontal con una capacidad de carga de 3 metros cúbicos de mineral y camiones de 20 cubos (con un máximo de carga de 30 toneladas), los que transportarán el mineral desde la mina al buzón principal.

### **Proceso de Chancado y Molienda**

Este proceso comienza con la entrega del mineral en el Buzón principal. La idea es tener un equipo de chancado en línea capaz de chancar 300 toneladas por día. Para ello se consideró un chancador primario con una capacidad de 50 toneladas por hora, el que se encargará de reducir el mineral entregado de la mina hasta un tamaño de 3 pulgadas. Este mineral chancado, será transportado por una correa transportadora (correa 1), a un segundo Chancador, el que tendrá una capacidad de 50 toneladas por hora, el que se encargará de chancar el mineral a un tamaño homogéneo de 1/4 pulgada. Este mineral chancado será transportado en una correa transportadora (correa 2), hacia un harnero, que separará el material en dos partes. Un 70% de mineral con un tamaño menor a un 1/4 de pulgada el que será almacenado directamente en un silo (silo 1), mientras que el mineral restante entrará a un molino para ser pulverizado. Este material pulverizado, será clasificado por un harnero, que separará el material superior a malla 60 y menor a 1/4" (20%) y menor a malla 60 (10%), almacenándolos en dos silos distintos (silo 2 y silo 3).

## **Fabricación del Silicio Metálico**

### **Abastecimientos**

Para producir una tonelada de silicio metalúrgico, es necesario contar con una tonelada de cuarzo chancado y molido de alta ley (superior a 99% de SiO<sub>2</sub>), una tonelada de carbón vegetal y dos toneladas de astillas de madera.

Si consideramos que la planta producirá 12.000 toneladas por año de silicio metálico metalúrgico, es necesario contar con 12.000 toneladas de carbón vegetal al año y 24.000 toneladas de astillas de madera.

Para el abastecimiento de carbón, se ha considerado la compra a productores locales, los que tienen una capacidad de producción anual superior a las 15.000 toneladas (este carbón debe ser sometido a pruebas físico químicas para verificar si cumple con las especificaciones técnicas necesarias), el restante carbón vegetal se comprará en la zona centro sur.

Las astillas de madera, serán compradas a productores de la zona centro sur del país y se considerará la posibilidad de comprar los desechos de la industria maderera, que pierde alrededor del 20% de sus materias prima en su línea de producción.

### **Abastecimiento de Energía**

El consumo energético de una tonelada de silicio metálico metalúrgico, es de 10 Kva. Considerando que nuestra idea es producir 10.950 toneladas al año, el consumo anual de energía de la planta será de 109.500 Kva (potencia estimada de 8 mega mensuales).

Se ha considerado la opción de conectarse al tendido eléctrico que llega al pueblo de Chipel, distante 2 km del proyecto o hacer asociaciones estratégicas con proyectos eléctricos que se están desarrollando en la zona (Parque Eólico Totoral, en el sector de Canela con una potencia instalada de 200 Mega).

### **Producción de Silicio Metálico**

Parte del material Chancado y pulverizado en la planta de chancado y molienda (33 toneladas por día), será transportado vía correas transportadoras a la planta de silicio metálico. Este material será acopiado junto al carbón y astillas de madera, necesarias para alimentar el Horno de arco eléctrico sumergido.

La idea de producción, considera una correa transportadora para el alimentador principal del horno y un horno de arco eléctrico sumergido con una capacidad de producción de 30 toneladas día. Una vez terminado el proceso del horno, se recuperará una colada hirviente

(una escoria), la que será vertida en placas de cobre para su enfriamiento y posterior acopio, envasado y despacho.

### **Envasado y Despacho**

El despacho del silicio metálico metalúrgico de 99% de Si, se realizará en sacos de una tonelada (maxisacos), los que serán transportados al puerto de Los Vilos vía terrestre, por medio de camiones de 30 toneladas de capacidad máxima.

## VIII. Prefactibilidad Económica

### 8.1 Horizonte de Evaluación

El horizonte de evaluación del proyecto Cerro Blanco fue estimado en 10 años debido a los volúmenes de venta del mercado y la capacidad de la planta. Se debe considerar que este horizonte puede ser aún mucho mayor, pero para efectos de facilitar nuestro trabajo sólo se considerarán 10 años y una producción de 30 toneladas por día de silicio metálico y una producción de cuarzo aproximada de 270 toneladas por día para otros fines.

### 8.2 Inversiones

#### 8.2.1 Inversión en Equipos Planta

En la Tabla 9, se detallan los equipos para construir la planta de chancado, molienda y horno, necesarios para producir de 30 toneladas de silicio metálico y 270 toneladas de cuarzo.

**Tabla 9. Inversión en Equipos para Planta de Molienda y Horno.**

100	Equipos Planta	Capacidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio Total
101	Alimentador	30 ton/h	1	6.000	6.000
102	Correa 1	30 ton/h	1	15.000	15.000
103	Correa 2	30 ton/h	1	15.000	15.000
104	Correa 3	30 ton/h	1	15.000	15.000
105	Correa 4	30 ton/h	1	15.000	15.000
106	Correa 5	30 ton/h	1	15.000	15.000
107	Correa 6	12 ton/h	1	15.000	15.000
108	Harnero 1		1	20.000	20.000
109	Harnero 2		1	20.000	20.000
110	Chancador Primario	30 ton/h	1	120.000	120.000
111	Chancador secundario	30 ton/h	1	120.000	120.000
112	Molino de Bolas	10 Ton/h	1	80.000	80.000
113	Filtro de manga harnero 1		1	12.000	12.000
114	Filtro de manga harnero 2		1	12.000	12.000
115	Filtro de manga Chancador Primario		1	15.000	15.000
116	Filtro de manga Chancador Secundario		1	15.000	15.000
117	Filtro de manga Molino de Bolas		1	10.000	10.000
118	Horno de Arco Electrico	3 ton/h	1	600.000	600.000
119	Alimentador Horno	12 ton/h	1	3.000	3.000
120	Electrodos		2	20.000	40.000
121	Receptor Colada	3 ton/h	1	15.000	15.000
122	Placas de Cobre		2	15.000	30.000
<b>Total Equipos Planta</b>					<b>1.208.000</b>

## 8.2.2 Inversión en Instalaciones

La tabla 10, detalla las inversiones en instalaciones necesarias para el buen funcionamiento del proyecto. En ella se cotizan estructuras, equipos eléctricos, construcción, montaje, y dependencias.

**Tabla 10. Inversiones en Construcción, Montaje e Instalaciones.**

Item	Construcción, Montaje e Instalaciones	Cantidad	Precio Unitario US\$	Precio Total US\$
<b>200</b>	<b>Estructuras</b>			
201	Buzón Alimentador	1	12.000	12.000
202	Silos Almacenamiento	4	20.000	80.000
203	Chutes	4	6.000	24.000
204	Estructuras Mecánicas	5	22.000	110.000
	<b>Subtotal Estructuras</b>			<b>226.000</b>
<b>300</b>	<b>Equipos Electricos</b>			
301	Tableros horno			15.000
302	Materiales			15.000
	<b>Subtotal Equipos Electricos</b>			<b>30.000</b>
<b>400</b>	<b>Construcción y Montaje</b>			
401	Ingeniería			30.000
402	Obras Civiles			40.000
403	Montaje Mecánico y Electrico			100.000
	<b>Subtotal Construcción y Montaje</b>			<b>170.000</b>
<b>500</b>	<b>Dependencias</b>			
501	Instalación Galpón 1			60.000
502	Instalación Galpón 2			60.000
503	Instalación Oficinas			25.000
504	Instalación Garita Seguridad			1.500
505	Cercos			26.000
506	Arreglo y Construcción de Caminos			15.000
	<b>Subtotal Dependencias</b>			<b>187.500</b>
	<b>Total Construcción, Montaje e Instalaciones</b>			<b>613.500</b>

### 8.2.3 Capital de Trabajo

El capital de trabajo que se necesita para el funcionamiento del proyecto se detalla en la tabla 11 (el traslado de equipos se señala acá para hacer mas fácil el trabajo en relación a los costos del proyecto).

**Tabla 11. Capital de Trabajo y Traslado de Equipos.**

<b>Costos Capital de Trabajo y Traslado de Equipos</b>	<b>US\$/año</b>
Traslado Equipos y Maquinaria	60.000
Sueldos Administrativos	227.500
Sueldos Mano de Obra y Personal	329.750
<b>Total Costos Fijos</b>	<b>617.250</b>

Los costos de traslado de equipos y maquinaria, fueron obtenidos de las empresas distribuidoras, mientras que los sueldos administrativos, de personal y de mano de obra, fueron conseguidos de faenas similares.

### 8.2.4 Otras Inversiones

En el análisis total, hay que considerar también las siguientes inversiones (Tabla 12):

**Tabla 12. Otras Inversiones.**

<b>600</b>	<b>Otras Inversiones</b>	<b>Precio Unitario US\$</b>	<b>Precio Total US\$</b>
<b>601</b>	Equipos de Control de Polución Romana	25.000	50.000
<b>602</b>	Construcción Romana	8.000	8.000
<b>603</b>	Camionetas 4x4	5.000	5.000
<b>604</b>	Propiedad Minera	25.000	50.000
<b>605</b>	Geología Básica	35.000	35.000
<b>606</b>	Estudios Económicos	15.000	15.000
<b>607</b>	Servicios Legales	5.000	5.000
<b>608</b>	Retroexcavadora	5.000	5.000
<b>609</b>	Cargador Frontal	150.000	150.000
<b>610</b>	Jumbo	170.000	340.000
<b>611</b>	TrackDrill	190.000	190.000
<b>612</b>	Camión 30 Ton.	60.000	60.000
<b>613</b>	Estudio de Impacto ambiental	120.000	240.000
<b>614</b>	Imprevistos	83.000	83.000
<b>615</b>		200.000	200.000
<b>Subtotal Otras Inversiones</b>			<b>1.436.000</b>

## 8.2.5 Resumen de Inversiones

En la tabla 13, se resumen todas las inversiones relacionadas con el proyecto

**Tabla 13. Resumen de Inversiones.**

Item	Tipo	Total US\$	Valor residual (20%) US\$	Años a Depreciar	Depreciación Anual US\$
<b>100</b>	Equipos Planta				
	Subtotal	1.208.000	241.600	10	96.640
<b>200</b>	Estructuras				
	Subtotal	226.000	45.200	20	9.040
<b>300</b>	Equipos Electricos				
	Subtotal	30.000	6.000	10	2400
<b>400</b>	Construcción y Montaje				
	Subtotal	170.000	34.000	20	6.800
<b>500</b>	Dependencias				
	Subtotal	187.500	37.500	20	7.500
<b>600</b>	Otras Inversiones				
	Subtotal	1.436.000	253.200	10	101.280
<b>TOTAL INVERSIONES</b>		<b>3.257.500</b>	<b>Total Depreciaciones Anuales</b>		<b>223.660</b>

En resumen, podemos decir que la puesta en marcha del proyecto, tiene un costo de inversión de US\$ 3.257.500 (tres millones doscientos cincuenta y siete mil quinientos dólares de los Estados Unidos de Norteamérica). En esta tabla, falta por considerar el pago del EIA, la compra del terreno y el flete o traslado de los equipos. Para este análisis se consideró el precio del dólar igual a \$ 510 (quinientos diez pesos chilenos).

## 8.3 Costos

Los costos asociados al proyecto se desglosan en: costos de operación y mantención de la planta, costos de maquinaria para explotación, costo de transporte, costo de administración, costo de energía e insumos y costos de servidumbre minera.

### 8.3.1 Generalidades

Dentro de las generalidades de este proyecto, se encuentra la estimación de los ingresos castigada en un 20% (ver Ingresos 8.4). Esta estimación se basa en la eficiencia de la Planta (por puesta en marcha o marcha blanca).

Por otro lado, nuestro análisis presenta un ítem de imprevistos castigando nuestro flujo de caja en un 30%. Este 30% considera gastos asociados a campañas de sondajes, consumo

de agua, explosivos, gastos por representaciones, seguros, publicidad y otros inconvenientes que se pueden originar.

### 8.3.2 Costos de Operación y Planta

En la siguiente tabla 14, se detallan los costos de mano de obra:

**Tabla 14. Costos de Mano de Obra.**

<b>Costos de Mano de Obra</b>	<b>US\$/Mes</b>	<b>US\$/Año</b>
Operador Retroexcavadora	1.400	16800
Operador Cargador Frontal 1	1.400	16800
Operador Cargador Frontal 2	1.400	16800
Operador Camión Mina	1.300	15600
Operador Camión Despacho a Puerto	1.300	15600
Operador 1 Planta de Chancado	2.000	24000
Operador 2 Planta de Chancado	2.000	24000
Operador Molino	2.000	24000
Operador Horno	4.000	48000
Supervisor Planta 1	1.200	14400
Supervisor Planta 2	1.200	14400
Guardia 1	600	7200
Guardia 2	600	7200
<b>Subtotales</b>	<b>19.000</b>	<b>244800</b>
Imposiciones (25%)	4.750	61.200
<b>Subtotales con imposiciones</b>	<b>23.750</b>	<b>306000</b>
<b>Total</b>		<b>329.750</b>

En la tabla 15, se detallan los gastos de mantención de ambas plantas.

**Tabla 15. Costos de Mantención planta.**

<b>Costos Mantención Planta</b>	<b>Mantención/año US\$</b>	<b>Aceros/año US\$</b>	<b>Total US\$</b>
Chancador 1	6.000	6.000	12.000
Chancador 2	6.000	4.000	10.000
Molino	5.000	5.000	10.000
Horno	8.500	2.000	10.500
<b>Total</b>	<b>25.500</b>	<b>17.000</b>	<b>42.500</b>

### 8.3.3 Costo de Explotación

En la Tabla 16, se detallan los costos asociados a la mantención y consumo de los equipos de explotación.

**Tabla 16. Costos de Mantención Maquinarias de Explotación.**

<b>Costos Maquinaria de Explotación</b>	<b>US\$ por Petroleo/año</b>	<b>US\$ Mantención/año</b>	<b>US\$ Neumáticos/año</b>
Retroexcavadora	15.000	2.000	1.000
Cargador Frontal 1	17.000	2.200	2.000
Cargador Frontal 2	17.000	2.200	2.000
Camión 30 Toneladas 1	15.000	800	900
Camión 30 Toneladas 2	15.000	800	900
Camioneta 4x4 1	5.500	400	280
Camioneta 4x4 2	5.500	400	280
Subtotales	<b>90.000</b>	<b>8.800</b>	<b>7.360</b>
<b>Total</b>			<b>106.160</b>

### 8.3.4 Costo Transporte

#### a) Transporte en Camiones

El costo del transporte en camiones del silicio metálico, desde el yacimiento al puerto de Los Vilos es de US\$ 8 dólares por tonelada (Tabla 17).

Para el caso del transporte de cuarzo a consumidores nacionales (Fundición Ventanas o Chagres), el costo es de US\$ 14 dólares aproximadamente cada 200 km (Tabla 17).

#### b) Transporte Marítimo (Internacional)

El costo de transportar una tonelada de silicio metálico en barco desde Chile a Norteamérica es de US\$ 25 dólares (Comunicación verbal, Luis Yañez, ex gerente de Inacesa), mientras que el transporte desde Chile a Europa es de aproximadamente US\$ 34 dólares.

**Tabla 17. Costos de Transporte considerando una eficiencia de Planta de un 80%.**

<b>Costo Transporte (escenario efectividad 80%)</b>	<b>Transporte Terrestre US\$</b>	<b>Transporte Maritimo US\$</b>	<b>cantidad Ton</b>	<b>Total</b>
Fundiciones zona central	14		68219	955066
Silicio Metálico 50% (USA)	8	25	3832,5	126472,5
Silicio Metálico 50% (UE-25)	8	34	3832,5	160965
<b>Costo Total</b>				<b>1242503,5</b>

### 8.3.5 Costo de administración

Los costos de Administración, fueron determinados a partir de sueldos promedio del mercado y se resumen en la Tabla 18.

**Tabla 18. Costos relacionados a sueldos de Administración.**

<b>Costos Administración</b>	<b>US\$/Mes</b>	<b>US\$/Año</b>
Contador	1.800	21600
Secretaria	1.000	12000
Topógrafo	1.200	14400
Ingeniero Civil Minas	3.000	36000
Ingeniero Civil Industrial	3.000	36000
Geólogo	3.000	36000
Personal de Aseo (2)	1.000	12000
Subtotal Sueldos Administración	14.000	168000
Imposiciones (25%)	3500	42000
Subtotal Sueldos más Imposiciones	17.500	210000
<b>Total</b>		<b>227.500</b>

### 8.3.6 Costos de Energía e Insumos

Los costos de energía fueron obtenidos desde la página de la Comisión Nacional de Energía, referente a la tarifa de nudos a Noviembre de 2007. Estos valores se pueden ver en la Tabla 19. El costo de consumo de 24.000 ton/año de madera es de US\$ 940.000, mientras que el de 12000 ton/año de carbón es de US\$ 1.177.500 (Tabla 19)

**Tabla 19. Costos de Energía e Insumos.**

<b>Costos Energía e Insumos</b>	<b>Cantidad/Año</b>	<b>Precio US\$</b>
<b>Energía</b>	76.65 Mega	5825400
<b>madera</b>	24000 Ton	940.000
<b>carbón</b>	12000 Ton	1177500
<b>Total</b>		<b>7.942.900</b>

### 8.3.7 Depreciaciones

La depreciación de las inversiones de capital, referente a equipos, montaje y maquinarias de la planta se presenta en la Tabla 20.

**Tabla 20. Depreciaciones de Equipos.**

Item	Tipo	Total US\$	Valor residual (20%) US\$	Años a Depreciar	Depreciación Anual US\$
100	Equipos Planta				
	Subtotal	1.208.000	241.600	10	96.640
200	Estructuras				
	Subtotal	226.000	45.200	20	9.040
300	Equipos Electricos				
	Subtotal	30.000	6.000	10	2400
400	Construcción y Montaje				
	Subtotal	170.000	34.000	20	6.800
500	Dependencias				
	Subtotal	187.500	37.500	20	7.500
600	Otras Inversiones				
	Subtotal	1.266.000	253.200	10	101.280
<b>TOTAL INVERSIONES</b>		<b>3.087.500</b>	<b>Valor Residual: 617.500</b>	<b>Total Depreciaciones Anuales</b>	<b>223.660</b>

### 8.3.8 Compra de Terreno

Para el desarrollo del Proyecto, se consideró la compra de un terreno de 50 hectáreas en la suma de US\$ 100.000, para la instalación del Horno y de la Planta de Chancado y Molienda.

### 8.3.9 Servidumbre Minera

Con el objetivo de tener una buena convivencia con los dueños superficiales de la Propiedad, se estimó un pago anual por servidumbre minera de US\$ 30.000.

## 8.4 Ingresos

Los ingresos, se dividen de dos maneras, por un lado las ventas de cuarzo para fundiciones de la zona central y por otro lado, ventas de silicio metálico a los mercados norteamericano y europeo calculados al 100 y 80% de efectividad de la Planta (Tabla 21 y 22). En relación a los precios, el valor de una tonelada de cuarzo para fundiciones de la zona central es de US\$ 26 dólares, mientras que el valor de una tonelada de silicio metálico metalúrgico es de US\$ 1.560 dólares.

Las ventas se dividen en 10.950 toneladas anuales de silicio metálico (50% USA y 50% UE-25), mientras que las ventas de cuarzo para fundición llegan a 97.455 toneladas por año.

Para este análisis se considerará un crecimiento de un 3% en las ventas, lo que implica aumentar las horas de trabajo de la planta.

**Tabla 21. Ingresos considerando una efectividad del 100% de la Planta.**

<b>Ingresos efectividad Planta 100%</b>			
<b>Producto</b>	<b>Ventas/año</b>	<b>Precio Unitario US\$/Ton</b>	<b>Precio US\$</b>
Silicio Metálico (>99% SiO2)	10.950	1.560	17082000
Cuarzo (para Fundición)	97.455	26	2533830
<b>Total Ingresos año</b>			<b>19615830</b>

**Tabla 22. Escenario con efectividad de Planta de 80%.**

<b>Ingresos efectividad Planta 80%</b>			
<b>Producto</b>	<b>Ventas/año</b>	<b>Precio Unitario US\$/Ton</b>	<b>Precio US\$</b>
Silicio Metálico (>99% SiO2)	7.665	1.560	11957400
Cuarzo (para Fundición)	68.219	26	1773681
<b>Total Ingresos año</b>			<b>13731081</b>

## 8.5 Alternativas de Financiamiento

Para el financiamiento se considera la asociación estratégica con inversionistas privados, nacionales como extranjeros, además de alianzas comerciales con los consumidores de silicio metálico. No se descarta la posibilidad de asociarse con alguna empresa brasileña presente en el rubro.

## 8.6 Tasa de Descuento

La tasa de descuento, que representa el mayor costo alternativo de los inversionistas contra la ejecución y puesta en marcha del proyecto, se estimó en un 10% anual (valor manejado en el mercado para proyectos similares).

## 8.7 Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad.

### 8.7.1 Flujo de Caja

Tabla 23. Flujo de Caja. Escenario con efectividad 80%.

Escenario 80% efectividad Planta	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
<b>INVERSIONES</b>											
Inversión	3.257.500										
Compra de Terreno	100.000										
<b>Total Inversión</b>	<b>3.357.500</b>										
<b>INGRESOS (3% anual)</b>											
ventas Si EEUU		5.978.700	6158061	6773867,1	7451253,81	8196379,19	9016017,11	9917618,82	10909380,7	12000318,8	13200350,7
ventas Si UE-25		5.978.700	6158061	6773867,1	7451253,81	8196379,19	9016017,11	9917618,82	10909380,7	12000318,8	13200350,7
Otras ventas cuarzo		1.773.681	1826891,43	2009580,57	2210538,63	2431592,49	2674751,74	2942226,92	3236449,61	3560094,57	3916104,03
<b>Total Ingresos</b>		<b>13.731.081</b>	<b>14.143.013</b>	<b>15.557.315</b>	<b>17.113.046</b>	<b>18.824.351</b>	<b>20.706.786</b>	<b>22.777.465</b>	<b>25.055.211</b>	<b>27.560.732</b>	<b>30.316.805</b>
<b>COSTOS</b>											
Energía e Insumos Horno de Arco Eléctrico		7.942.900	8.181.187	8.426.623	8.679.421	8.939.804	9.207.998	9.484.238	9.768.765	10.061.828	10.363.683
Capital de Trabajo (1.5% variación anual)	557250	565.609	574.093	582.704	591.445	600.317	609.321	618.461	627.738	637.154	646.711
Matención Plantas (CF)		42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500	42.500
Explotación Mina (CV)		106.160	116776	128453,6	141298,96	155428,856	170971,742	188068,916	206875,807	227563,388	250319,727
Transporte (CV)		1.424.503	1566953,3	1723648,63	1896013,49	2085614,84	2294176,33	2523593,96	2775953,36	3053548,69	3358903,56
Servidumbre Minera (CF)		30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
EIA	83.000										
Traslado Equipos y Maquinaria (CH)	60.000										
<b>Total Costos</b>		<b>10.111.672</b>	<b>10.511.509</b>	<b>10.933.929</b>	<b>11.380.679</b>	<b>11.853.664</b>	<b>12.354.967</b>	<b>12.886.862</b>	<b>13.451.832</b>	<b>14.052.594</b>	<b>14.692.118</b>
<b>DEPRECIACIÓN</b>											
Depreciación		223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660
UAI (17% Impuestos)		3.395.749	3.407.844	4.399.726	5.508.708	6.747.027	8.128.159	9.666.943	11.379.719	13.284.478	15.401.028
UDI		2.818.472	2.828.511	3.651.772	4.572.227	5.600.032	6.746.372	8.023.562	9.445.167	11.026.117	12.782.853
DEPRECIACIÓN		223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660	223.660
Imprevistos 30%		912.640	915.651	1.162.630	1.438.766	1.747.108	2.091.009	2.474.167	2.900.648	3.374.933	3.901.954
Rec. Capital de Trabajo											617.250
Rec. compra de Terreno											100.000
Valor Residual Activos											617.500
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-4057750</b>	<b>2.129.492</b>	<b>2.136.520</b>	<b>2.712.803</b>	<b>3.357.121</b>	<b>4.076.585</b>	<b>4.879.022</b>	<b>5.773.056</b>	<b>6.768.179</b>	<b>7.874.844</b>	<b>10.439.309</b>
<b>TIR (10 años)</b>	<b>66%</b>										
<b>VAN (10%) US\$</b>	<b>14.304.842</b>										

En el Flujo de Caja, se puede apreciar que la TIR del proyecto es de 66%, mientras que el VAN es de 14 MMUS\$ (catorce millones de dólares). Por otro lado, el flujo de caja fue realizado pensando en una efectividad de la Planta de un 80% (debido a la capacidad efectiva de la planta de chancado y molienda por puesta en marcha y rodaje, sumado a la puesta en marcha y rodaje del horno). Además, el flujo de caja fue castigado en un 30%, debido a imprevistos que no se han considerado, como son pago de seguros para las cargas

transportadas, campañas de sondajes, consumo de agua, explosivos, representaciones, publicidad y otros inconvenientes.

Debemos señalar, que los gastos de capital de trabajo del año 0, el valor residual de los activos y la compra del terreno, se recuperan en el año 10.

El período de retorno de capital se estima en 3 años, haciendo atractivo el negocio.

### 8.7.2 Análisis de Sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad se consideró tres escenarios posibles. El primero con una efectividad de la Planta de 100%. El segundo escenario, consistió en una efectividad de Planta de 80% y por último, un análisis con una efectividad de un 50% (Tabla 24).

**Tabla 24. Análisis de Sensibilidad por Ventas y Producción.**

<b>CASOS</b>	<b>Escenario positivo 100% efectividad</b>	<b>Escenario Medio con 80% Efectividad</b>	<b>Escenario negativo con 50% de Efectividad</b>
<b>TIR</b>	118%	66%	50%
<b>VAN</b>	28 MMUS\$	14 MMUS\$	9 MMUS\$

Para cada escenario de sensibilidad, las variables que se castigaron fueron las ventas y la producción de Silicio metálico, a partir de la efectividad de la Planta. Con lo anterior, se procedió a analizar cada escenario dando los resultados que se reportan en la tabla 24. Los valores de la TIR y del VAN para cada escenario (positivo, medio y optimista), demuestran que el proyecto es una alternativa rentable para invertir.

Para el caso del 100% efectividad, el periodo de retorno de capital es de 1 año, mientras que en el caso de un 80% de efectividad el periodo de retorno de capital es de 3 años. Ahora para la alternativa de un 50% de efectividad, el periodo de retorno de capital es del cuarto año.

Para el caso de sensibilidad por precios, se consideró dos escenarios posibles. El primero con un precio de US\$ 1560 por tonelada y una efectividad de un 80% de eficiencia de planta (Tabla 25) y el segundo con un precio de US\$ 1100 por tonelada y una efectividad de planta de 80% (Tabla 26).

**Tabla 25. Análisis con un precio de US\$ 1560.**

<b>TIR (10 años)</b>	<b>66%</b>
<b>VAN (10%) US\$</b>	<b>14.304.842</b>

**Tabla 26. Análisis con un precio de US\$ 1100**

<b>TIR (10 años)</b>	<b>23%</b>
<b>VAN (10%) US\$</b>	<b>2.234.571</b>

Para el análisis de sensibilidad con respecto a los precios, se puede visualizar que al bajar un 20% el precio de venta del producto, el negocio pierde rentabilidad (las ganancias bajan en siete veces), y se hace menos atractivo.

### **8.7.3 Comentarios**

Con los datos obtenidos en el flujo de caja, nos podemos dar cuenta que el proyecto se muestra atractivo para diferentes volúmenes de venta, donde claramente la rentabilidad va aumentando mientras mayor sean las ventas y presencia en el mercado. En cuanto al precio, el análisis se hace más sensible y a variaciones mayores al 25% del precio de mercado, el proyecto no deja de ser atractivo.

## IX. Discusión

Luego de haber realizado este trabajo podemos analizar una serie de puntos relacionados al tema. En el caso de la evaluación de recursos y estimación de leyes, es necesario lograr incentivar la participación de capitales de riesgo, que tengan por objetivo cuantificar por medio de sondajes las reservas de cuarzo y a su vez estudiar la geometría de los cuerpos presentes en el prospecto Cerro Blanco, además de aportar recursos para la confección de una geoquímica adecuada que permita identificar las leyes de  $\text{SiO}_2$  de los cuerpos de cuarzo presentes en este prospecto.

Entre las alternativas que se manejan para desarrollar este negocio en Chile, se cuenta la posibilidad de venta del prospecto a una empresa del rubro, la que suponemos querrá tener el control total del negocio (esta alternativa de venta del prospecto no es la ideal para los propósitos de este trabajo). Ahora bien, existe una segunda alternativa que consiste en la participación en conjunto con inversionistas locales o extranjeros, para desarrollar esta industria en nuestro país. Esta alternativa presenta un reto y riesgo mayor, debido a que al ser un negocio nuevo es necesario buscar mercados que estén dispuestos a comprar este producto. Para ello es necesario realizar nuevos estudios de mercado orientados a países como China, Japón o Taiwán, países con los cuales tenemos acuerdos comerciales y para los que Chile presenta algunas ventajas (con respecto a países de la región como Brasil, Venezuela, Uruguay o Argentina), como por ejemplo la distancia.

En el análisis de este trabajo, no se hace hincapié en el tipo de explotación. Esto se debe a que no se conoce con claridad la forma de los cuerpos en profundidad, por lo que es necesario realizar trabajos que apunten a definir la geometría de los cuerpos mineralizados.

Un punto muy importante y de cuidado, es la cantidad de emisiones de  $\text{CO}_2$  debido a la quema de carbón vegetal en el proceso. Para esto se deberá efectuar un estudio para ver la factibilidad de comprar bonos de emisión de carbón o implementar sistemas de captación de  $\text{CO}_2$ , que permitan minimizar las emisiones contaminantes y ver como esto afecta en nuestro flujo de caja.

Otro punto de discusión, es que en el flujo de caja del proyecto, solo se consideró el impuesto de primera categoría (17%), pero no se consideró el global complementario o adicional aplicable al reparto de dividendos que es de 35%. Además, en este análisis no se consideró el impuesto específico a la minería, debido a los escasos volúmenes de producción.

## **X. Recomendaciones**

- Se recomienda, considerar la posibilidad de producir silicio metálico ultrapuro en un futuro cercano, pero antes se debe tener en cuenta que para este proceso es necesario un consumo energético muy alto e inversiones en tecnologías que no tenemos actualmente en nuestro país (quizás pensar a futuro en energía nuclear).
- Dentro de las posibilidades como país, cabe mencionar que existen profesionales y gente capacitada para poner en marcha esta industria, por lo que se recomienda analizar nuevas alternativas de desarrollo industrial y tecnológico, para este negocio.
- Se recomienda estudiar el caso oriental, con sus consumos y requerimientos, ya que en este estudio no fue considerado debido a la escasez de información al respecto.
- Una vez terminado el estudio del mercado oriental, ver las posibilidades que existen para realizar nuevos negocios (es sabido que China, Taiwán y Japón son grandes consumidores de silicio metálico).
- También se recomienda analizar el mercado Indio, ya que es un mercado que se está desarrollando muy rápidamente y en el cual, se pueden realizar asociaciones comerciales antes de su crecimiento explosivo.
- Una de las complicaciones de este proyecto, es el consumo de carbón vegetal para sus procesos. Esto puede traer como consecuencia la escasez en un futuro cercano de flora del sector, por lo que se recomienda capacitación a los productores locales de carbón vegetal.

## **XI. Conclusiones**

Después de haber realizado el estudio de evaluación técnico económica para producir silicio metálico de grado metalúrgico en Chile, a partir del Prospecto Cerro Blanco, podemos concluir lo siguiente:

- A partir de los Ingresos percibidos por ventas tanto de Silicio Metálico como del Cuarzo, se aprecia que los valores de venta para ambos casos son demasiado dispares. Con esto queda en evidencia que el mercado local es una alternativa pero no la mejor.

- Al ver el estudio del Mercado Internacional del Silicio Metálico, se aprecia una oportunidad que se presenta para un país como el nuestro de exportar este producto. Esto se sustenta en que el mercado norteamericano importa más del 55% del silicio metálico consumido en ese país, mientras que el mercado europeo importa alrededor del 70% del silicio metálico necesario para su industria. Debemos señalar también, que el principal productor de silicio metálico del mundo es Brasil, país que enfrentará una escasez de materias primas para la fabricación de silicio metálico en unos 15 años más, debido a los volúmenes de ventas que mantiene actualmente.
- La cantidad de minas que se encuentran en Chile y que se presentan a lo largo de todo el país, nos hace suponer un enorme potencial exportador para este producto.
- Gracias a la gran cantidad de acuerdos comerciales y tratados de libre comercio que mantiene nuestro país con los principales mercados mundiales, es factible suponer facilidades en cuanto a la comercialización de este producto con diversos mercados.
- En este análisis la estimación de recursos fue realizada en base a mapeos geológicos y trabajos del tipo trincheras y laboreos, pero es necesario captar capitales de riesgo que permitan evaluar de manera correcta por medio de sondajes el potencial de recursos del Proyecto Cerro Blanco, por lo que falta una evaluación de recursos rigurosa.
- Debemos hacer hincapié en la realización de una geoquímica con un control de calidad adecuado, que permita definir con exactitud las leyes de SiO<sub>2</sub> de los cuerpos de cuarzo. Esta etapa deberá realizarse en un futuro cercano antes de la puesta en marcha del proyecto.

## **XI. Referencias**

- Actividades del Sector Servicios. Transporte Marítimo. Centro de Información y Documentación Empresarial sobre Iberoamérica CIDEIBER.
- “Análisis de las Exportaciones Chilenas 2005”. PROCHILE, Departamento de Desarrollo Estratégico.
- Anuario de la Minería Chilena 2004. Ministerio de Minería. Gobierno de Chile.
- Antecedentes Generales de la Republica Popular de China. Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Departamento Asia y Oceanía.
- Atlas de Faenas Mineras, Minas y Plantas de las Regiones I y II, 1999. SERNAGEOMIN.
- Atlas de Faenas Mineras, Minas y Plantas de las Regiones III y IV, 2000. SERNAGEOMIN.
- Atlas de Faenas Mineras, Minas y Plantas de las Regiones V, VI Y XIII, 2002. SERNAGEOMIN.
- Barreto, M. L. 2005. Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en Brasil. Centro de Tecnología Mineral (CETEM). Proyecto MMSD.
- Carrasco, O.; López, M. C.; Gajardo, A., 2004. yacimientos de Rocas y Minerales Industriales de la Región Metropolitana de Santiago. Carta Geológica de Chile N° 13, Serie Recursos Minerales y Energéticos.

- Camus, F. 2003. Geología de Los Sistemas Porfíricos en Los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Compendio de la Minería Chilena 2005. Ministerio de Minería. Gobierno de Chile.
- Compendio de la Minería Chilena 2006. Ministerio de Minería. Gobierno de Chile.
- DIRECON 2006. “Análisis del Comercio Exterior de Chile, primer Trimestre de 2006”, Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Departamento de Estudios e Informaciones, PROCHILE.
- DIRECON 2007. “Análisis Del Comercio Exterior De Chile”, Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Departamento de Estudios e Informaciones, PROCHILE.
- Estado Negociaciones TLC Chile-Japón, 2006. Departamento Asia y Oceanía. Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales. Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Evaluación Comercial Acuerdo Chile – Comunidad Europea, Mayo 2006. Dirección de Estudios e Informaciones de la Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Evaluación de las relaciones comerciales Chile – EEUU después de tres años de entrada en vigencia del TLC, 2007. Dirección de Estudios e Informaciones de la Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Ministerio de Relaciones Exteriores.

- Evaluación del acuerdo de Complementación Económica Chile-MERCOSUR. Agosto, 2005. Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Departamento de Estudios e Informaciones, PROCHILE.
- Evaluación del segundo año de Vigencia del Tratado de Libre Comercio entre Chile y Corea del Sur, 2006. Departamento de Coordinación de Administración de Acuerdos. Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales.
- Fernández, J. 2005. Estimación de Costos e Inversiones de Capital. Creación de Valor en la Gestión de Inversiones de Capital. Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile.
- Gobitz, V. 2004. Primer Simposium Contable del Sector Minero, “Conociendo Las Mejores prácticas Contables del Negocio Minero”.
- Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos Mineros de Rajo Abierto. Departamento De Seguridad Minera, año 2004. SERNAGEOMIN.
- Harfagar, M. 1998. Prospecto de Cuarzo Cono & Puntado. Documento inédito.
- Intercambio Comercial Chile – China, 2005. Dirección de Estudios e Informaciones de la Dirección General de Relaciones Económicas Internacionales, Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Los recientes aumentos en el costo del transporte marítimo y sus efectos sobre las exportaciones en América Latina. Boletín FAL edición N° 221, enero 2005. CEPAL.

- Memoria anual 2005. CODELCO.
- Mercado del Cobre y Desarrollo Sustentable en la Minería, 2006. Comisión Chilena del Cobre.
- Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. Equipo MMSD DE América Del Sur.
- “Molienda Semiautógena”. Apuntes de Procesos Industriales II. Universidad Federico Santa Maria.
- Moneta, C. 1995. Comercio e Integración Industrial en el Asia Pacífico: Perspectivas de Vinculación con América Latina. Instituto del Servicio exterior de la Nación, Ministerio de Relaciones Exteriores de Argentina.
- Negocio del Cuarzo en España, 2000. Datos de la Estadística Minera de España. Inédito.
- Norma ATBIAV Brasil.
- Norma Británica BS2975.
- Oferta y Demanda Mundial de Cuarzo, 1999. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.
- Perfil Producto / Mercado Minerales No Metálicos / Brasil, Mayo 2005. Subsecretaría de la Pequeña y Mediana Empresa y Desarrollo Regional, Secretaría de Industria, Comercio y Pymes. Ministerio de Economía, República de Argentina.

- “Potencial Minero en Chile y América Latina”, Seminario Internacional Cámara de Comercio de Santiago “oportunidades de Negocios en la Minería de América Latina”, año 2006. Dirección de Estudios. Comisión Chilena del Cobre.
- Producción y Venta de los Minerales, año 2001, Capítulo II, MMSD.
- Suzuki, C.; Pereira, José 2007. Energia solar e produção de silício metálico baseado no programa QITS("Quartz Industrial Trade System")
- Rivano, S.; Sepúlveda, P. 1991. Hoja Illapel, Región de Coquimbo. SERNAGEOMIN. Carta Geológica de Chile N° 69.

Sitios Web:

- [www.e-seia.cl](http://www.e-seia.cl)
- [www.dnpm.br.com](http://www.dnpm.br.com)
- [www.direcon.cl](http://www.direcon.cl)
- [www.cochilco.cl](http://www.cochilco.cl)
- [www.codelco.cl](http://www.codelco.cl)
- [www.usgs.com](http://www.usgs.com)
- [www.siliconresources.com](http://www.siliconresources.com)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

## XII. Anexos

Tabla 1. Primera Campaña Geoquímica.

elemento	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	U	Au	Th	Sr
Cantidad	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Cuarzo 173	6	30	<5	5	<0.5	10	<2	125	0.52	<5	<10	<4	2	<2
CB-01	7	12	<5	<2	<0.5	14	<2	139	0.6	<5	<10	<4	<2	<2
CB-02	3	19	<5	2	<0.5	10	2	152	0.45	<5	<10	<4	3	6
CB-03	4	10	<5	2	<0.5	10	<2	105	0.47	<5	<10	<4	3	<2
CB-04	8	12	<5	<2	<0.5	14	2	111	0.63	<5	<10	<4	<2	3
CB-05	4	>10000	26	137	12.2	15	17	1225	5.31	76	<10	<4	7	246
CB-06	5	53	<5	<2	<0.5	9	<2	111	0.55	<5	<10	<4	<2	2
CB-07	8	19	<5	<2	0.5	14	2	63	0.59	<5	<10	<4	2	<2
CB-08	5	19	<5	<2	<0.5	10	<2	52	0.44	<5	<10	<4	3	<2
CB-09	11	14	<5	<2	<0.5	14	<2	41	0.49	5	<10	<4	<2	7
CB-10	10	8974	<5	62	1.8	10	21	794	5.5	25	<10	<4	7	429
RE-CB-10	10	9062	5	66	2.2	10	21	805	5.52	29	<10	<4	8	430

elemento	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P	La	Cr	Mg	Ba	Ti	Al	Na	K
Cantidad	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	%	%	%	%
Cuarzo 173	<4	<5	9	4	0	<0.002	<2	203	0.01	3	<0.01	0.1	0	0
CB-01	0.5	<5	6	4	0	<0.002	<2	190	0.01	3	<0.01	0.1	0	0
CB-02	<0.4	<5	10	5	0.1	0.004	<2	132	0.02	11	0	0.2	0	0.1
CB-03	0.5	<5	6	4	0	<0.002	<2	172	0.01	1	<0.01	0.1	<0.01	0
CB-04	<0.4	5	6	4	0	<0.002	<2	214	0.02	12	0	0.1	0	0
CB-05	1.4	39	18	151	1.6	0.061	18	89	1.32	802	0.2	8.2	0.7	4.1
CB-06	0.5	<5	8	6	0.1	0.137	<2	236	0.02	8	0	0.3	0	0
CB-07	<0.4	<5	7	5	0.1	0.005	<2	235	0.02	3	0	0.1	0	0
CB-08	<0.4	<5	<5	3	0	<0.002	2	199	0.01	<1	0	0.1	0	0
CB-09	<0.4	<5	<5	4	0	0.005	<2	170	0.01	48	<0.01	0.3	0	0.2
CB-10	1.1	9	<5	194	2.9	0.105	22	80	1.78	426	0.5	11	2.7	5.3
RE-CB-10	<0.4	5	13	200	3	0.106	25	78	1.79	429	0.5	12	2.7	5.5

elemento	W	Zr	Sn	Y	Nb	Be	Sc
Cantidad	ppm						
Cuarzo 173	<4	2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-01	4	3	<2	<2	<2	<1	<1
CB-02	<4	3	<2	<2	<2	<1	<1
CB-03	<4	3	<2	<2	<2	<1	<1
CB-04	4	2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-05	<4	5	<2	12	<2	1	8
CB-06	4	<2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-07	4	<2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-08	<4	<2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-09	<4	<2	<2	<2	<2	<1	<1
CB-10	<4	10	2	26	5	2	14
RE-CB-10	<4	11	2	27	2	2	15

**TABLA 2. Segunda Campaña Geoquímica.**  
**Muestras Geoquímicas de Cerro Blanco**

Tipo	DESCRIP	Este	Norte	Altura	Au_Ppm	Ag_ppm	Al_per	As_ppm	B_ppm	Ba_Ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Ca_per
Qz	CB-01	289975	6557904	824	0.005	0.2	0.04	4	40	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-02	283399	6551168	950	0.005	0.2	0.01	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-03	286266	6549840	980	0.005	0.2	0.02	2	30	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-04	285637	6550933	976	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-05	285612	6550993	970	0.005	0.2	0.04	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-06	285610	6550945	980	0.005	0.2	0.02	2	30	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-07	285620	6550965	978	0.005	0.3	0.09	2	40	50	0.5	2	0.17
Qz	CB-08	285670	6550940	975	0.005	0.2	0.11	2	30	10	0.5	2	0.03
Qz	CB-09	285650	6550910	970	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-10	285650	6550882	965	0.005	0.2	0.01	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-11	285652	6550880	964	0.005	0.2	0.72	2	30	30	0.5	2	0.28
I	CB-12	285450	6551112	950	0.005	0.2	1.2	2	30	80	0.5	2	0.61
Qz	CB-13	285459	6551110	948	0.005	0.2	0.08	2	30	510	0.5	2	0.08
Qz	CB-14	285463	6551107	948	0.008	0.2	0.26	2	30	30	0.5	2	0.24
Qz	CB-15	285413	6551112	950	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-16	284425	6551323	926	0.007	0.2	0.11	2	40	10	0.5	2	0.06
Qz	CB-17	284412	6551321	925	0.005	0.2	0.22	2	30	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-18	284410	6551315	924	0.005	0.2	0.16	2	30	30	0.5	2	0.12
Qz	CB-19	284110	6551003	908	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-20	284107	6550990	907	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-21	284105	6550985	907	0.005	0.2	0.62	2	30	60	0.5	2	0.41
Qz	CB-22	284086	6550451	945	0.013	0.3	0.04	32	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-23	284080	6550440	940	0.006	0.2	0.03	2	50	10	0.5	2	0.05
I	CB-24	285725	6550720	942	3.44	10.4	2.26	9	20	20	0.5	2	0.68
I	CB-25	286090	6551143	914	0.011	0.7	1.76	2	20	20	0.5	2	0.22
I	CB-26	285925	6551368	894	0.009	0.4	1.39	2	30	30	0.5	2	0.46
I	CB-27	285922	6551361	920	1.185	0.3	0.69	2	30	50	0.5	2	0.14
Qz	CB-28	285965	6551420	919	0.005	0.2	0.08	2	40	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-29	283916	6551596	935	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-30	283910	6551590	934	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-31	284854	6552133	895	0.006	0.2	1.94	4	20	70	0.5	2	0.07
I	CB-32	284850	6552130	898	0.005	0.2	1.12	2	20	90	0.5	2	0.03
Qz	CB-33	284830	6552457	921	0.005	0.3	0.04	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-34	284525	6550707	933	0.005	0.2	0.06	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-35	284305	6550388	935	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-36	284521	6550446	946	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-37	284444	6550346	954	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-38	284502	6550346	945	0.005	0.2	4.12	17	10	150	0.5	4	0.99
I	CB-39	284500	6550340	940	0.005	0.2	0.2	2	40	50	0.5	2	0.05
I	CB-40	284495	6550350	943	0.005	0.2	0.77	2	30	50	0.5	2	0.63
Qz	CB-41	289339	6552724	937	0.005	0.2	0.01	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-42	288544	6553293	916	0.014	1.3	0.12	10	80	50	0.5	2	0.08
I	CB-43	287927	6553700	892	0.624	1.1	1.84	21	30	30	0.5	2	0.39
Qz	CB-44	287920	6553690	885	0.005	0.3	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-45	287764	6553482	880	0.311	0.2	1.24	2	30	30	0.5	2	0.29
I	CB-46	287760	6553487	879	0.013	0.2	1.33	8	30	40	0.5	2	0.32
I	CB-47	287680	6553508	860	0.008	0.4	0.46	4	20	40	0.5	2	0.33
Qz	CB-48	287587	6553253	886	0.006	0.2	0.03	2	50	10	0.5	2	0.01
I	CB-49	287580	6553261	885	0.005	0.2	2.04	2	30	100	0.5	2	0.05
I	CB-50	287592	6553257	880	0.005	0.2	0.25	2	40	20	0.5	2	0.03
Qz	CB-51	287635	6553136	870	0.014	0.2	0.03	2	10	10	0.5	3	0.3
Qz	CB-52	287631	6553131	867	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-53	287627	6553129	872	0.008	0.2	0.04	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-54	284854	6552133	895	0.005	0.2	0.22	2	30	120	0.5	2	0.09

I	CB-55	289722	6554937	866	0.154	1	0.19	21	90	50	0.5	4	0.21
Qz	CB-56	289148	6554652	876	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-57	289152	6554660	875	0.005	0.2	0.34	2	30	20	0.5	2	0.02
Qz	CB-58	288882	6556292	858	0.016	0.2	0.03	2	40	20	0.5	2	0.05
Qz	CB-59	288878	6556297	855	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-60	288780	6556520	851	0.005	0.2	0.06	2	40	10	0.5	2	0.05
Qz	CB-61	288631	6556290	842	0.005	0.2	0.05	2	30	10	0.5	2	0.04
Qz	CB-62	288542	6556322	841	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-63	288388	6556488	833	0.005	0.2	0.01	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-64	288016	6556920	833	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-65	288125	6557045	846	0.176	5.7	1.94	7	20	40	0.5	2	0.94
I	CB-66	288120	6557040	845	4.7	12.2	1.39	147	30	70	0.5	3	0.25
Qz	CB-67	288003	6557287	841	0.005	0.3	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-68	287856	6557273	847	0.005	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-69	288217	6555387	857	0.005	0.2	0.01	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-70	287856	6555547	858	0.005	0.2	0.04	2	30	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-71	286285	6553566	879	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-72	287405	6555060	860	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-73	287400	6555065	861	0.005	0.2	0.14	2	40	10	0.5	2	0.02
I	CB-74	288062	6555127	864	0.041	0.2	2.36	2	20	10	0.5	2	0.54
Qz	CB-75	288122	6556905	851	0.01	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-76	289420	6557073	864	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-77	289415	6557080	860	0.005	0.2	0.02	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-78	288980	6556910	848	0.01	0.3	0.06	4	30	10	0.5	2	0.03
Qz	CB-79	288900	6557015	842	0.005	0.2	0.07	2	20	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-80	288240	6557680	834	2.42	48.5	0.04	49	40	10	0.5	37	0.01
I	CB-81	288270	6557860	823	0.005	0.4	0.01	7	40	10	0.5	2	0.01
I	CB-82	287630	6556690	846	0.56	1.5	0.25	2	20	10	0.5	2	0.05
Qz	CB-83	287625	6556695	840	0.005	0.2	0.02	2	30	10	0.5	2	0.01
I	CB-84	287635	6556685	839	0.005	0.2	0.12	2	30	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-85	287861	6556710	850	0.008	0.2	0.03	2	40	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-86	287120	6553090	893	0.005	0.2	0.05	2	30	10	0.5	2	0.01
Qz	CB-87	286970	6553020	896	0.005	0.2	0.09	2	30	10	0.5	2	0.02
Qz	CB-88	286884	6552927	900	0.713	2.3	0.05	36	40	10	0.5	2	0.04

Tipo de roca: Qz-Brecha Ignea I-Intrusivo felsico o Brecha Hidrotermal.

Cd_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Fe_per	Ga_ppm	K_per	La_ppm	Mg_per	Mn_Ppm	Mo_ppm	Na_per	Ni_ppm	P_ppm
0.5	20	17	22	0.5	10	0.02	10	0.01	32	24	0.01	2	140
0.5	1	26	16	0.27	10	0.01	10	0.01	34	1	0.01	1	10
0.5	1	24	5	0.43	10	0.01	10	0.01	65	1	0.01	4	30
0.5	1	27	4	0.41	10	0.01	10	0.01	55	1	0.01	4	100
0.5	1	22	4	0.26	10	0.01	10	0.01	33	1	0.01	1	10
0.5	2	24	6	0.29	10	0.01	10	0.01	39	1	0.01	4	10
0.5	1	19	4	0.86	10	0.01	10	0.07	199	1	0.02	2	310
0.5	1	19	3	0.55	10	0.03	10	0.04	59	1	0.02	3	20
0.5	1	20	3	0.22	10	0.01	10	0.01	26	1	0.01	2	10
0.5	1	20	5	0.29	10	0.01	10	0.01	36	1	0.01	1	10
0.5	3	6	2	0.8	10	0.07	10	0.35	103	1	0.06	1	260
0.5	9	12	73	2.39	10	0.23	10	0.66	486	1	0.05	8	900
0.5	7	17	23	0.3	10	0.02	10	0.03	2720	2	0.04	2	250
0.5	3	4	30	0.37	10	0.14	10	0.04	64	1	0.01	1	960
0.5	1	25	8	0.56	10	0.01	10	0.01	114	2	0.01	2	30
0.5	2	21	35	0.73	10	0.01	10	0.04	234	1	0.01	2	400
0.5	2	15	61	0.69	10	0.03	10	0.02	85	1	0.01	1	610
0.5	2	20	77	0.6	10	0.02	10	0.04	302	1	0.01	4	810
0.5	1	23	20	0.57	10	0.01	10	0.01	114	5	0.01	2	10
0.5	1	20	18	0.41	10	0.01	10	0.01	52	2	0.01	3	10
0.5	2	5	107	0.49	10	0.04	20	0.2	126	1	0.04	2	530
0.5	1	25	353	0.4	10	0.02	10	0.01	46	8	0.01	3	20
0.5	1	29	53	0.66	10	0.01	10	0.01	81	3	0.01	2	220
2.1	10	1	10000	4.2	10	0.1	10	1.86	840	46	0.03	9	1040
0.6	12	1	10000	3.46	10	0.22	20	1.56	954	20	0.03	7	970
0.5	7	1	10000	2.85	10	0.22	20	1.14	761	19	0.03	6	950
0.5	1	1	10000	1.32	10	0.3	10	0.12	95	2	0.02	2	300
0.5	1	19	56	0.23	10	0.04	10	0.01	55	1	0.01	4	20
0.5	2	29	40	0.63	10	0.01	10	0.02	82	1	0.01	3	20
0.5	1	23	24	0.42	10	0.01	10	0.01	57	1	0.01	2	40
0.5	8	4	76	1.56	10	0.51	20	0.26	694	2	0.02	4	670
0.5	5	8	166	1.32	10	0.22	10	0.35	362	1	0.02	4	1440
0.5	1	26	158	0.46	10	0.01	10	0.01	67	11	0.01	3	110
0.5	1	22	9	0.62	10	0.04	10	0.01	78	2	0.02	1	60
1.2	1	25	15	0.44	10	0.02	10	0.01	57	11	0.01	2	10
0.5	1	23	17	0.45	10	0.01	10	0.01	59	2	0.01	3	10
0.5	1	29	8	0.57	10	0.01	10	0.01	70	2	0.01	2	10
0.8	43	78	1190	7.13	20	1.48	10	4.01	1270	1	0.03	34	1660
0.5	1	8	32	0.25	10	0.17	10	0.02	39	1	0.03	2	130
0.5	6	8	237	1.1	10	0.2	10	0.46	254	1	0.04	6	1540
0.5	1	26	353	0.59	10	0.01	10	0.01	118	5	0.01	4	20
0.6	52	2	608	30.5	10	0.02	30	0.02	341	12	0.02	1	600
1	16	2	10000	3.93	10	0.17	10	1.61	722	4	0.03	12	1020
0.5	1	24	30	0.43	10	0.01	10	0.01	52	1	0.01	2	10
1.6	1	1	10000	4.25	10	0.21	10	0.73	331	11	0.02	9	610
1.2	5	1	10000	4.13	10	0.22	10	0.8	517	32	0.03	5	660
0.5	1	3	5930	0.72	10	0.27	10	0.06	433	14	0.02	2	350
0.5	1	30	93	0.55	10	0.01	10	0.01	71	1	0.01	1	30
0.5	19	8	137	3.73	10	0.75	10	1.4	1070	5	0.02	17	1160
0.5	1	4	22	0.27	10	0.11	10	0.03	64	1	0.02	2	40
1.2	1	16	26	0.49	10	0.01	10	0.01	59	10000	0.01	5	10
0.5	1	24	14	0.4	10	0.01	10	0.01	51	321	0.01	1	10
0.5	1	18	3350	0.76	10	0.02	10	0.02	73	43	0.01	4	10
0.5	2	14	26	0.64	10	0.11	10	0.06	957	45	0.02	4	290
0.5	101	10	5720	18.55	10	0.03	20	0.04	195	20	0.02	1	1460
0.5	1	26	14	0.63	10	0.01	10	0.01	73	4	0.01	1	110

0.5	2	7	84	0.6	10	0.2	10	0.02	35	5	0.01	3	1020
0.5	1	24	1955	0.79	10	0.01	10	0.04	88	6	0.01	2	60
0.5	1	28	48	0.55	10	0.01	10	0.01	80	5	0.01	4	10
0.5	1	18	17	0.51	10	0.01	10	0.03	138	1	0.01	2	60
0.5	1	17	9090	0.75	10	0.03	10	0.01	92	564	0.01	8	40
0.5	1	23	19	0.51	10	0.01	10	0.01	66	4	0.01	3	10
0.5	2	22	13	0.44	10	0.01	10	0.01	58	2	0.01	4	10
0.5	1	24	30	0.48	10	0.01	10	0.01	55	1	0.01	2	10
1.1	11	1	10000	5	10	0.21	10	1.28	1220	11	0.01	8	690
2.1	22	1	10000	19.1	10	0.24	10	0.49	269	33	0.02	1	1020
0.5	1	21	52	0.61	10	0.01	10	0.01	70	2	0.01	4	10
0.5	1	19	48	0.5	10	0.01	10	0.01	60	2	0.01	2	10
0.6	1	25	12	0.39	10	0.01	10	0.01	51	3	0.01	5	10
0.5	1	16	10	0.44	10	0.01	10	0.01	55	1	0.01	1	10
0.5	1	21	8	0.48	10	0.01	10	0.01	65	2	0.01	3	30
0.5	1	19	9	0.41	10	0.01	10	0.01	50	2	0.01	2	10
0.5	1	5	4	0.17	10	0.14	10	0.01	23	1	0.02	2	10
0.6	14	2	10000	4.1	10	0.04	10	1.48	462	20	0.02	10	1060
0.5	1	19	17	0.41	10	0.01	10	0.01	52	1	0.01	3	10
0.5	1	20	53	0.41	10	0.01	10	0.01	50	1	0.01	1	10
0.5	1	22	5	0.49	10	0.01	10	0.01	59	1	0.01	2	30
0.5	2	15	1165	0.42	10	0.04	10	0.01	55	3	0.01	3	10
0.5	2	16	15	0.47	10	0.01	10	0.01	55	1	0.01	5	20
2.1	12	1	10000	5.57	10	0.02	10	0.01	57	30	0.01	11	650
0.5	1	24	211	0.42	10	0.01	10	0.01	53	2	0.01	3	20
0.5	1	1	8520	2.12	10	0.13	30	0.03	66	3	0.02	1	90
0.5	1	19	206	0.53	10	0.01	10	0.01	65	1	0.01	4	10
0.5	1	5	20	0.14	10	0.12	10	0.01	22	1	0.02	1	10
0.5	1	19	39	0.48	10	0.01	10	0.01	85	1	0.01	1	10
0.5	1	18	19	0.51	10	0.01	10	0.01	76	1	0.01	4	20
0.5	1	17	15	0.46	10	0.01	10	0.01	54	1	0.01	2	40
0.5	1	19	5570	0.98	10	0.01	10	0.03	85	4	0.01	3	150

Pb_ppm	S_per	Sb_ppm	Sc_ppm	Sr_ppm	Ti_per	Tl_ppm	U_ppm	V_Ppm	W_ppm	Zn_ppm	Hg_ppm
3	0.01	4	1	2	0.01	10	10	11	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	2	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.02
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	26	0.02	10	10	18	10	3	0.01
2	0.01	2	1	6	0.01	10	10	9	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
4	0.01	3	2	30	0.05	10	10	17	10	14	0.01
6	0.01	2	5	25	0.13	10	10	74	10	34	0.02
3	0.01	2	1	8	0.01	10	10	47	10	3	0.01
9	0.01	2	1	6	0.01	10	10	8	10	7	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	2	10	2	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	36	10	8	0.02
2	0.01	4	1	4	0.01	10	10	22	10	8	0.13
2	0.01	4	1	6	0.01	10	10	25	10	15	0.29
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.06
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	1	10	3	0.02
2	0.01	2	2	47	0.12	10	10	22	10	6	0.03
2	0.01	30	1	1	0.01	10	10	3	10	6	10.7
2	0.01	4	1	1	0.01	10	10	2	10	3	9.13
19	0.01	2	7	78	0.17	10	10	128	10	76	0.48
5	0.02	2	6	8	0.01	10	10	92	10	79	0.19
3	0.03	3	5	9	0.01	10	10	75	10	56	0.18
3	0.01	2	1	8	0.01	10	10	18	10	19	0.45
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	2	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	2	10	3	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.02
7	0.01	5	6	14	0.01	10	10	27	10	39	0.33
12	0.01	4	1	4	0.01	10	10	8	10	39	0.12
2	0.01	5	1	2	0.01	10	10	2	10	3	0.25
2	0.01	3	1	2	0.01	10	10	1	10	2	0.03
2	0.01	3	1	3	0.01	10	10	1	10	2	2.52
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	10	76	0.73	10	10	198	10	122	0.12
2	0.01	2	1	13	0.01	10	10	1	10	3	0.01
2	0.01	2	5	24	0.11	10	10	24	10	15	0.02
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	8	10	2	0.01
15	0.01	2	2	16	0.05	10	10	219	210	32	0.06
15	0.01	2	6	21	0.05	10	10	142	10	92	0.16
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
4	0.01	2	4	9	0.08	10	10	168	10	44	0.06
4	0.01	2	4	18	0.11	10	10	147	10	47	0.03
8	0.01	2	1	11	0.01	10	10	20	10	3	0.04
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	2	7	0.32	10	10	98	10	53	0.02
2	0.01	2	1	9	0.01	10	10	2	10	2	0.01
2	1.06	3	1	17	0.01	10	10	13	10	2	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	2	10	2	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	18	10	4	0.07
2	0.01	2	1	9	0.01	10	10	9	10	2	0.01
16	0.02	2	3	44	0.04	10	10	190	160	11	0.04
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01

2	0.01	2	1	3	0.01	10	10	15	10	2	0.01
5	0.01	2	1	1	0.01	10	10	18	10	6	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	3	10	3	0.01
2	0.01	4	1	3	0.01	10	10	12	10	2	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	34	460	4	0.03
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	2	10	2	0.02
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	2	10	2	0.01
37	0.01	3	2	118	0.1	10	10	108	10	138	0.82
13	0.07	16	3	61	0.01	10	10	503	30	48	4.89
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.02
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	1	4	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	1	0.01	10	10	3	10	2	0.01
2	0.01	2	1	4	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	4	31	0.12	10	10	120	10	51	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	2	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	2	0.01	10	10	1	10	2	0.01
12	0.01	2	1	3	0.01	10	10	7	10	12	0.01
2	0.01	3	1	4	0.01	10	10	8	10	6	0.05
152	0.16	2	1	1	0.01	10	20	152	120	218	2.76
25	0.01	2	1	1	0.01	10	10	3	10	6	0.06
2	0.01	2	1	6	0.01	10	10	33	10	5	0.04
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	3	1	3	0.01	10	10	1	10	2	0.01
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	1	10	2	0.02
2	0.01	2	1	1	0.01	10	10	3	10	2	0.01
2	0.01	2	1	2	0.01	10	10	2	10	2	0.01
4	0.11	7	1	2	0.01	10	10	19	10	5	0.29

## Geoquímica de Elementos Mayores

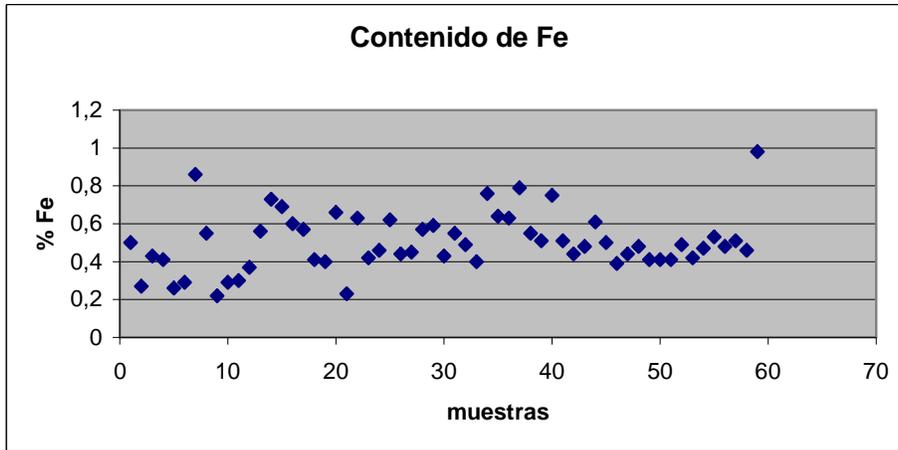


Figura 1. Contenido de Fe

Tabla 3. Estadística del Fe.

VARIANZA	0,0229159
PROMEDIO	0,50338983
MEDIANA	0,48
MODA	0,41
DESV. EST.	0,15137998

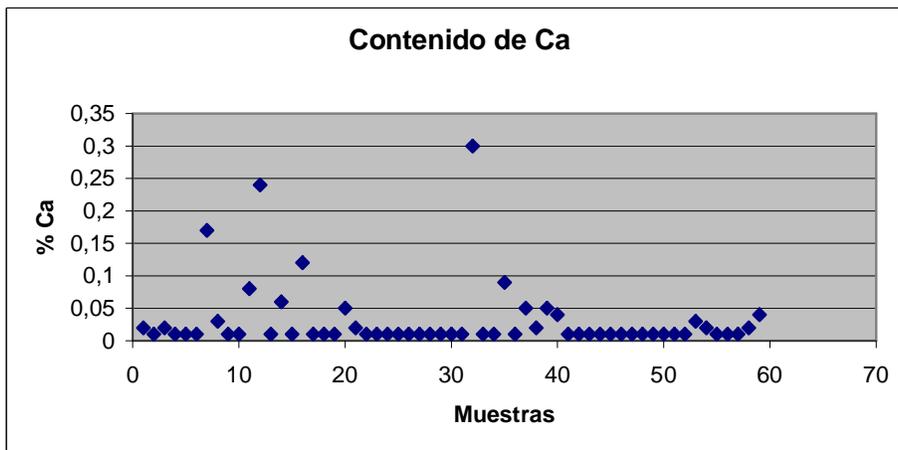


Figura 2. Contenido de Ca

Tabla 4. Estadística del Ca.

VARIANZA	0,0029166
PROMEDIO	0,03152542
MEDIANA	0,01
MODA	0,01
DESV. EST.	0,05400554

Figura 3. Contenido de Aluminio.

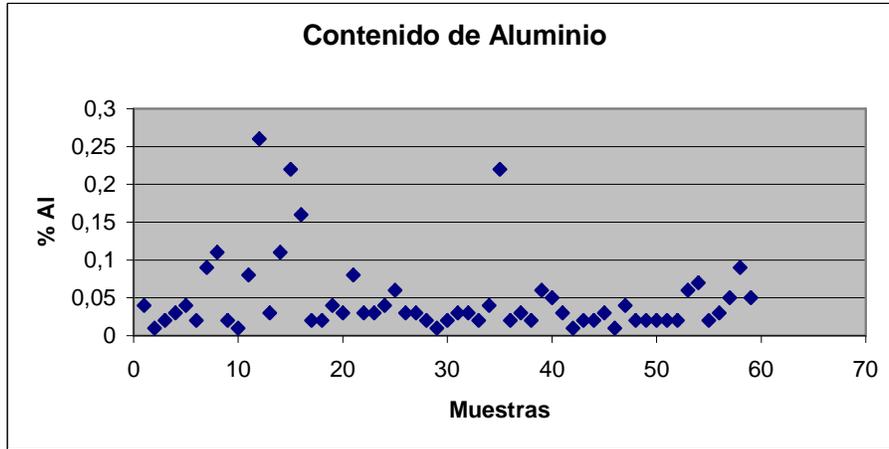


Tabla 5. Estadística del Aluminio.

VARIANZA	0,00270281
PROMEDIO	0,04847458
MEDIANA	0,03
MODA	0,02
DESV.	
EST.	0,05198851

Figura 4. Contenido de Magnesio.

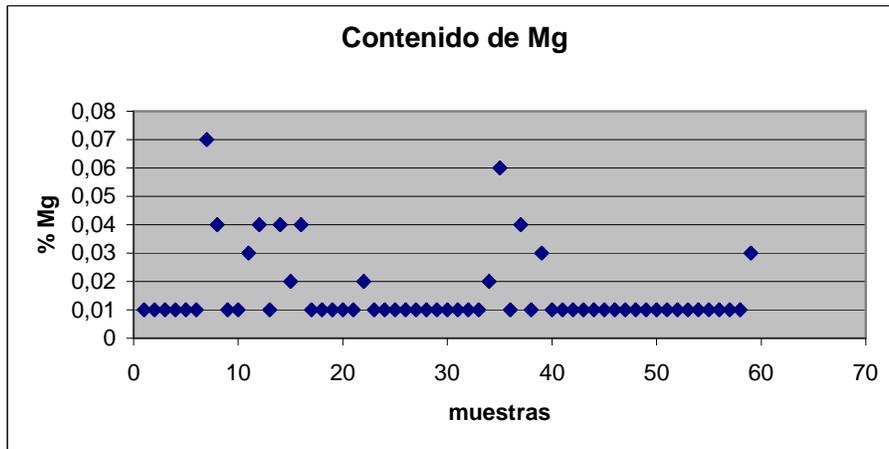


Tabla 6. Estadística del Magnesio.

VARIANZA	0,00017282
PROMEDIO	0,0159322
MEDIANA	0,01
MODA	0,01
DESV.	
EST.	0,01314621

Figura 5. Contenido de Potasio.

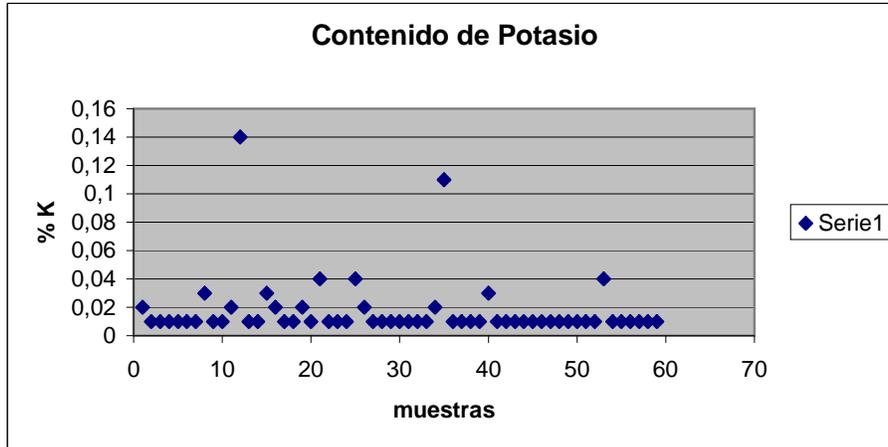


Tabla 7. Estadística del Potasio.

VARIANZA	0,0004848
PROMEDIO	0,01745763
MEDIANA	0,01
MODA	0,01
DESV.	
EST.	0,02201827

Figura 6. Contenido de Sodio

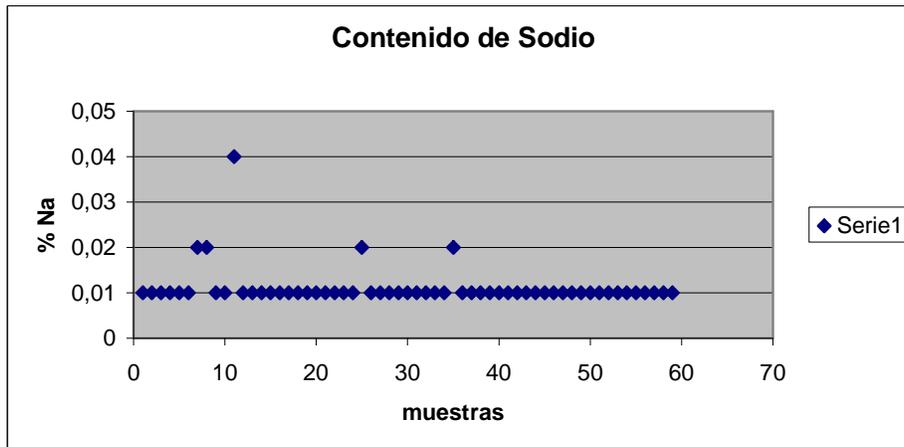


Tabla 8. Estadística del Sodio.

VARIANZA	2,1E-05
PROMEDIO	0,011186441
MEDIANA	0,01
MODA	0,01
DESV.	
EST.	0,004580598