

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y DE
MATERIALES

SANTIAGO - CHILE



“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL PROYECTO
GALLEGOS”

BENJAMÍN IGNACIO NÚÑEZ SÁNCHEZ

MEMORÍA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL DE MINAS

Profesor Guía

CARLOS HUNT RECABARREN

JULIO 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación técnico-económica del Proyecto Gallegos

Nombre del candidato(a): Benjamín Ignacio Núñez Sánchez

Carrera / Grado: Ingeniería Civil de Minas

Campus: San Joaquín **Departamento:** Departamento de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Materiales

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Carlos Hunt Recabarren, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/07/2026 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2026 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

En breves palabra, agradezco a todo aquel que participó en el proceso, especialmente a mi papá, mamá y hermano. También a mi pareja y toda su familia que siempre estuvieron preocupados de que todo resultara tal como se planeó. No me puedo olvidar de todos mis amigos, de la universidad y colegio, los del equipo de voleibol y en el último tiempo al equipo de ciclismo. Finalmente, le agradezco a HG que me dio la oportunidad de llevar a cabo este estudio y me ha dado la mano en más de una oportunidad.

Resumen

El presente documento consiste en la evaluación de un proyecto, denominado Proyecto Gallegos, que busca importar mineral de óxidos de cobre desde Bolivia para producir sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en las cercanías a Calama, II Región de Antofagasta, Chile. Para llevar a cabo esto, se plantea un caso base y diversos supuestos para determinar la viabilidad de la construcción de esta planta.

La base para justificar el proyecto es que existe la oportunidad de tratar óxidos de cobre con leyes buenas, ya que en Bolivia le ofrecen leyes de hasta 6% a la empresa. Además, a nivel mundial existe una gran cantidad de usos que se le dan al sulfato de cobre en diversas áreas industriales y existe una preferencia de que este sea de origen mineral y no de chatarra, potencia la idea de un proyecto de este tipo.

Inicialmente, se plantea un caso base, el cual es importar 7 camiones con mineral por semana con leyes entre un 2 y 6%, con tal de tener una producción de 840 [t/mes] por un periodo de 10 años. A partir de esta base, se realiza un estudio de mercado para determinar un precio de venta para el sulfato de cobre. Luego, a partir de supuestos, debido a la poca información del mineral, se estudia el caso considerando que los procesos de la planta son chancado, aglomerado y curado, lixiviación (LX), extracción por solvente (SX), cristalización (CR), recristalización (RCR), secado y envasado del producto, y requiere la construcción de todas las instalaciones. Así se obtiene la inversión y costos de la planta, logrando evaluar la rentabilidad del proyecto utilizando la herramienta del Valor Actual Neto (VAN).

El caso base planteado por la empresa considera procesar 6720 [t/año] de mineral con ley de 2.5% y se obtiene como resultado que el costo de operación es de 2.58 [USD/t] de mineral de óxido de cobre tratado. Además, asumiendo un precio de venta de 2.5 [USD/kg], se obtiene que el VAN es \$-6,577,722 [USD], por lo que no es factible. El proyecto comienza a ser más factible si la ley de cobre que ingresa a la planta es de al menos un 5.52% o si el precio de venta asciende por lo menos a 5.16 [USD/kg].

Una de las grandes dificultades del proyecto es asegurar buenas leyes para que sea factible, por lo que una alternativa a evaluar sería importar una mayor cantidad de mineral. También hay que tener en cuenta que en Chile existe un solo productor de sulfato de cobre pentahidratado y exporta más del 80% de su producción, lo que indica que se debe buscar compradores extranjeros principalmente.

Finalmente, este estudio deja la puerta abierta por si se quisieran evaluar otras alternativas, ya que, si bien el resultado inicial resulta negativo, al sensibilizar se pudo observar opciones factibles, pero que requieren mayor análisis.

Abstract

This document presents the evaluation of a project, called Proyecto Gallegos, which aims to import copper oxide ore from Bolivia to produce copper sulfate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) near Calama, in the Antofagasta Region of Chile. To assess the feasibility of building this plant, a base case and several assumptions were established.

The main justification for the project is the opportunity to process high-grade copper oxide ores, as the company has access to ore grades of up to 6% from Bolivia. In addition, copper sulfate pentahydrate has a wide range of industrial applications worldwide, and there is a preference for products obtained from mineral sources rather than scrap, which supports the development of this type of project.

The base case considers importing seven truckloads of ore per week, with copper grades ranging from 2% to 6%, to achieve a production capacity of 840 t/month over a period of 10 years. Based on this scenario, a market study was carried out to estimate the selling price of copper sulfate. Due to the limited information available about the ore, several assumptions were made regarding the process, which includes crushing, agglomeration and curing, heap leaching (LX), solvent extraction (SX), crystallization (CR), recrystallization (RCR), drying, and product packaging. The study also assumes the construction of all the required facilities. Capital and operating costs were then estimated, and the project's profitability was evaluated using the Net Present Value (NPV) method.

The company's base case considers processing 6,720 t/year of ore with an average copper grade of 2.5%. Under these conditions, the operating cost is estimated at USD 2.58 per tonne of copper oxide ore treated. Assuming a selling price of USD 2.50/kg, the project results in an NPV of –USD 6,577,722, indicating that it is not economically feasible. However, the project becomes feasible if the average copper grade reaches at least 5.52% or if the selling price increases to at least USD 5.16/kg.

One of the main challenges of the project is securing consistently high-grade ore, making it worthwhile to evaluate the alternative of importing larger quantities of mineral. It is also important to consider that Chile currently has only one producer of copper sulfate pentahydrate, which exports more than 80% of its production. Therefore, international customers would likely be the main target market.

Although the base case is not economically attractive, the sensitivity analysis identified scenarios that could become feasible. Therefore, this study provides a basis for future evaluations of alternative operating conditions and business opportunities.

Tabla de contenidos

I.	Antecedentes generales del estudio	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Consideraciones y alcances del estudio	3
II.	Antecedentes generales	4
2.1	Ubicación y acceso	4
2.2	Sulfato de cobre	4
2.2.1	Procesos	5
2.2.2	Usos sulfato de cobre	9
2.3	Evaluación económica	10
2.4	Marco teórico	10
2.4.1	Valor Actualizado Neto (VAN)	10
2.4.2	Costos de operación	11
2.4.3	Inversión	12
2.4.4	Demanda	12
2.4.5	Oferta	12
2.4.6	Flujo de caja	12
2.4.7	Ingresos y rentabilidad	12
III.	Metodología	14
3.1	Estudio de mercado	14
3.2	Ubicación de la planta	14
3.3	Materia prima, pruebas metalúrgicas y descripción de la planta	14
3.4	Descripción de la planta	15
3.5	Evaluación económica	16
IV.	Resultados	17
4.1	Estudio de mercado	17
4.1.1	Demanda	17
4.1.2	Oferta	19
4.1.3	Precios	20

4.1.4 Mercado Nacional	20
4.2 Ubicación de la planta.....	22
4.2.1 Concesiones mineras disponibles	22
4.2.2 Criterios para elegir lugar de emplazamiento	22
4.2.3 Descripción de las concesiones de exploración	23
4.2.4 Ubicación final para la planta	41
4.3 Materias primas	42
4.4 Pruebas metalúrgicas y capacidad de procesamiento.....	42
4.5 Descripción procesos e instalaciones de producción	44
4.5.1 Chancado	46
4.5.2 Aglomerado y Curado.....	48
4.5.3 Lixiviación.....	51
4.5.4 Extracción por Solvente.....	55
4.5.5 Cristalización	57
4.5.6 Recristalización.....	57
4.5.7 Secado.....	58
4.5.8 Envasado	58
4.6 Obras complementarias.....	58
4.6.1 Estanques de agua	58
4.6.2 Estanque de ácido sulfúrico.....	59
4.6.3 Estanque de combustible	59
4.6.4 Taller de mantención	59
4.6.5 Barrio cívico.....	59
4.6.6 Servicios sanitarios.....	59
4.7 Insumos y suministros.....	59
4.7.1 Reactivos	60
4.7.2 Agua potable	61
4.7.3 Agua industrial	61
4.7.4 Combustible	61
4.7.5 Aire comprimido	62
4.7.6 Energía eléctrica.....	62
4.8 Evaluación técnico-económica	63
4.8.1 Tarifa de compra.....	63

4.8.2 Inversión.....	63
4.8.3 Costos de operación.....	64
4.9 Evaluación económica.....	68
4.9.1 Resumen costo de operación e inversión	68
4.9.2 Flujo de caja.....	68
4.9.3 Sensibilización.....	70
V. Conclusiones	73
VI. Bibliografía	75
VII. Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1: Países que más sulfato de cobre importan. (OEC, 2022).....	18
Tabla 2: Potenciales clientes el año 2010 (RedMinera, 2010).....	19
Tabla 3: Países que más exportan sulfato de cobre. (OEC, 2022)	19
Tabla 4: Valores para el diseño de la planta.....	42
Tabla 5: Producción según la ley de cabeza.....	43
Tabla 6: Resumen de equipos en planta de chancado	46
Tabla 7: Características del chancador de cono.	47
Tabla 8: Características del harnero vibratorio.	48
Tabla 9: Resumen de potencias de equipos.....	48
Tabla 10: Consumos en kilogramos por tonelada de mineral.	49
Tabla 11: Resumen de equipos requeridos en el proceso de aglomeración.	49
Tabla 12: Resumen de potencia instalada en etapa de aglomeración.....	50
Tabla 13: Resumen dimensiones de pilas de lixiviación.....	52
Tabla 14: Resumen de potencia instalada en etapa lixiviación.	53
Tabla 15: Resumen de dimensiones de estanques.....	54
Tabla 16: Equipos utilizados en SX.	55
Tabla 17: Resumen de reactivos a utilizar.....	60
Tabla 18: Resumen de consumo de agua estimado.	61
Tabla 19: Resumen de consumo de combustible.	62
Tabla 20: Resumen de energía eléctrica estimada.....	62
Tabla 21: Grupos electrógenos para cada área de la planta.....	63
Tabla 22: Resumen de inversión del proyecto.	64
Tabla 23: Resumen costos de mano de obra en planta chancado, curado y apilado.	65
Tabla 24: Resumen costos de mano de obra en planta LX-SX-CR-RCR	65
Tabla 25: Resumen costos de mano de obra de mantención.	66
Tabla 26: Resumen de consumo y costo de combustible para energía eléctrica.	66
Tabla 27: Resumen de costos de operación.....	67
Tabla 28: Resumen costos administrativos	67
Tabla 29: Flujo de caja por 10 años para el caso base.	69
Tabla 30: VAN en función del precio de venta.....	70
Tabla 32: VAN en función de la ley de cobre, con precio de 3 [USD/kg].....	71
Tabla 33: Detalle de inversiones estimadas de la planta.	79
Tabla: 34: Detalle de costo de operación.	81

Índice de figuras

Figura 1: Vista general de ciudad Calama a la derecha y en rojo posibles lugares de emplazamiento de la planta	4
Figura 2: Proceso de obtención de sulfato de cobre usando soluciones saturadas de bateas. (Tabilo, 2012)	8
Figura 3: Proceso para obtener sulfato de cobre usando SX y cristalizador continuo. (Tabilo, 2012)	9
Figura 4: Exportaciones de Chile entre 2018 y 2022. (OEC, 2022).....	21
Figura 5: Importaciones de Chile entre 2018 y 2022. (OEC, 2022).....	21
Figura 6: Concesiones mineras de exploración disponibles en rojo y Calama a la derecha.	22
Figura 7: Vista general de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	23
Figura 8: Vista de zona norte de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	24
Figura 9: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur en el sector norte de Raúl.	25
Figura 11: Vista de zona sur de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	26
Figura 13: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este en el sector sur de Raúl.....	27
Figura 14: Vista general de la concesión Antonia (arriba) y la cuadrilla de los perfiles creados (abajo).	28
Figura 15: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur de Antonia.....	29
Figura 16: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este de Antonia.....	30
Figura 17: Vista general de la concesión Mercedes (arriba) y la cuadrilla de los perfiles creados (abajo).	31
Figura 18: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este en concesión Mercedes.	32
Figura 19: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur en concesión Mercedes.	32
Figura 20: Vista general de la concesión Luis (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	33
Figura 21: Perfiles con dirección norte-sur, ordenadas de oeste a este en concesión Luis.	34
Figura 22: Perfiles con dirección oeste-este, ordenadas de norte a sur en concesión Luis.	34
Figura 23: Vista general de la concesión Eduardo (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	35
Figura 24: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados de oeste a este en concesión Eduardo.....	36
Figura 25: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur en concesión Eduardo.....	36
Figura 26: Vista general de la concesión Lorena (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).....	37
Figura 27: Concesión Lorena, sector norte del río y perfiles de la zona (derecha).	38
Figura 28: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados de oeste a este, en el sector norte de Lorena.	38
Figura 29: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur, en el sector Lorena norte. ..	39
Figura 30: Concesión Lorena, sector sur del río y los perfiles creados (derecha).....	40
Figura 31: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados desde el oeste al este, sector Lorena sur.	40
Figura 32: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur, sector Lorena sur.	41
Figura 33: Gráfico de la ley de cabeza vs la producción de sulfato de cobre.	43
Figura 34: Diagrama de flujo de la planta (Tabilo, 2012).....	45
Figura 35: Diagrama de flujo de planta de chancado.	47
Figura 36: Diagrama de flujo de la etapa de aglomeración.	50

Figura 37: Diagrama con dimensiones de piscinas, vista en corte. (Anico, 2012).....	54
Figura 38: Diagrama de flujo de la etapa extracción por solventes.	56
Figura 39: VAN en función del precio de venta del sulfato de cobre.	70
Figura 40: VAN en función de la ley de cobre en el mineral boliviano.....	71
Figura 41: VAN en función de la ley de cobre en el mineral con precio de venta de 3 [USD/kg]. ..	72

I. Antecedentes generales del estudio

1.1 Introducción

El uso del cobre en diversos sectores industriales a nivel global, tales como la construcción, la energía, la producción de aparatos electrónicos, entre muchos otros, produce que la minería de este metal se vuelva una actividad económica sumamente importante. A raíz de esto, en Chile la minería del cobre es la principal actividad económica, siendo el mayor productor y exportador de este material.

El cobre se extrae a partir de minerales oxidados o sulfurados, dependiendo de cuál sea el caso se realizan diferentes métodos de procesamiento. Si se trata de un óxido de cobre, se opta por la hidrometalurgia, que considera la lixiviación (LX), la extracción por solventes (SX) y electro-obtención (EW). Por su parte, la pirometalurgia se asocia a los sulfuros de cobre, donde se realiza la concentración por flotación y mediante el fuego se obtienen ánodos de cobre.

Chile comercializa cátodos y ánodos de cobre, los cuales son productos intermedios de alta pureza que se obtiene a partir de minerales de óxido o sulfuros. Estos minerales presentan leyes bajas, menores al 1.5%.

Por otro lado, existen otros productos elaborados a partir del mineral de cobre, como el sulfato de cobre, el cual es un producto final con ley de un 25% aproximadamente. Este compuesto tiene diversos usos, tales como ser fungicida, control de plagas, suplemento alimenticio para animales, control de algas en tratamiento de agua, entre otros. La gran cantidad de usos que tiene genera una oportunidad de negocio, pero además hay que considerar que a nivel global se tiene preferencia por el sulfato de cobre que es elaborado a partir de mineral y no de chatarra. Esto se debe a que el producto creado con chatarra suele tener una elevada cantidad de impurezas, lo que lo convierte en un sulfato de cobre de baja calidad.

Los principales países que elaboran sulfato de cobre a partir del reciclaje de chatarra son Rusia y China. Por su parte, en Chile existe un solo productor de sulfato de cobre y corresponde a la Compañía Minera San Gerónimo, ubicada en la IV Región de Coquimbo.

En el presente estudio, se evaluará la posibilidad de importar mineral de óxido de cobre desde Bolivia para elaborar sulfato de cobre en una planta que sería construida en Calama, con una vida útil de 10 años inicialmente. Esto surge debido a que la empresa que solicita este estudio cuenta con información de que en Bolivia existen leyes de óxidos de cobre que oscilan entre un 2 y un 6%, lo cual sugiere un gran potencial del país vecino en el ámbito minero. Aprovechando las relaciones comerciales que tiene esta empresa con algunos pequeños mineros bolivianos, surge la idea de aprovechar las altas leyes de cobre, para lo

cual está la opción de importar y procesar el mineral. Sumando a esto la idea de no vender un producto intermedio, se opta por estudiar el sulfato de cobre, el cual es un producto final derivado del cobre con una ley de un 25%, aproximadamente.

Para evaluar esta idea, se considera estudiar el mercado del sulfato de cobre, determinando un precio base del producto para el estudio, A continuación, se sugiere la ubicación donde podría construirse una planta de este tipo en las cercanías de Calama, II Región de Antofagasta, Chile. Luego, se plantea el supuesto base de importar una determinada cantidad de mineral semanalmente (7 camionadas por semana) y a partir de esto se van realizando otros supuestos para ir describiendo la planta de sulfato de cobre y finalmente evaluar económicamente si es factible o no el caso inicial, pudiendo ser así la base para futuros estudios.

Este trabajo se basa principalmente en otro estudio realizado en 2012, donde se incluía la explotación del mineral en la IV región de Coquimbo, Chile, en las cercanías de Cabildo (Proyecto Anico, 2012). Aquel trabajo describe la explotación de la mina y la creación de una planta de sulfato de cobre, evaluando la viabilidad de esta. Pese a ser favorable el resultado en ese entonces, nunca se llegó a construir la planta de sulfato de cobre pentahidratado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar una evaluación técnico-económica al proyecto que busca elaborar sulfato de cobre en las cercanías de Calama, a partir de mineral de cobre traído desde Bolivia, describiendo el proceso, instalaciones necesarias a construir y la viabilidad de la idea.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de mercado, identificando la demanda y oferta mundial del sulfato de cobre.
- Describir el lugar donde se emplazará el proyecto.
- Describir los procesos para la obtención de sulfato de cobre.
- Determinar costos de operación e inversión de la planta, en función de los requerimientos del tratamiento de mineral.
- Determinar viabilidad mediante VAN

1.3 Consideraciones y alcances del estudio

La presente memoria de título se basa en la oportunidad de compra de mineral de óxido de cobre en Bolivia, de un sector que se mantiene confidencial. El estudio contempla lo siguiente:

- Para este caso el estudio de mercado solo incluirá exportaciones e importaciones según Aduanas de Chile.
- El análisis se centra en el estudio de mercado, la definición de procesos productivos y la estimación de costos de inversión y operación. No se incluyen evaluaciones ambientales ni diseños de ingeniería de detalle.
- El trabajo se desarrolla enfocado en la Región de Antofagasta, específicamente en la comuna de Calama.
- Los resultados se basan en información técnica, comercial y de mercado disponible hasta el año 2022, considerando proyecciones de operación a un horizonte de 10 años.
- El análisis económico contempla como variables principales la ley de cobre del mineral y el precio de venta del sulfato de cobre, realizando diversos supuestos para evaluar la rentabilidad del proyecto.
- Para el análisis de sensibilidad se considerarán solo la ley de cobre en el mineral y el precio de venta del sulfato de cobre.

II. Antecedentes generales

2.1 Ubicación y acceso

El proyecto Gallegos se ubica en la II Región de Antofagasta, en la comuna Calama, precisamente al suroeste de la ciudad. En este lugar se cuenta con concesiones mineras, en las cuales hay que definir el lugar óptimo para emplazar la planta.



Figura 1: Vista general de ciudad Calama a la derecha y en rojo posibles lugares de emplazamiento de la planta.

2.2 Sulfato de cobre

El sulfato de cobre es un compuesto químico de fórmula CuSO_4 y se presenta de dos formas: sulfato de cobre (I) y sulfato de cobre (II), dependiendo del estado de oxidación del átomo de cobre. Al sulfato de cobre (I) se le conoce también como sulfato cuproso o sulfato de dicobre y se caracteriza en que el ion de cobre está en estado de oxidación +1, lo que es muy inestable, por ende, es mucho menos frecuente el uso de este producto.

Por su parte, el sulfato de cobre (II) presenta formula $\text{CuSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_x$, con x entre 0 y 5, siendo el más común $x=5$, es decir, el pentahidratado. A partir de este producto, se prepara una gran cantidad de sales de cobre usadas en la industria, tales como otros sulfatos, óxidos, carbonatos, cloruros y oxiclорuros. El sulfato de cobre pentahidratado se caracteriza por poseer un color azul brillante, por lo que se le conoce como vitriolo azul y en estado natural

se encuentra como mineral de nombre calcantita. Si este se somete a temperaturas de 110°C, perderá moléculas de agua y se formará sulfato de cobre monohidratado, el cual es de un color blanco verdoso. Si a continuación se le aplica calor a 250°C, se perderán más moléculas y se obtendrá un producto blanco, el cual corresponde al sulfato de cobre anhidro.

2.2.1 Procesos

A grandes rasgos, los procesos que se utilizan para la elaboración de sulfato de cobre son similares a cuando se elaboran cátodos, solo cambian las últimas etapas, ya que en vez de realizar electro-obtención (EW) se utiliza el proceso de cristalización. De esta manera, el tratamiento del óxido de cobre para obtener sulfato de cobre consta de las siguientes etapas: chancado, aglomeración, lixiviación, extracción por solvente, cristalización, recristalización y secado.

2.2.1.1 Chancado

Esta primera etapa tiene como objetivo reducir el tamaño de las partículas, buscando tener uniformidad en el material con tamaños menores a $\frac{1}{4}$ de pulgada. Esto se debe a que el mineral que llega para ser tratado tiene diversos tamaños, los cuales pueden ir desde partículas menores a 1 [mm] hasta fragmentos mayores a 0.5 [m]. Además, esta etapa se realiza en seco. (Tabilo, 2012)

Típicamente, la planta de chancado cuenta con tres chancadores y un harnero vibratorio, conectados con correas transportadores para mover el material rocoso desde un lado al otro. El funcionamiento de esta planta comienza cuando ingresa el mineral al chancador primario de mandíbula, donde el tamaño se reduce y el material pasa al harnero vibratorio para ser clasificado según el tamaño. A continuación, si el mineral no tiene dimensiones óptimas, pasa al chancador de cono secundaria estándar o al chancador de cono terciario de cabeza corta, según el tamaño que tenga. De los chancadores secundarios y terciarios se recircula el material al harnero hasta que obtenga las dimensiones adecuadas. Por su parte, si el mineral presenta un tamaño menor a $\frac{1}{4}$ de pulgada, se pasará a la siguiente etapa: Aglomerado y curado. (Tabilo, 2012)

2.2.1.2 Aglomerado y Curado

El proceso de aglomerado consiste en humedecer el mineral chancado con líquido hasta alcanzar una cierta cantidad de agua, tal que se cree una tensión superficial suficiente. De esta manera, al colisionar las partículas entre sí, los finos y los gruesos se adhieren al formarse un puente líquido entre las partículas. Esto se realiza, ya que, para poder continuar con los procesos, se requiere que el lecho de partículas que conformarán la pila de lixiviación

sea permeable, para asegurar una buena percolación y dispersión de la solución lixiviante, sin escurrimiento preferencial.

Por otro lado, el proceso del curado consiste en rociar con solvente el mineral chancado, en este caso con ácido sulfúrico, seguido de un período de reposo o “curado”.

Estas etapas se realizan en conjunto en un tambor aglomerador inclinado que gira a baja velocidad, ocasionando el deslice y la aglomeración del mineral previamente mojado con agua y ácido. De esta manera, se obtiene que el mineral se encuentre acondicionado uniformemente y puede continuar al siguiente proceso. (Tabilo, 2012)

2.2.1.3 Lixiviación

Existen diversas opciones para la lixiviación, donde la elección del tipo de lixiviación dependerá principalmente de la ley y del tipo de mineral a tratar. En el caso del proceso del sulfato de cobre, la mayoría de las plantas utilizan la lixiviación en pilas o lixiviación por agitación.

La lixiviación en pilas es un método hidrometalúrgico, siendo el más importante para la extracción de cobre. Consiste en apilar mineral y rociarlo con una solución lixiviante que contiene ácido sulfúrico. El líquido percola a través de la pila, disolviendo los minerales de cobre y produciendo una solución enriquecida de cobre, la cual es llamada PLS (Pregnant Leaching Solution). Esta solución es recuperada y transportada a la siguiente etapa para continuar con la recuperación del cobre. Las pilas de lixiviación suelen utilizar grandes áreas, del orden de cientos de metros, teniendo una leve inclinación para permitir el escurrimiento de las soluciones. Además, generalmente se forma una especie de torta de unos 6 a 8 metros con un sistema de riego para rociar el ácido requerido. Dentro de sus ventajas destacan que conlleva un bajo costo de inversión y operación, y puede tratarse mineral de baja ley. Por el otro lado, las desventajas son que presenta largos ciclos de lixiviación y retención de soluciones, además de impactos económicos y ambientales a largo plazo. (Broggi, 2015)

Por su parte, la lixiviación por agitación es un método donde se agita el mineral finamente molido, lo que significa una mayor área de contacto entre la superficie y la solución lixiviante. Se utiliza para minerales con leyes altas o de alto valor comercial, por ejemplo, plata, oro, cobre, entre otros. El objetivo principal es obtener recuperaciones más altas en tiempos más cortos (Domic, 2001). Para este tipo de lixiviación existen dos maneras para realizar la agitación: Mecánica y neumática. La agitación mecánica es llevada a cabo por rotores (hélices o paletas planas) en el fondo del tanque (Ramírez y Martínez, 2014), mientras que la agitación neumática se realiza en tanques cilíndricos con un fondo cónico, por el cual se inyecta aire comprimido (Boni, 2018). Ambos sistemas sirven para mantener en suspensión al mineral hasta que se logra la disolución completa. Este movimiento dentro

de los tanques favorece las cinéticas de reacción, lo que permite el uso de reactivos oxidantes más agresivos (Domic, 2001). En cuanto a las ventajas de la lixiviación por agitación, destacan las altas recuperaciones que se alcanzan y el menor tiempo empleado, mientras que las desventajas son los altos costos de inversión y operación.

2.2.1.4 Separación Sólido-Líquido

A continuación de la lixiviación por agitación, hay que separar la fase acuosa, donde está contenida la solución de cobre y ácido sulfúrico, de la fase sólida que viene siendo el residuo final del proceso. Esto es llevado a cabo en dos instancias, circulando el flujo a través de un espesador inicialmente y luego por filtros de banda. Así se obtiene la solución rica, llamada PLS, que continuará al siguiente proceso. Por su parte, los residuos sólidos obtenidos son lavados para retirar y reutilizar los ácidos e iniciando el proceso de neutralización de los desechos. (Ramírez y Martínez, 2014)

2.2.1.5 Extracción por solventes (SX)

La etapa de extracción por solventes, conocida como SX del inglés Solvent Extraction, tiene como objetivo la extracción selectiva del cobre contenido en las soluciones de lixiviación. Esto se lleva a cabo mediante un solvente orgánico que entra en contacto con la solución PLS, de tal manera que se produce un intercambio iónico, formando una solución pura y concentrada de sulfato de cobre, la cual es llamada electrolito rico. El reactivo utilizado durante este proceso tiene la capacidad de descargar el cobre y formar una solución de mayor pureza, la cual es apta para la próxima etapa de cristalización. En este proceso se recibe la solución rica que proviene de las pilas de lixiviación, la cual se caracteriza por tener baja concentración de cobre disuelto e impurezas tales como Fe, Cl, Mn, Al, Mg, Mn, entre otros. (Tabilo, 2012)

2.2.1.6 Cristalización

En esta etapa se recibe el electrolito rico de la planta SX y se pone en contacto con una solución pobre pero concentrada en ácido sulfúrico. El objetivo de esto es producir el efecto de ion común, con tal que aumente la concentración del anión sulfato y baje la solubilidad del sulfato de cobre, lo que produce que precipite y forme cristales de sulfato de cobre pentahidratado. Estos tienen tamaño entre uno y dos centímetros, pero también se puede controlar la granulometría y obtener pequeños cristales celestes, a los cuales se les conoce como sulfato “tipo nieve”, para lo que se requiere otra etapa de cristalización.

El proceso de cristalización se divide en dos etapas. La primera etapa de cristalización es cuando se mezcla la solución saturada en ácido sulfúrico con el electrolito rico, con tal de descargar el electrolito, promover el intercambio y generación de núcleos cristalinos. A

continuación, la segunda etapa de cristalización ocurre dentro del equipo cristizador, donde comienza la segunda etapa de nucleación y crecimiento cristalino para finalmente precipitar el sulfato de cobre en grado industrial. Además, en esta etapa se extraen las soluciones utilizadas en el proceso, el electrolito y el orgánico con impurezas. (Tabilo, 2012)

Por otro lado, el producto mayormente comercializado se produce a partir de soluciones acuosas de sulfato de cobre y chatarra de cobre, generalmente en cristalizadores por enfriamiento o en bateas. Estas soluciones son preparadas haciendo circular una solución de ácido sulfúrico por una torre que contiene gránulos metálicos de cobre secundario (recortes de alambres chatarra y otros despuntes industriales) de hasta 5.08 [cm] de diámetro, mientras que en forma simultánea circula aire en contracorriente para oxidar gradualmente el cobre metálico en ion cúprico, Cu^{2+} . (Tabilo, 2012) En cuanto a las impurezas, mayoritariamente se acumulan como un barro que se filtra y se retira para recuperar metales preciosos, en caso de que hubiera. A continuación, se muestra el diagrama de flujo para la producción de cristales de sulfato de cobre asociado a la lixiviación de cobre secundario granulado, en un cristizador de batea con enfriamiento.

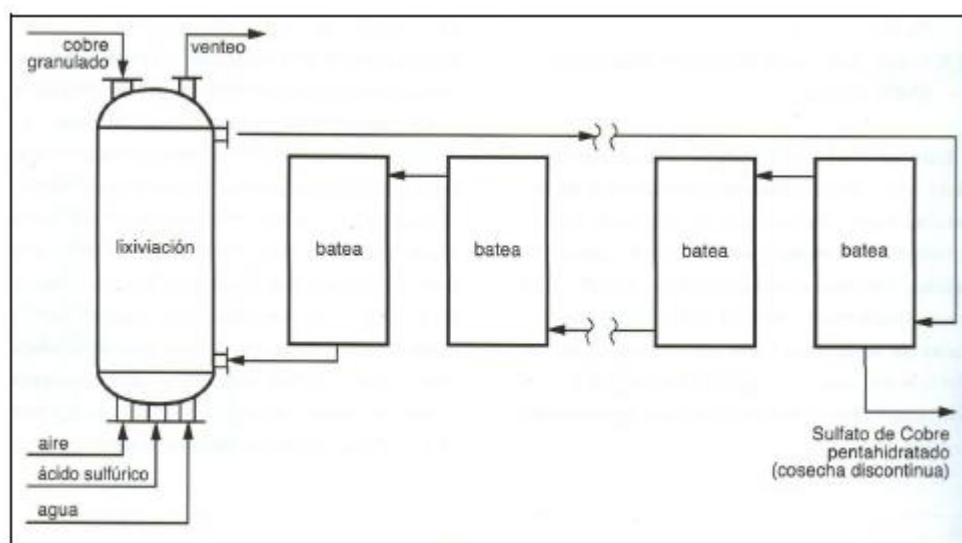


Figura 2: Proceso de obtención de sulfato de cobre usando soluciones saturadas de bateas. (Tabilo, 2012)

Por otro lado, se presenta la producción de cristales de sulfato de cobre mediante el uso de un cristizador continuo por enfriamiento, el cual se asocia al uso de pilas de lixiviación y extracción por solventes.

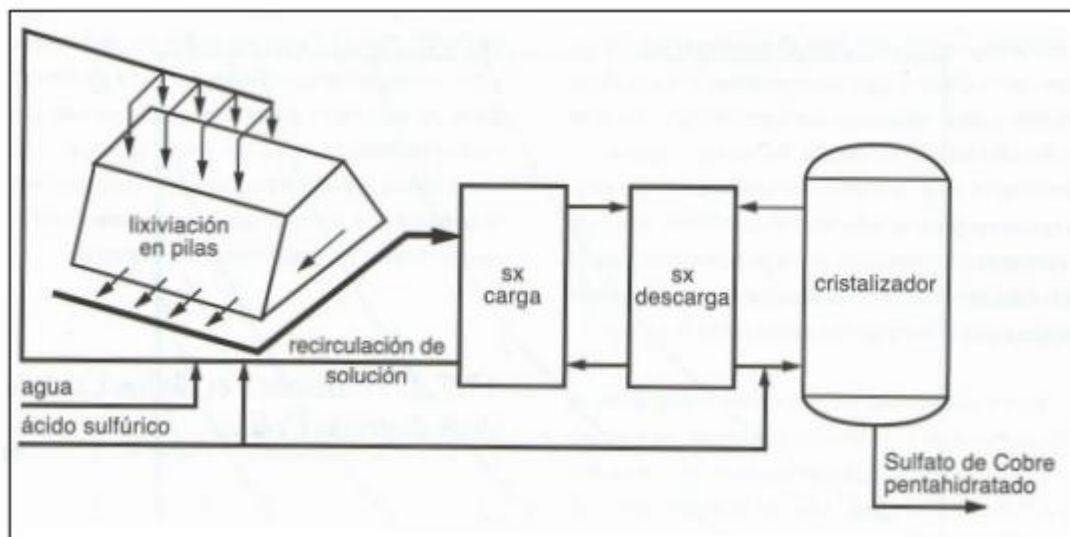


Figura 3: Proceso para obtener sulfato de cobre usando SX y cristalizador continuo. (Tabilo, 2012)

2.2.1.6 Recristalización

Esta etapa es requerida en caso de buscar un producto de grado alimenticio, es decir, con cristales pequeños. Al igual que en la cristalización, acá también se divide en dos etapas. La primera etapa de recristalización consiste en disolver los cristales de sulfato de cobre en agua caliente, a unos 46°C, formando una pulpa, sacando los excedentes por rebose. El siguiente paso busca producir los cristales en sí, para lo que se mezcla la pulpa de cristales con agua de enfriamiento (15°C), comenzando el proceso de nucleación y crecimiento cristalino, obteniéndose sulfato de cobre en grado alimenticio. Los cristales obtenidos son transportados a la etapa de centrifugado y secado. (Tabilo, 2012)

2.2.1.7 Centrifugado y Secado

Estas son las últimas etapas previo al envasado del producto. El centrifugado es un proceso para reducir la cantidad de agua al centrifugar la pulpa con que se alimenta, ya que contiene entre 30% y 35% de agua. Finalizado esto, se procede a secar los cristales, para lo cual se utiliza un horno a una temperatura de 90° para evitar que pierda mayor cantidad de agua y deje de ser sulfato de cobre pentahidratado.

2.2.2 Usos sulfato de cobre

El sulfato de cobre es un producto versátil que se utiliza en diversas industrias, donde las principales son el sector agrícola, el ganadero, la minería, el tratamiento de aguas, entre otros.

Este derivado del cobre se usa en el sector agrícola como fungicida, por sus características pesticidas, y como insumo en fertilizantes. Por su parte, en la industria ganadera se utiliza como suplemento alimenticio, ya que el cobre es esencial en la dieta del ganado. En la minería, específicamente en la flotación, se usa como reactivo para mejorar la selectividad en de los minerales de cobre en el proceso de concentración. En cuanto al tratamiento de aguas, el sulfato de cobre sirve para controlar el crecimiento de algas y microorganismos.

2.3 Evaluación económica

La evaluación económica corresponde a la parte final de un análisis de factibilidad en proyectos de inversión. Para esto, se concentra toda la información generada de los capítulos de un documento o estudio, y se aplican métodos de evaluación económica que contemplan el valor del dinero a través del tiempo, con el fin de medir la eficiencia de la inversión total involucrada y su posible rendimiento a lo largo de la vida útil del proyecto (Gómez, s/f).

En los proyectos lucrativos, esta evaluación es esencial y debe llevarse a cabo minuciosamente, ya que a partir de los resultados obtenidos se toman decisiones de llevar a cabo o no un determinado proyecto (Gómez, s/f).

El valor actual neto es uno de los criterios económicos más utilizados en las evaluaciones de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera un proyecto y comparar esa equivalencia con el desembolso inicial (Gómez, s/f).

2.4 Marco teórico

2.4.1 Valor Actualizado Neto (VAN)

El valor actual neto consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo que genera un proyecto y comparar esa equivalencia con el desembolso inicial. (Gómez, s/f).

Para su cálculo se debe contar con una tasa de descuento o un factor de actualización al cual se le descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente. De esta manera, el valor actual neto es precisamente el valor monetario que resulta de resta la suma de los flujos descontados de la inversión inicial, lo que significa comparar todas las ganancias esperadas contra los desembolso necesarios para producir esas ganancias en el tiempo cero (presente). (Gómez, s/f)

La fórmula para determinar el VAN es la siguiente (Velayos, 2014):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Considerando:

- F_t : Flujos de dinero en cada periodo t
- I_0 : Inversión que se realiza en el momento inicial ($t = 0$)
- n : número de periodos de tiempo
- k : tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Con este método de evaluación económica, se acepta o rechaza un proyecto según los siguientes criterios (Velayos, 2014):

- $VAN < 0$: Si el VAN es negativo, el proyecto no se considera viable.
- $VAN = 0$: Si resulta ser igual a cero, entonces el proyecto es indiferente
- $VAN > 0$: Si el VAN es positivo, entonces el proyecto se acepta.

2.4.2 Costos de operación

Los costos asociados a la producción de sulfato de cobre, llamados costos operativos, pueden fluctuar según varios elementos, como la ubicación geográfica del proyecto y las regulaciones ambientales y de seguridad laboral (Contreras, 2024). Estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Mano de Obra:** Se refiere al costo de tener personal que opera la planta, se incluyen los salarios, beneficios y capacitaciones.
- **Administrativos:** Se refiere a los gastos asociados al personal administrativo requerido para que la planta opere.
- **Energía eléctrica:** Es el valor de la cantidad de la energía eléctrica necesaria para que la planta funcione, la cual tiene un costo por kW.
- **Consumibles:** Esto incluye reactivos químicos, tales como ácidos, extractante, solventes y otros solventes que se requieran para el proceso.
- **Agua:** Es el valor de la cantidad de agua requerida para llevar a cabo el proceso.
- **Combustibles:** Es el valor del consumo de combustible, diésel en su gran mayoría, utilizado en vehículos livianos o pesados, necesarios para la operación de la planta.
- **Mantenimiento y Reparaciones:** Se requiere mantenimientos preventivos y correctivos para las máquinas y equipos utilizado en la planta, lo que involucra un costo a considerar.
- **Depreciación y Amortización:** Los equipos e infraestructura tendrán un ciclo de vida y se deben considerar sus costos de depreciación.

- **Maquinaria y Transporte:** El movimiento de materiales dentro y fuera del sitio también afecta los costos operativos, por lo que hay que considerar el costo que tiene asociado cada equipo.

A partir de todos los costos descritos, se suman y se obtiene el costo operativo total (Tabilo, 2012).

2.4.3 Inversión

Los costos de inversión, los cuales son aquellos que se dan desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta poco antes de la producción del primer producto, por lo que se incluye desde estudios de factibilidad hasta compra de equipos o construcciones previas a la operación. (Dotres, 2020).

La inversión en la construcción de una planta de sulfato de cobre incluye: Planta de chancado y aglomerado, planta de lixiviación, planta de extracción por solvente, equipos de cristalización, laboratorios y elementos complementarios para el funcionamiento de la planta en general. El costo de inversión viene dado por la suma de todos estos elementos requeridos para construir una planta para producir sulfato de cobre (Tabilo, 2012).

2.4.4 Demanda

La cantidad demandada de un bien determinado es la cantidad que de ese bien están dispuestos a adquirir los compradores, la cual podrá ser mayor o menor según como sea el precio, expectativa que se tiene del producto, los ingresos de compradores, la cantidad de compradores, entre otros. (Mankiw, 2022).

2.4.5 Oferta

La cantidad ofrecida de cualquier bien o servicio es la cantidad que los vendedores quieren y pueden vender y dependerá de los precios de venta, precios de insumos, cantidad de vendedores, tecnología, entre otros (Mankiw, 2022).

2.4.6 Flujo de caja

El flujo de caja es un término que describe el flujo neto de efectivo disponible para una empresa o particular. Este indicador es importante en la financiación de una empresa, ya que representa la diferencia entre ingresos y gastos. Se utiliza como herramienta para determinar cuánto dinero se dispone en el tiempo, para realizar gastos o inversiones (Munich Business School, 2024).

2.4.7 Ingresos y rentabilidad

El ingreso y la rentabilidad de un proyecto que busca construir una planta de sulfato de cobre viene dado principalmente por lo siguiente:

- Precio del producto: El precio del sulfato de cobre es determinante para calcular los ingresos que se pueden obtener del proyecto. Este precio puede fluctuar significativamente en función de la oferta y la demanda en el mercado global, impactando directamente el flujo de caja del proyecto.
- Ley del mineral: Es el porcentaje de mineral de interés dentro de la roca, por lo que sí es de alta ley, resulta en menor costo de procesamiento por unidad de metal recuperado, lo que mejora la rentabilidad.
- Recuperación: Corresponde a la eficiencia en la extracción del metal a partir del mineral base, mientras mayor recuperación más se aprovecha el mineral de interés.

III. Metodología

La metodología de la presente memoria se divide en 4 etapas, las cuales son: Estudio de mercado, posible ubicación de la planta, descripción de la planta y evaluación económica.

3.1 Estudio de mercado

En primera instancia, se realiza un estudio de mercado del sulfato de cobre, para ello se inicia identificando los países que más exporten e importen sulfato de cobre a nivel mundial.

En segundo lugar, se procede a estimar un valor de mercado para el sulfato de cobre, para lo cual se utiliza un promedio de las cantidades y los precios de exportación. Este valor será utilizado posteriormente para la evaluación económica del proyecto.

3.2 Ubicación de la planta

En un proyecto que busca construir una planta es relevante tener un lugar con buenos accesos y pocos accidentes geográficos, de manera que la construcción tenga el menor costo posible asociado. Es por esto, que se evalúa preliminarmente los lugares donde posiblemente podría ubicarse esta planta.

Como se busca tener una idea de donde se podría ubicar, se utilizan imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, sobre las cuales se dibujan las diferentes concesiones mineras. Utilizando la herramienta “Ruta” de Google Earth, se realizan cortes en sentido norte-sur y oeste-este y se analizan los distintos perfiles del terreno, de esta manera se tiene una idea de lo accidentado que son las distintas concesiones. Además, de las imágenes satelitales se visibilizan los caminos existentes en los alrededores, de tal manera que se pueda analizar la accesibilidad a los lugares.

De esta manera, los criterios para seleccionar una concesión será la que tenga los caminos más cerca para evitar el costo de construcción de estos. Además, tendrá que ser un lugar idealmente con poca pendiente y/o pocos accidentes geográficos, evitando grandes movimientos de tierra. Hay que considerar también que las concesiones que atraviesan el río Loa son divididas en norte y sur, estudiándose por separado cada zona.

3.3 Materia prima, pruebas metalúrgicas y descripción de la planta

El alma del proyecto es la buena ley que ofrecen en Bolivia, por lo que el tercer paso de esta metodología es describir el material, obtener las leyes y recuperación de cobre, y describir como será la planta.

El estudio se inicia de la base de enviar 5 camiones de 28 toneladas a la semana, de tal manera se calcula la cantidad de mineral de óxido al mes. Con esta información y el supuesto de que la recuperación es de un 80% y la ley del sulfato de cobre es de un 25.46%, se elabora una tabla de la producción según la ley de cabeza, en la cual se obtiene la cantidad de sulfato de cobre mensual por cada porcentaje de ley de cabeza, según la siguiente fórmula:

$$t_{CuSO_4} = \frac{t_i \times \%_{Cu} \times R}{\%_{CuSO_4}} \quad (1)$$

Donde:

- t_{CuSO_4} : Toneladas mensuales de Sulfato de cobre (ton)
- t_i : Tonelaje mensual de mineral (ton)
- $\%_{Cu}$: Ley de cobre
- $\%_{CuSO_4}$: Ley de cobre en sulfato de cobre
- R : Recuperación

Luego, a partir de la producción mensual, se obtiene la producción anual y se multiplica por el precio obtenido del estudio de mercado, de tal manera que se tienen los ingresos anuales por venta de sulfato de cobre.

$$I = t_{anual \ CuSO_4} \times P \times 1000 \quad (2)$$

Donde:

- I : Ingresos anuales en dólares (USD)
- $t_{anual \ CuSO_4}$: Tonelaje anual de producción de sulfato de cobre (ton)
- P : Precio del cobre en dolar por kilo $\left(\frac{usd}{kg}\right)$

Luego, se analizará el proyecto y se realizará la evaluación económica, para lo cual es necesario tener todos los parámetros de la planta y las construcciones necesarias para llevar a cabo el proyecto. Se evaluarán los costos de inversión y operación, realizando un flujo de caja para determinar la viabilidad del proyecto.

3.4 Descripción de la planta

A continuación, se procede a describir cada proceso de la planta y sus componentes de manera general, incluyendo la potencia instala que luego se utiliza para calcular costos.

Además, se mencionan las obras complementarias, insumos y suministros requeridos en cada etapa del procesamiento del mineral.

3.5 Evaluación económica

Finalmente, para realizar la evaluación económica del proyecto, se ordenan las inversiones y los costos de operación del proyecto. Con estos valores y los ingresos, se procede a crear una tabla de flujo de caja, donde se anotan ordenadamente los datos y se proyecta el flujo de la caja a través de los años, en este caso, suponiendo una vida útil del proyecto de 10 años y un interés anual de 9%.

A continuación, se utiliza la herramienta del VAN en Excel, para determinar si el valor actualizado neto es positivo o negativo, lo que permite saber si es viable o no el proyecto a través del tiempo. A partir de este resulta se realiza una sensibilización, probando diferentes casos en busca de algún mejor escenario posible.

IV. Resultados

4.1 Estudio de mercado

Ante el desarrollo del conocimiento científico, se ha logrado identificar una gran cantidad de aplicaciones para el sulfato de cobre. Esto ha generado un aumento del consumo y, por ende, de la producción, de los cuales los principales países importadores de sulfato de cobre son Estados Unidos, Canadá y Australia, mientras que los exportadores son Rusia, México y China (OEC, 2022).

4.1.1 Demanda

El mercado del sulfato de cobre exige gran cantidad de productos en grado alimenticio, ya que los compradores son en su mayoría del sector agroindustrial. Los países que más importan sulfato de cobre pentahidratado en grado alimenticio son los siguientes (RedMinera, 2010):

-Norteamérica: Estados Unidos y Canadá se encuentran en el tope de la lista de los países más importadores de sulfato de cobre pentahidratado. Son países que exigen una alta calidad del producto, con la menor cantidad posible de dioxinas, lo cual es corroborado con pruebas de calidad. Esto se debe a que es utilizado en animales mayoritariamente, buscando que no se enfermen al ingerir el producto (RedMinera, 2010).

-Europa: Destacan países agroindustriales, donde la demanda ha sido abastecida por Rusia y China, básicamente, pero sumado a la producción de los países europeos. Dentro del ranking de los países que más sulfato de cobre importan, se encuentran los Países Bajos, Alemania, Francia, Reino Unido y Polonia, todos dentro del top 10 mundial en el año 2018 (RedMinera, 2010).

-Asia y Oceanía: En este sector del mundo, aparece Australia, Indonesia y Malasia como grandes importadores (RedMinera, 2010).

-América Latina: Existe mercado en el sector ganadero mayoritariamente, donde hay gran interés por el tema. En Chile, Agrosuper es la empresa que más consume sulfato de cobre pentahidratado, también en grado alimenticio para animales (RedMinera, 2010).

A continuación, se muestra la tabla resumen con los países que mayor cantidad de sulfato de cobre importan.

Top importadores 2019-2021		
N°	País	Total (MUS\$)
1	Bélgica	\$ 829.0
2	Estados Unidos	\$ 305.0
3	Canadá	\$ 200.0
4	Australia	\$ 195.0
5	Países Bajos	\$ 134.0
6	Alemania	\$ 84.8
7	Malasia	\$ 84.5
8	Indonesia	\$ 82.7
9	Taiwán	\$ 64.7
10	Corea del Sur	\$ 53.7

Tabla 1: Países que más sulfato de cobre importan. (OEC, 2022)

Actualmente, Chile tiene tratados de libre comercio con diversos países, tales como Australia, Canadá, Corea del Sur, Estados Unidos y algunos de Europa. Esto quiere decir que, al exportarse sulfato de cobre chileno, este puede ingresar a los mercados siendo libre de arancel.

Cabe mencionar que los países desarrollados tienen una buena visión de Chile como productor de sulfato de cobre, ya que tiene pocas impurezas y niveles de humedad buenos para un transporte prolongado. Chile logra tener bajas cantidad de impurezas al utilizar minerales de cobre para elaborar el producto, a diferencia de otros países que utilizan la chatarra como materia prima, lo que les genera gran cantidad de impurezas al producto final de sulfato de cobre.

En el año 2010, RedMinera desarrolla para la Sociedad Contractual Antakena una lista con potenciales clientes que pudiesen estar interesados en el sulfato de cobre pentahidratado en grado alimenticio. Dentro de esa lista destacan los siguientes:

Potencial Cliente	País	Requerimiento [t/año]
Pestell Mineral	Canadá	2400-3600
Industria EMU	Colombia	800-1200
Festisur	Perú	2500
Agrosuper	Chile	720
Sanimax Marketing	Canadá	15000
Conagran	Colombia	300-600
PQP	Colombia	650
Cuadra Chemical	Canadá	1200
Agraria	Brasil	720
SooLim Corp	Corea del Sur	2400-3600

Tabla 2: Potenciales clientes el año 2010 (RedMinera, 2010)

4.1.2 Oferta

Históricamente el mercado del sulfato de cobre se ha caracterizado por poseer muchos oferentes, pero todos pequeños. Estos suelen utilizar la chatarra como materia prima para la elaboración del sulfato de cobre, lo que ha generado una gran dependencia al mercado de la chatarra.

A continuación, se muestra una tabla con los principales exportadores de sulfato de cobre durante los años 2019, 2020 y 2021:

Top exportadores 2019-2021		
N°	País	Total (MUS\$)
1	Sudáfrica	\$ 864.0
2	Rusia	\$ 307.0
3	Taiwán	\$ 255.0
4	México	\$ 250.0
5	Arabia Saudita	\$ 143.0
6	Turquía	\$ 136.0
7	Estados Unidos	\$ 133.0
8	China	\$ 96.6
9	Polonia	\$ 74.1
10	Italia	\$ 59.2

Tabla 3: Países que más exportan sulfato de cobre. (OEC, 2022)

Es posible visibilizar que se repiten países de la lista de importadores, esto debido a que existen varias empresas que son distribuidoras del producto, por lo que ingresan producto al país, pero luego lo exportan a otro lugar.

4.1.3 Precios

El sulfato de cobre es un producto que no se transa en la bolsa y su precio se ve determinado por su calidad, lo que lo hace muy variable. Tiene gran implicancia en el precio final la cantidad de impurezas, la granulometría y su capacidad de libre escurrimiento.

Además, al existir un mercado de pequeños oferentes, los productos presentan distintas calidades, incluso para un mismo productor. Esto se debe a que puede variar la calidad de la chatarra o la alimentación del proceso de cristalización.

El precio de un saco de 25 kg de sulfato de cobre ronda los 5.2 [USD/kg] en Chile y por kilo aumenta hasta el doble su precio. Cabe destacar que, al aumentar el volumen de venta, el precio disminuye, por lo que para el estudio se utilizará un precio base de 2.5 [USD/kg]. Esto se hará debido a que al estudiar las cantidades exportadas y dividir las por el monto que se exportó, se obtiene un valor de 2.41 [USD/kg] para el año 2022.

4.1.4 Mercado Nacional

Durante el año 2021, Chile se posicionó en el lugar número 13 mundial con 20 millones de dólares de en exportaciones de sulfato de cobre. En los últimos cinco años, se ha enviado al exterior un total de 42.952 toneladas, siendo Canadá el país al que más se ha exportado sulfato de cobre, con un total de 16.065 toneladas (OEC, 2022).

A continuación, se muestra un gráfico con los países que más han exportado producto chileno en los último cinco años:

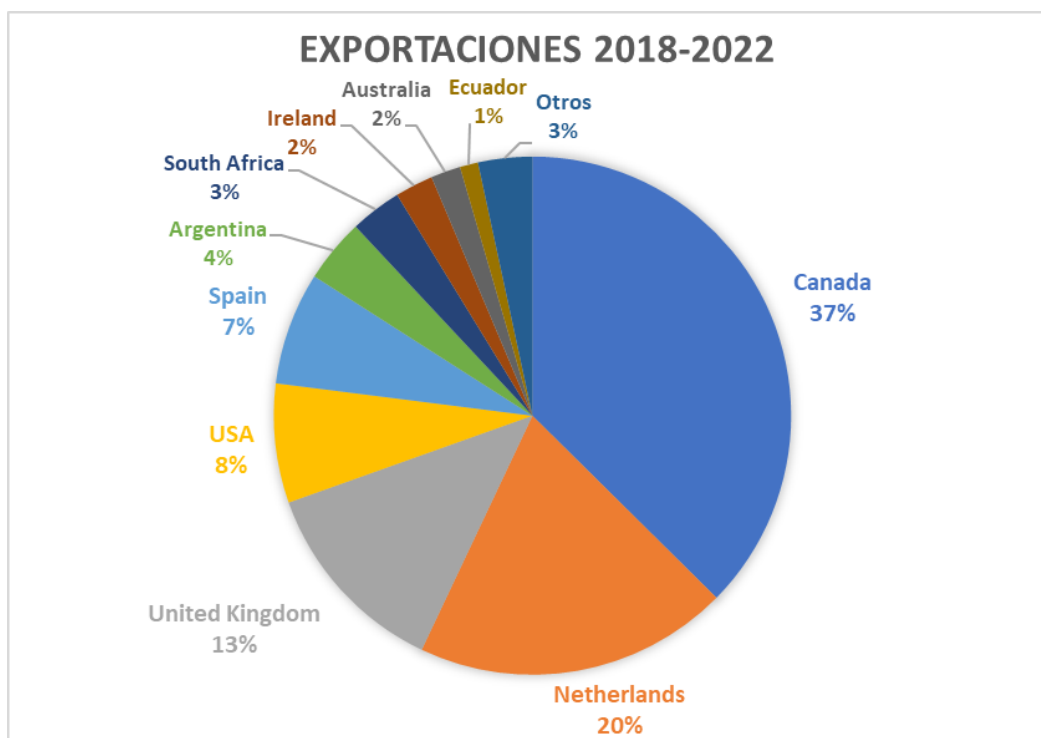


Figura 4: Exportaciones de Chile entre 2018 y 2022. (OEC, 2022)

Por otro lado, Chile ha importado un total de 1704 toneladas desde el 2018 hasta el 2022, siendo el principal proveedor Perú, con un total de 908 toneladas. A continuación, se muestran los principales importadores para Chile:

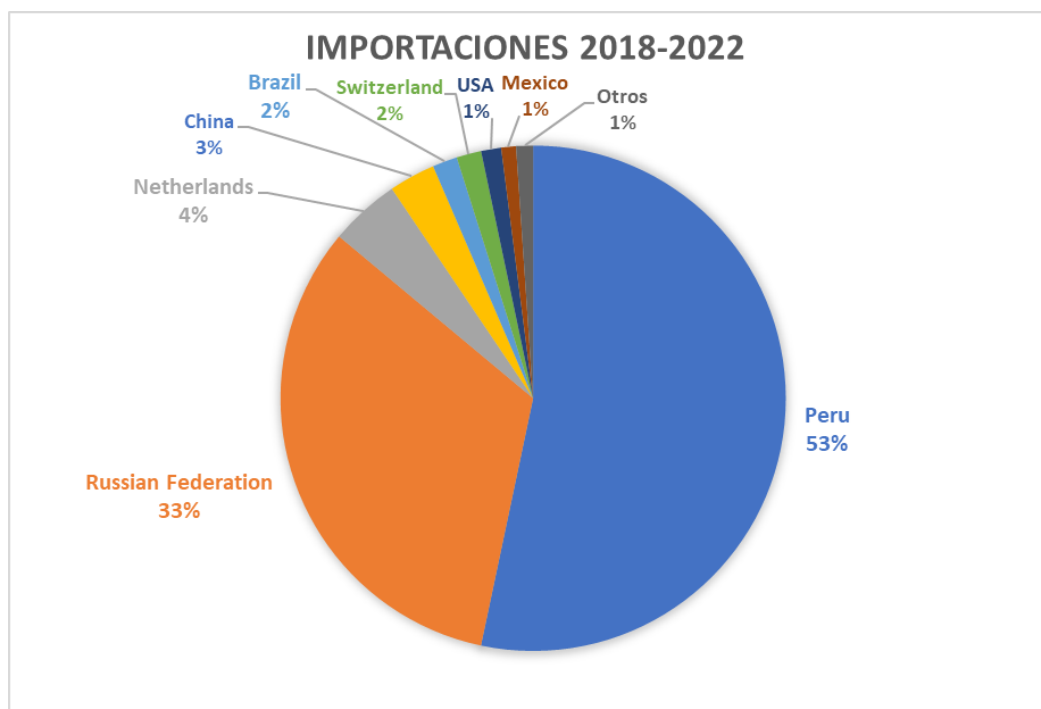


Figura 5: Importaciones de Chile entre 2018 y 2022. (OEC, 2022)

4.2 Ubicación de la planta

4.2.1 Concesiones mineras disponibles

La empresa GEOSIX dispone de concesiones de exploración en las cercanías de Calama, en pleno desierto de la segunda región de Chile. Es en estos sectores que se pretende instalar la futura planta Gallegos para la elaboración de sulfato de cobre pentahidratado. Son seis las opciones que se tienen, de las cuales hay 4 que están a 15 km de Calama y se identifican como Mercedes, Luis, Eduardo y Lorena (de oeste a este en la Figura 5). Por otro lado, a 24 km se encuentran las otras dos concesiones, llamadas Raul y Antonia. Cabe mencionar que todas, excepto Antonia, cruzan el río Loa, teniendo un lado al norte y otro al sur.

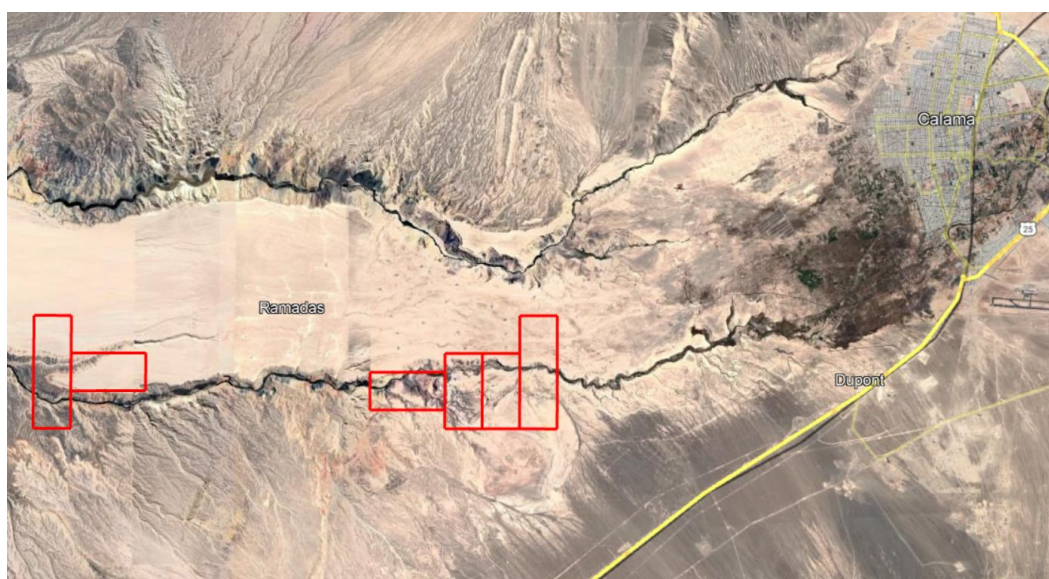


Figura 6: Concesiones mineras de exploración disponibles en rojo y Calama a la derecha.

4.2.2 Criterios para elegir lugar de emplazamiento

Para seleccionar la mejor ubicación para la construcción de la planta, se considerarán criterios que permitan tener costos lo más bajos posibles. Por esto, una de las principales características a considerar es tener una buena accesibilidad que permita un fácil ingreso al terreno y poca construcción de caminos. Además, es importante tener el menor movimiento de tierra posible para construir la infraestructura necesaria, por lo que es ideal tener un área con la menor cantidad de accidentes geográficos.

El método para decidir que concesión es mejor para instalar la planta, se realiza analizando los caminos visibles en imágenes satelitales y obteniendo perfiles del terreno. Para lo último, las concesiones que atraviesan el río Loa son divididas en norte y sur, creándose perfiles en ambas zonas.

4.2.3 Descripción de las concesiones de exploración

4.2.3.1 Concesión Raúl

Raúl corresponde a la concesión que se encuentra más al oeste de todas las existentes y abarca un total de 300 hectáreas. Se encuentra dividida en dos partes, una al norte y otra al sur del río Loa.

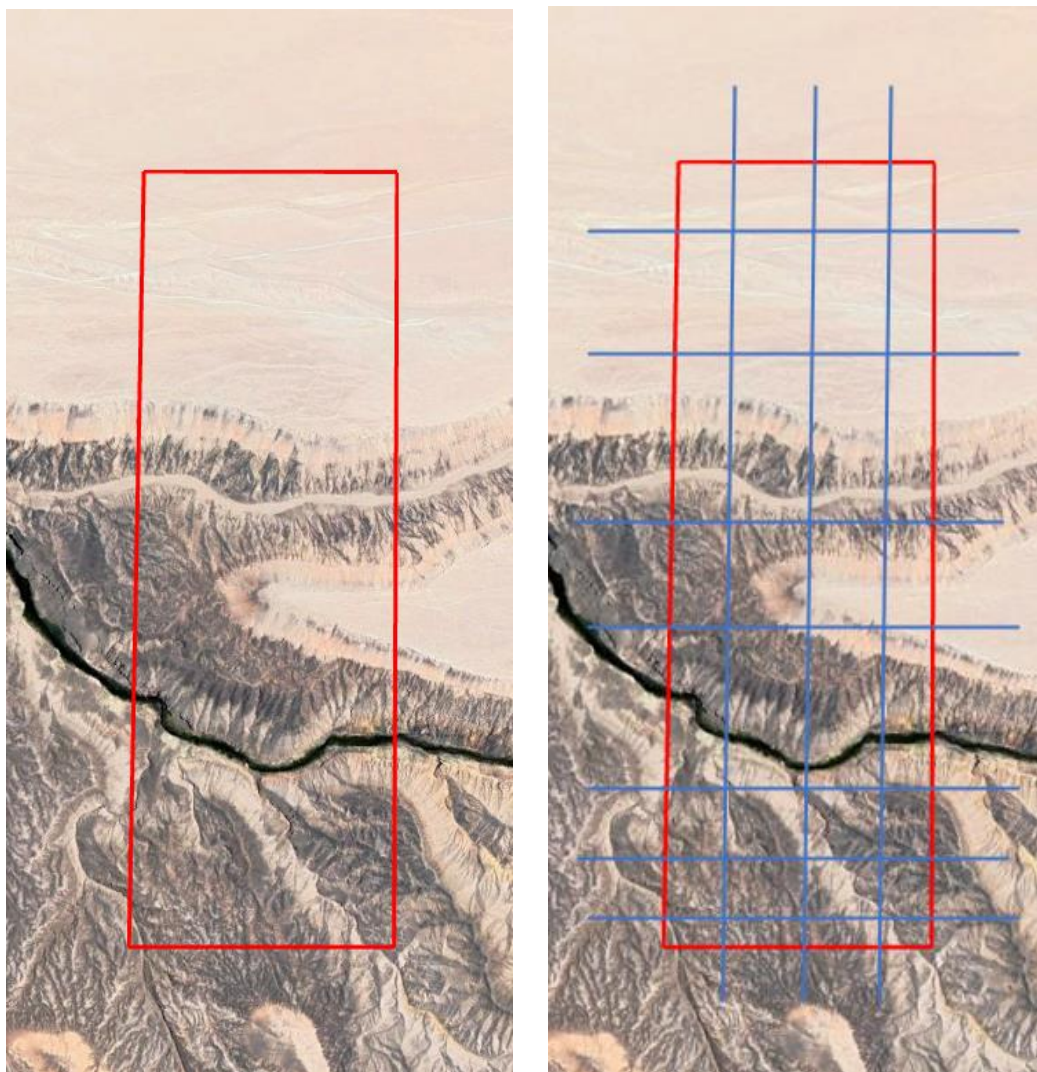


Figura 7: Vista general de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

En primer lugar, se analiza la zona norte del río Loa:

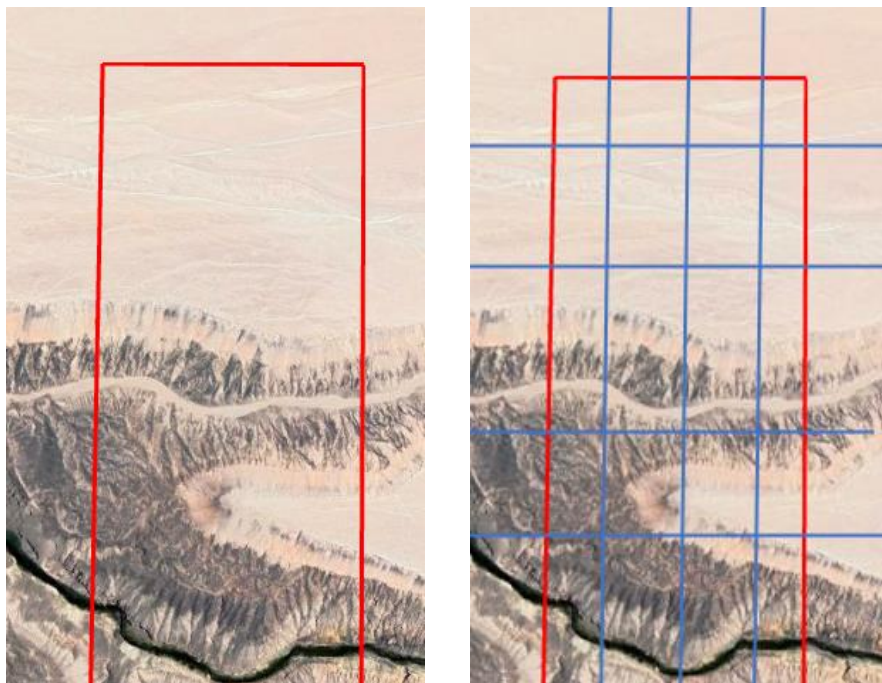


Figura 8: Vista de zona norte de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

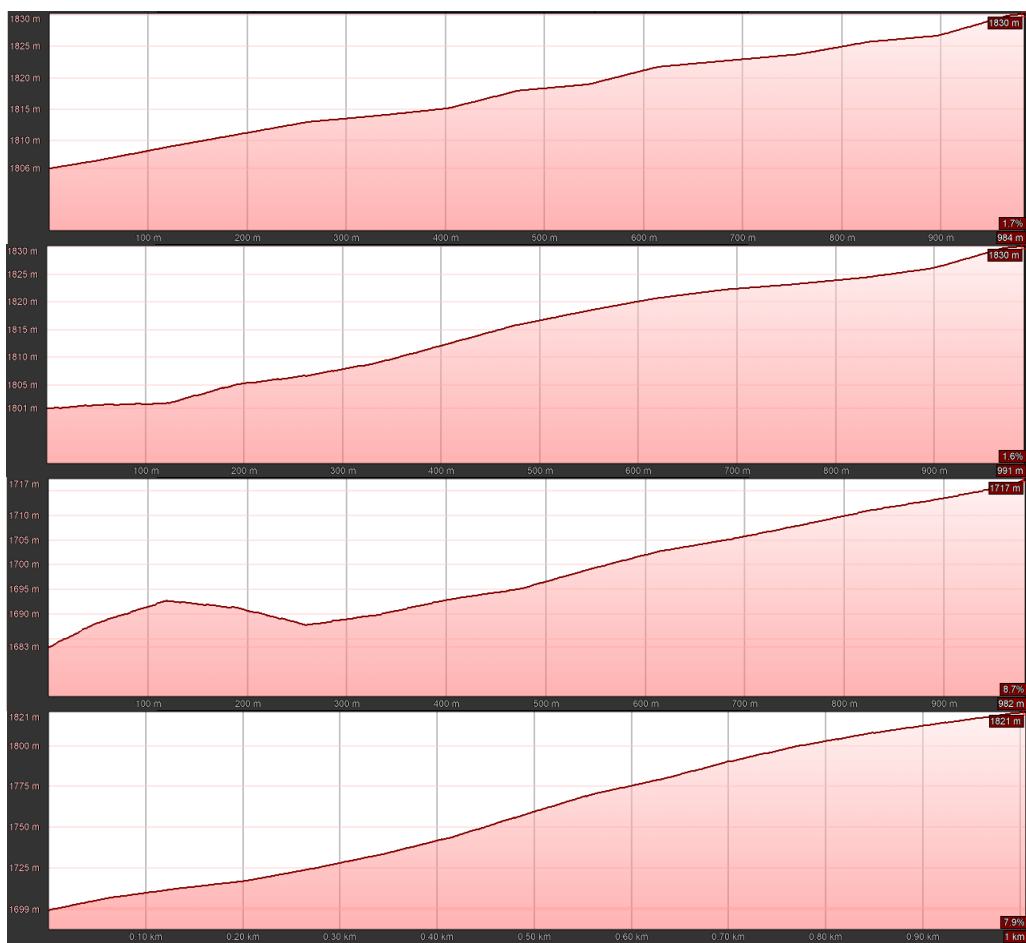


Figura 9: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur en el sector norte de Raúl.

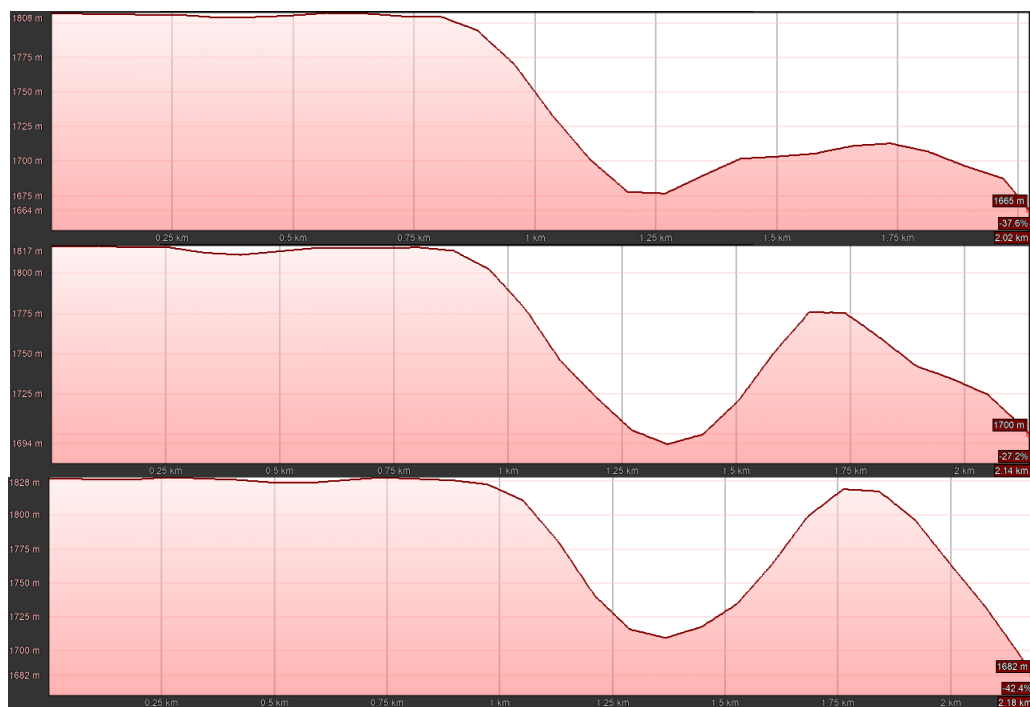


Figura 10: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este en el sector norte de Raúl.

La zona norte de la concesión de exploración muestra una sola quebrada que se orienta de este a oeste. Aun así, se aprecia un sector bastante plano, pero con una gran pendiente superior al 10%. En cuanto a la accesibilidad, existe un camino secundario que atraviesa el parque eólico y llega a pasar por la concesión.

A continuación, se presenta la zona sur:

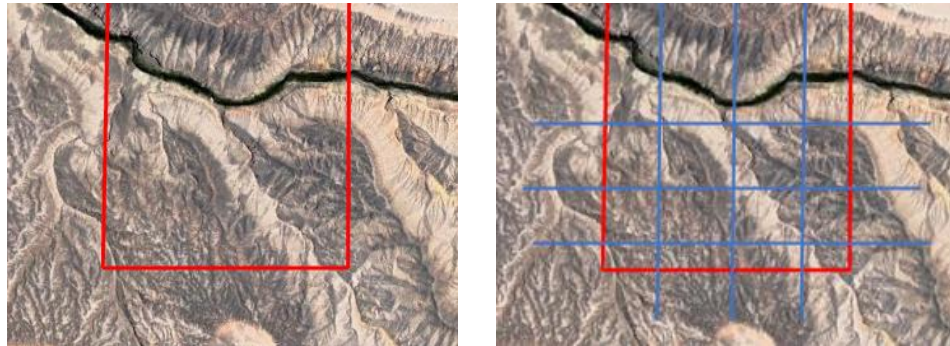


Figura 11: Vista de zona sur de la concesión Raúl (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

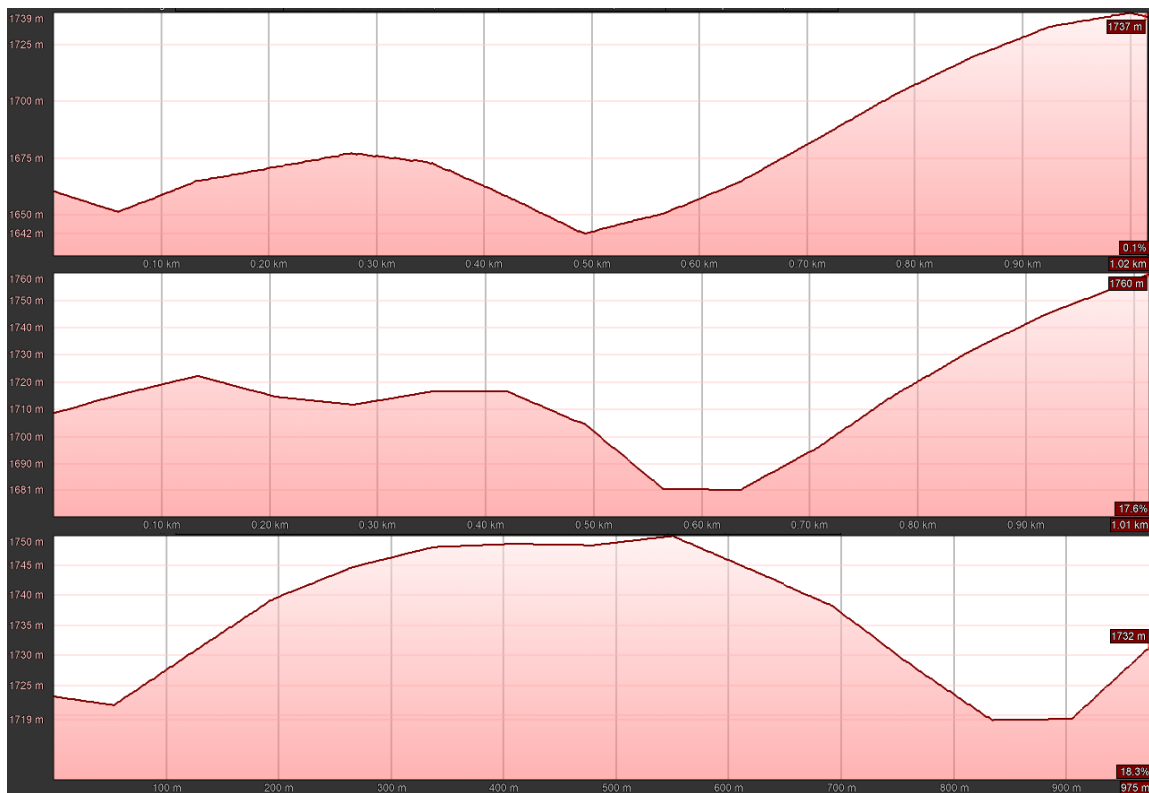


Figura 12: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur en el sector sur de Raúl.

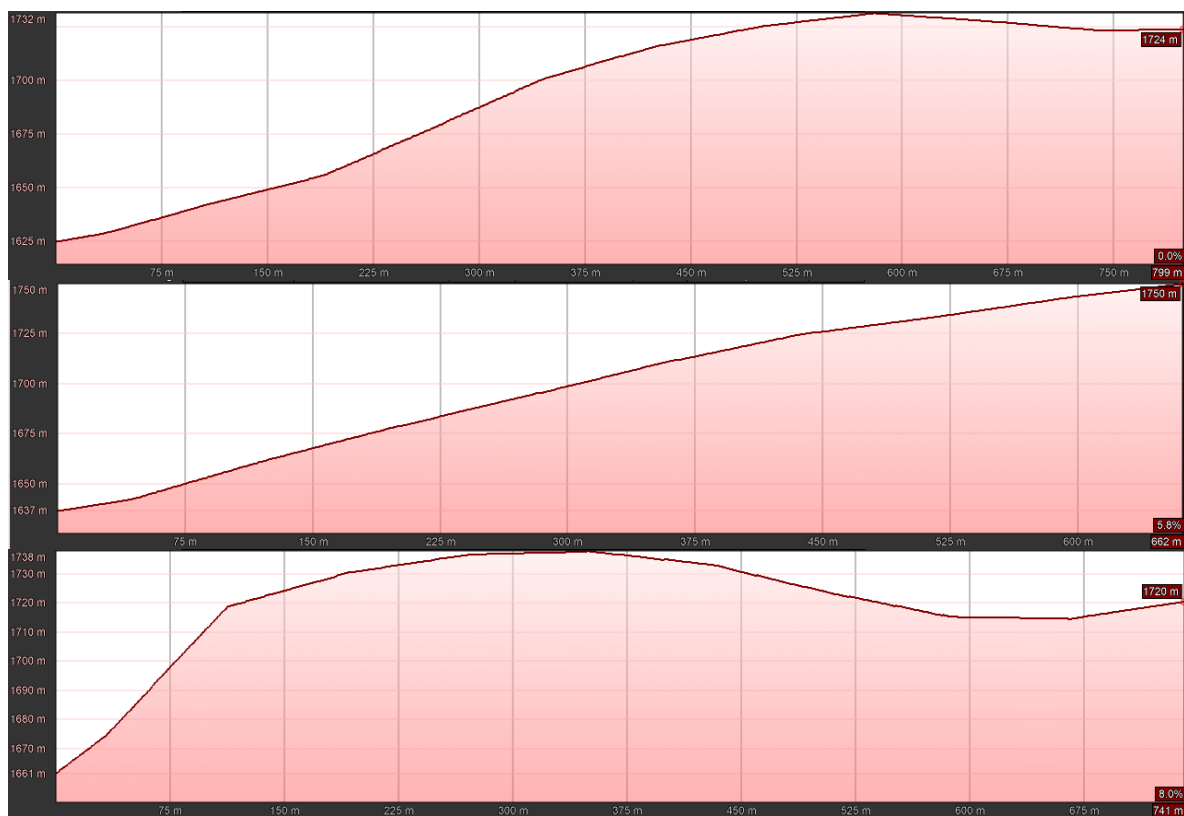


Figura 13: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este en el sector sur de Raúl.

A partir de los diferentes perfiles del sector sur de la concesión, se puede apreciar que resulta ser una zona muy accidentada, presentando principalmente una quebrada que atraviesa toda el área sur de la concesión. Además, no existen caminos que faciliten el acceso al terreno, se encuentra a 12 kilómetros de la carretera que une Antofagasta con Calama, la ruta 25.

4.2.3.2. Concesión Antonia

Antonia corresponde a la concesión que se encuentra al oeste de Raúl y abarca un total de 300 hectáreas. Se encuentra al norte del río Loa, prácticamente paralela a este.

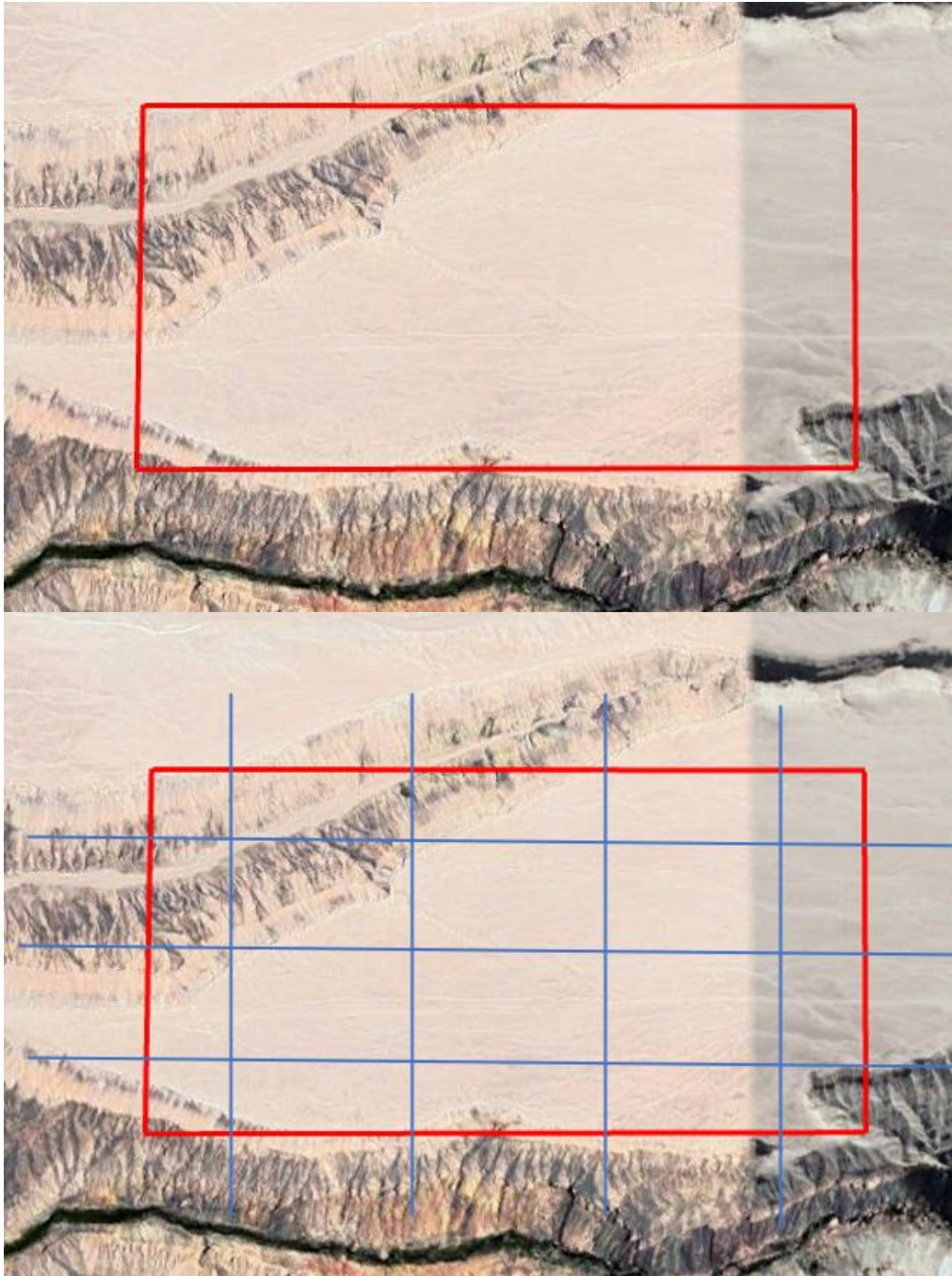


Figura 14: Vista general de la concesión Antonia (arriba) y la cuadrilla de los perfiles creados (abajo).

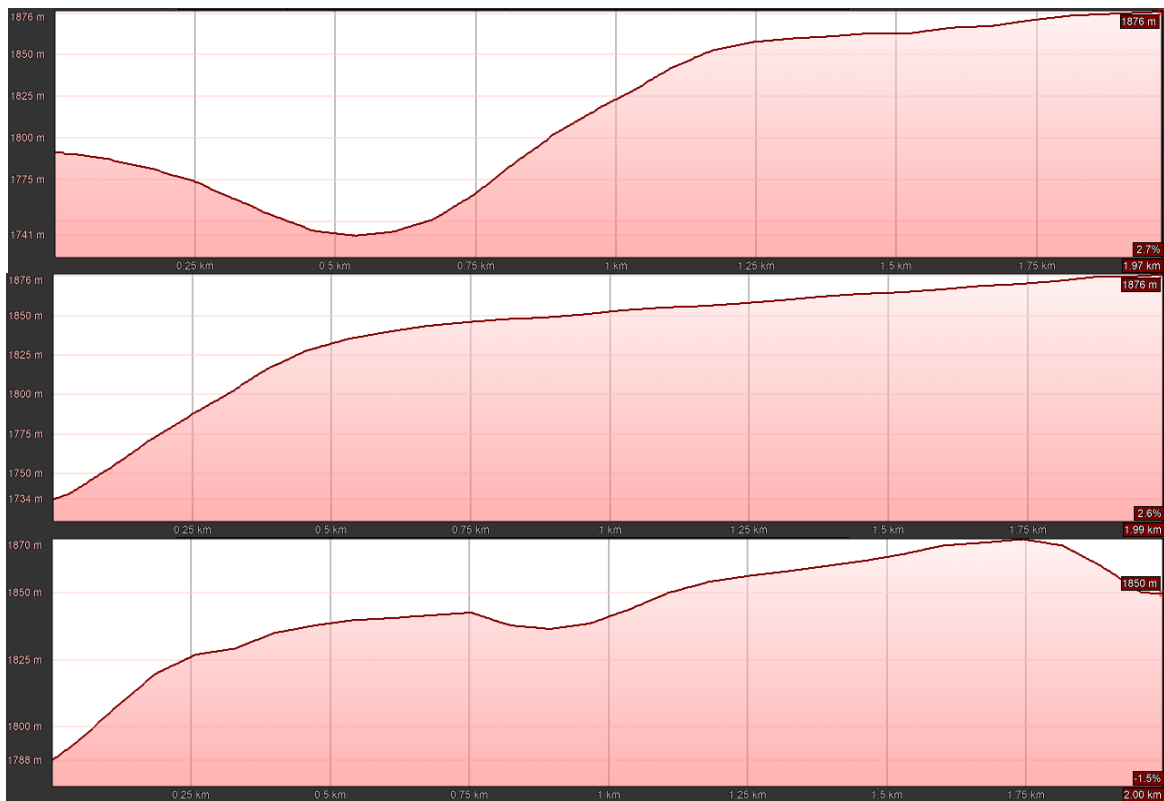


Figura 15: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur de Antonia.

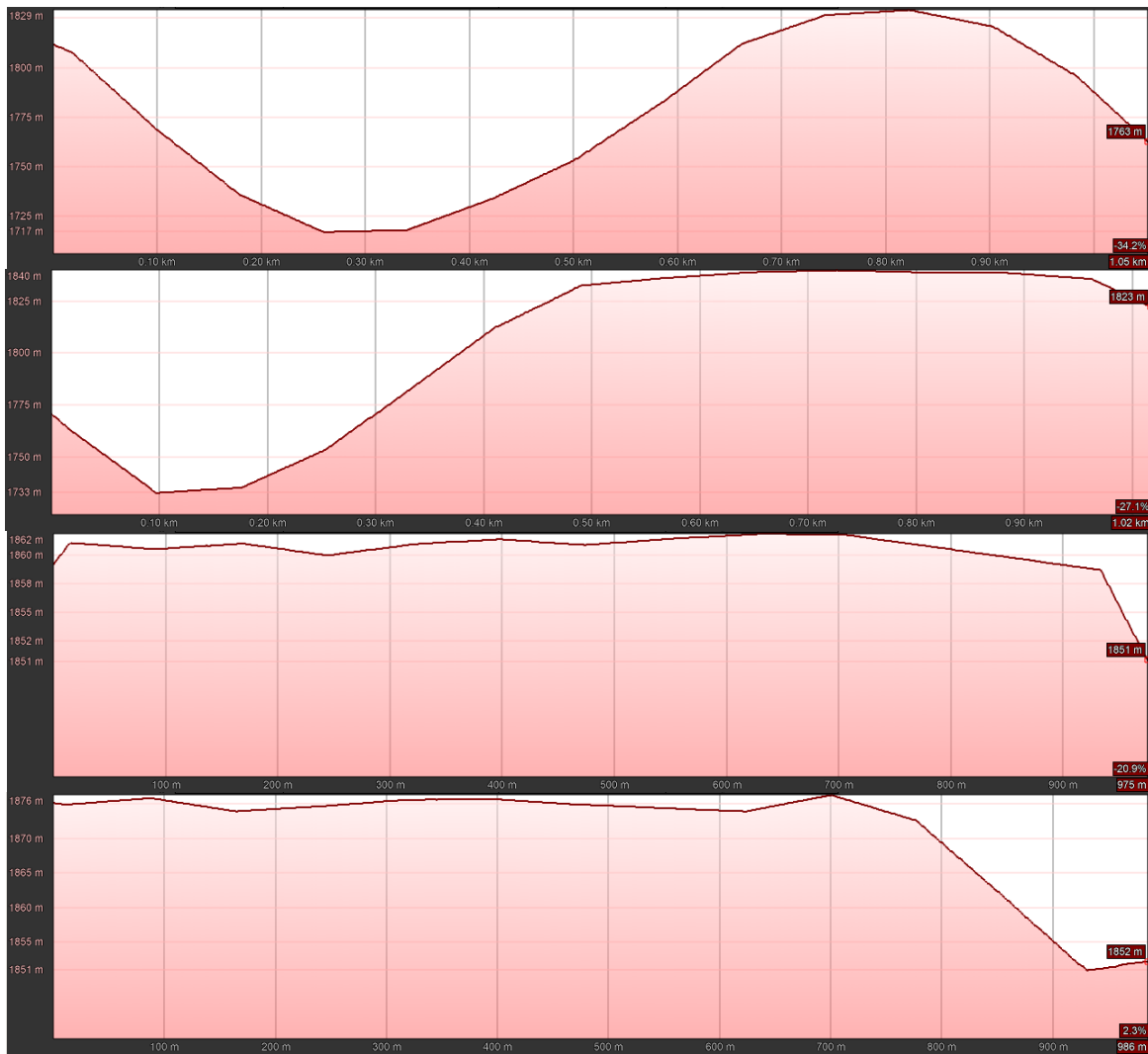


Figura 16: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este de Antonia.

Antonia es una concesión que se encuentra ubicada al norte del río Loa y presenta una quebrada que cruza de este a oeste. Aun así, posee un área relativamente plana en el sector central de la concesión, pero con un 5% de pendiente, aproximadamente, en la dirección oeste-este. En cuanto a la accesibilidad del lugar, se logra apreciar algunas huellas vehiculares en las imágenes, las cuales no son del todo claras, aun así, tiene la ventaja de estar a 4 kilómetros del camino que une Calama con el parque eólico.

4.2.3.3 Concesión Mercedes

Mercedes corresponde a la concesión que se encuentra más al oeste del grupo de 4 concesiones más cercanas a Calama y abarca un total de 300 hectáreas. Se encuentra al sur del río Loa en su gran mayoría.

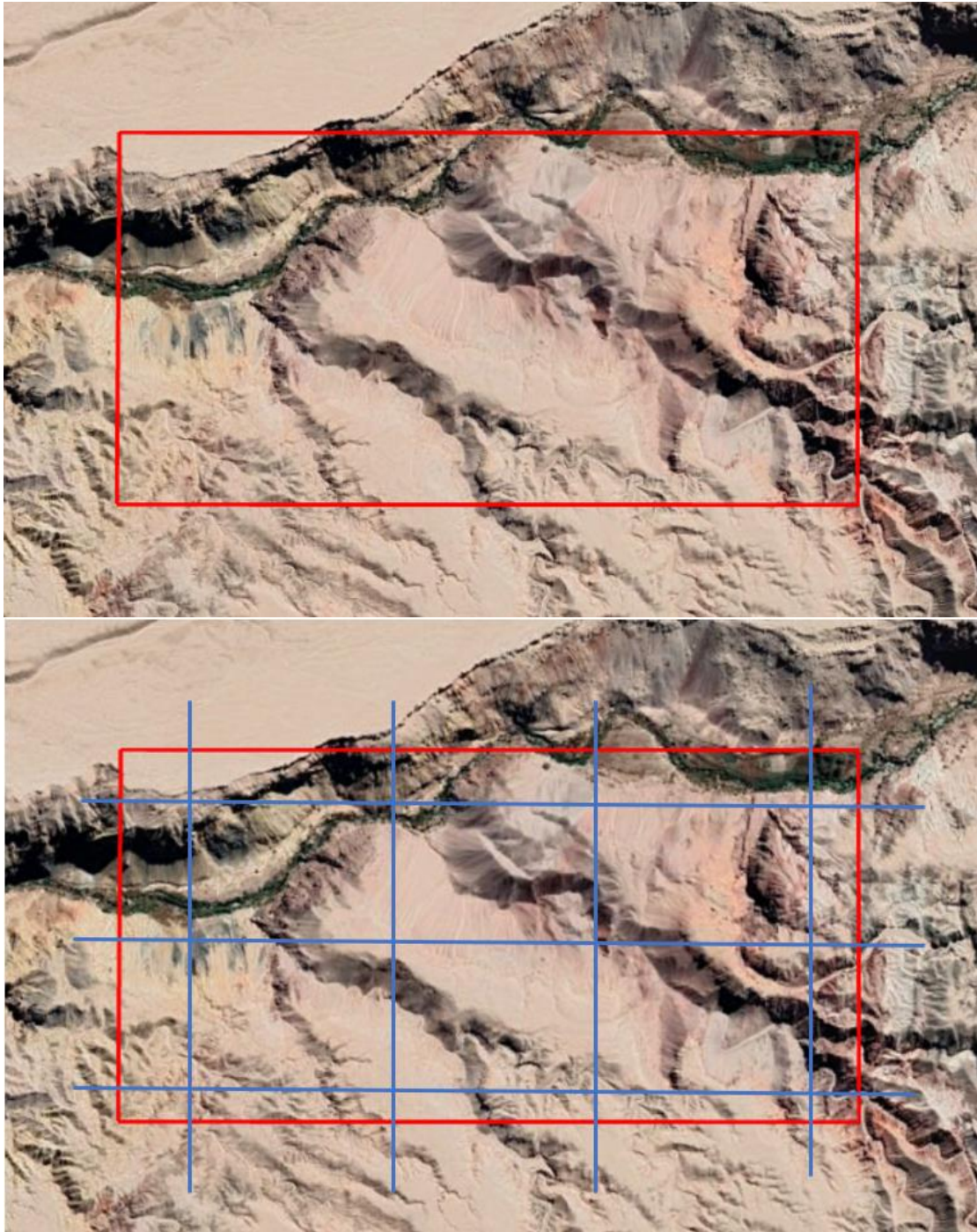


Figura 17: Vista general de la concesión Mercedes (arriba) y la cuadrilla de los perfiles creados (abajo).

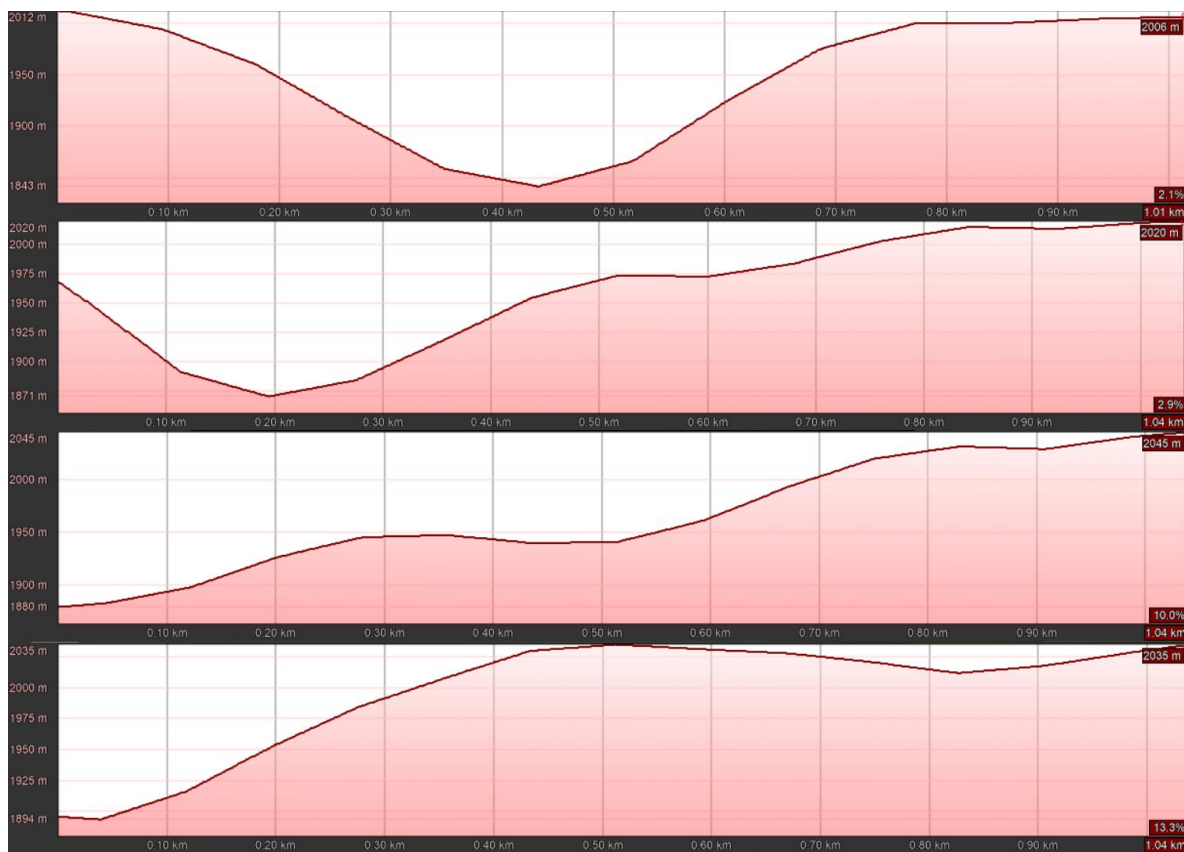


Figura 18: Perfiles en sentido norte-sur, ordenados de oeste a este en concesión Mercedes.

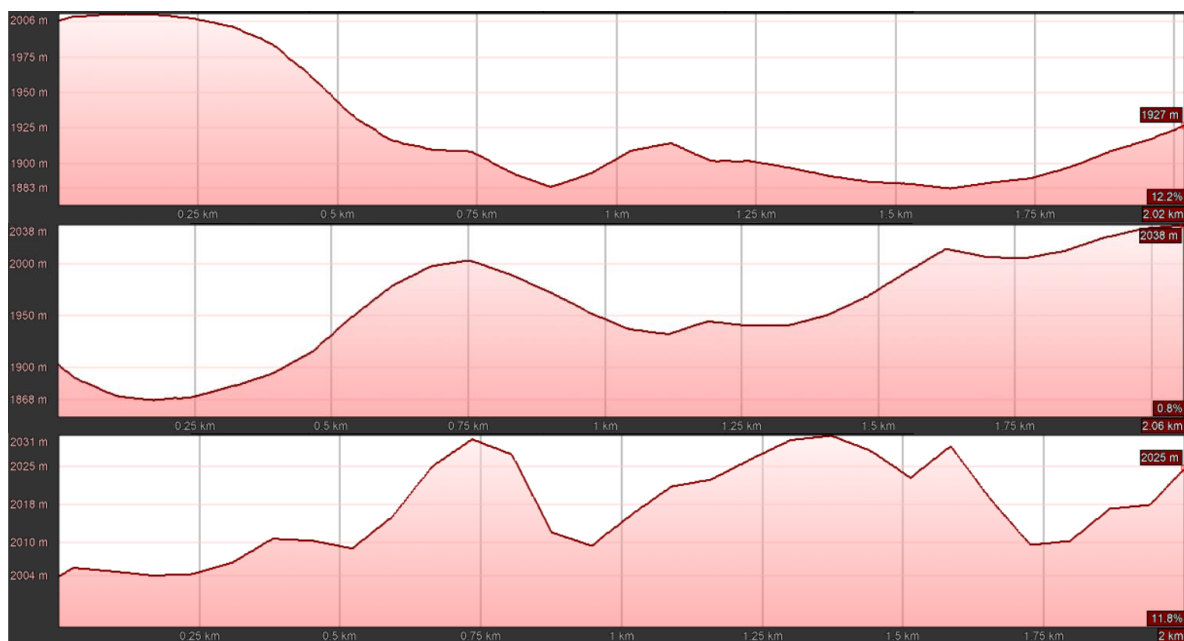


Figura 19: Perfiles en sentido oeste-este, ordenados de norte a sur en concesión Mercedes.

La vista aérea de la concesión Mercedes permite visibilizar gran cantidad de accidentes geográficos, lo que se confirma al apreciar los diferentes perfiles. Tampoco se logran divisar caminos que permitan fácil acceso al sector, solamente se observa la ruta 25 a 7 [km] de Mercedes.

4.2.3.4 Concesión Luis

Luis corresponde a la concesión que se encuentra al lado este de Mercedes y abarca un total de 300 hectáreas. Se encuentra al sur del río Loa en su gran mayoría.

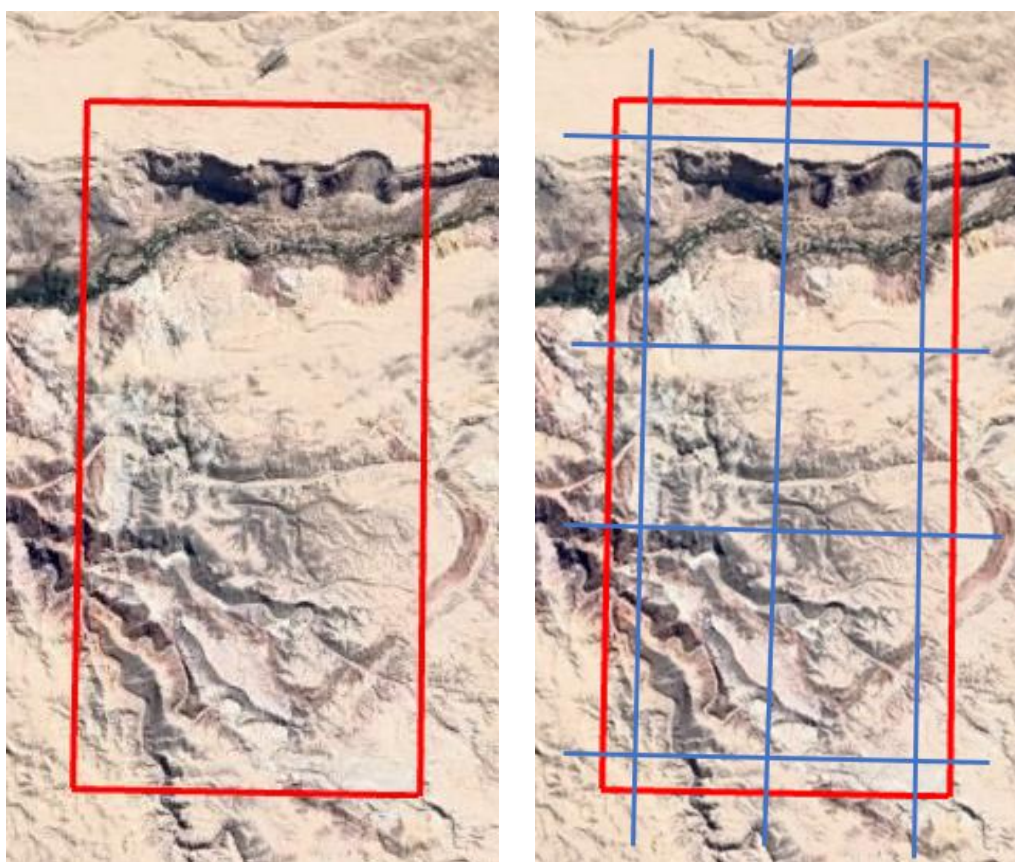


Figura 20: Vista general de la concesión Luis (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

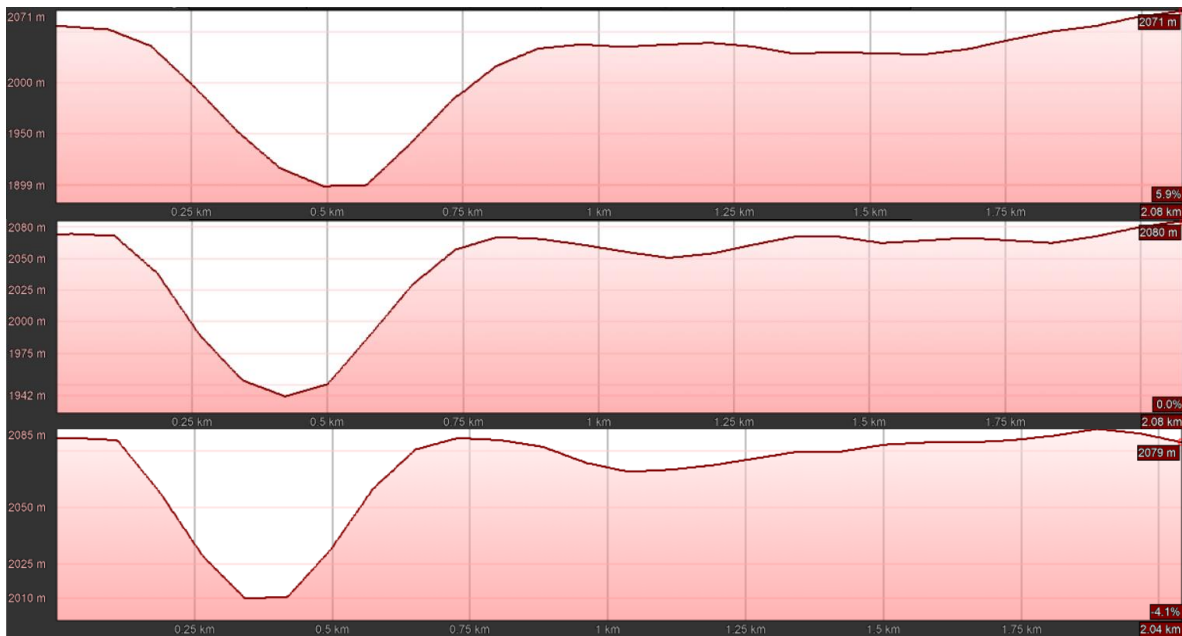


Figura 21: Perfiles con dirección norte-sur, ordenadas de oeste a este en concesión Luis.

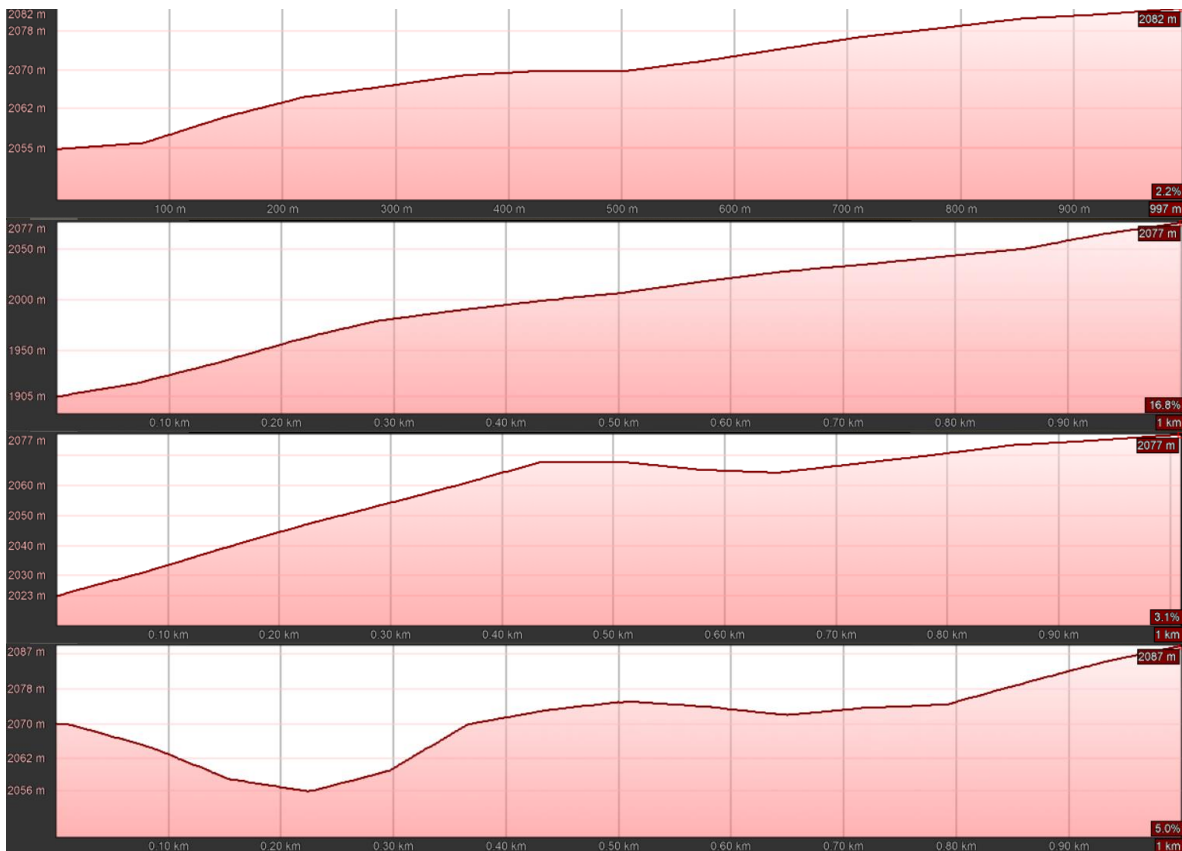


Figura 22: Perfiles con dirección oeste-este, ordenadas de norte a sur en concesión Luis.

El río Loa cruza esta concesión en su parte norte y al ser contiguo a Mercedes, comparte gran cantidad de quebradas y accidentes geográficos. Por lo mismo, la accesibilidad al sector es compleja al no tener caminos definidos. Se encuentra a 6 kilómetros de la carretera Antofagasta-Calama.

4.2.3.5 Concesión Eduardo

Eduardo corresponde a la concesión que se encuentra al lado este de Luis y al oeste de Lorena y abarca un total de 300 hectáreas. Se encuentra al sur del río Loa en su gran mayoría, de manera muy similar a la concesión Luis.

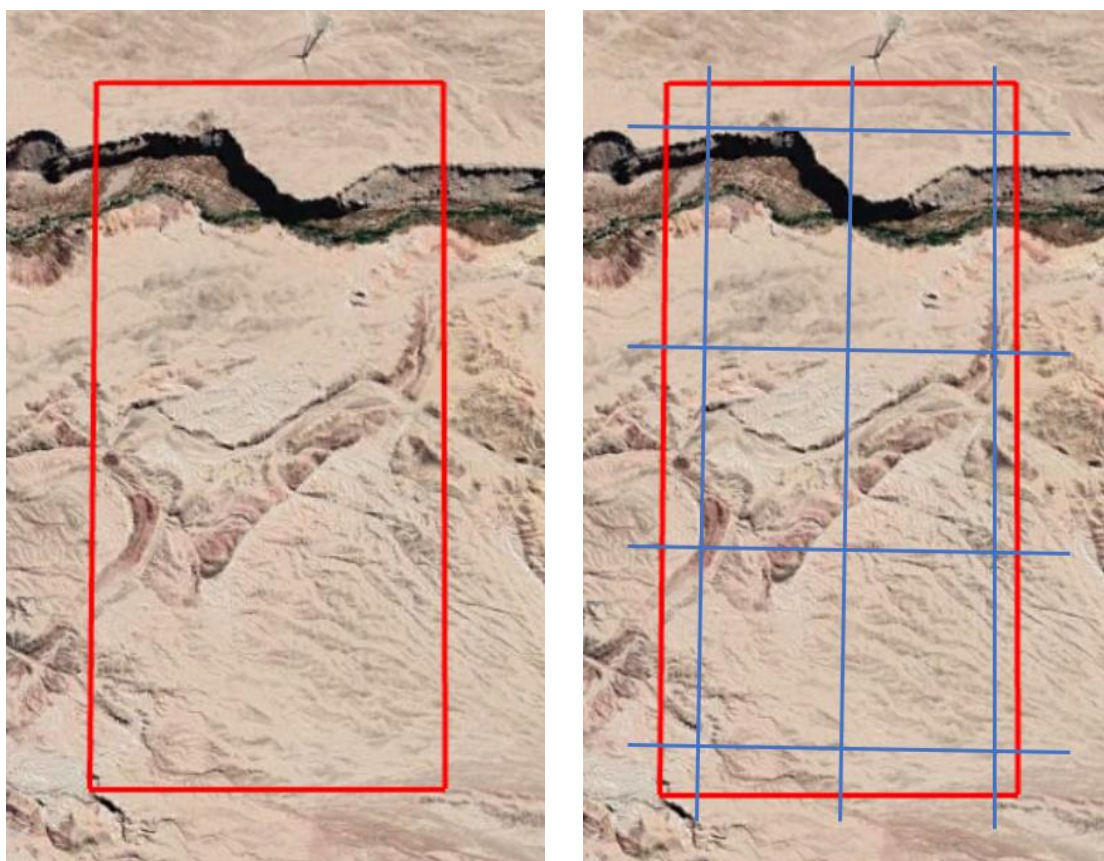


Figura 23: Vista general de la concesión Eduardo (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

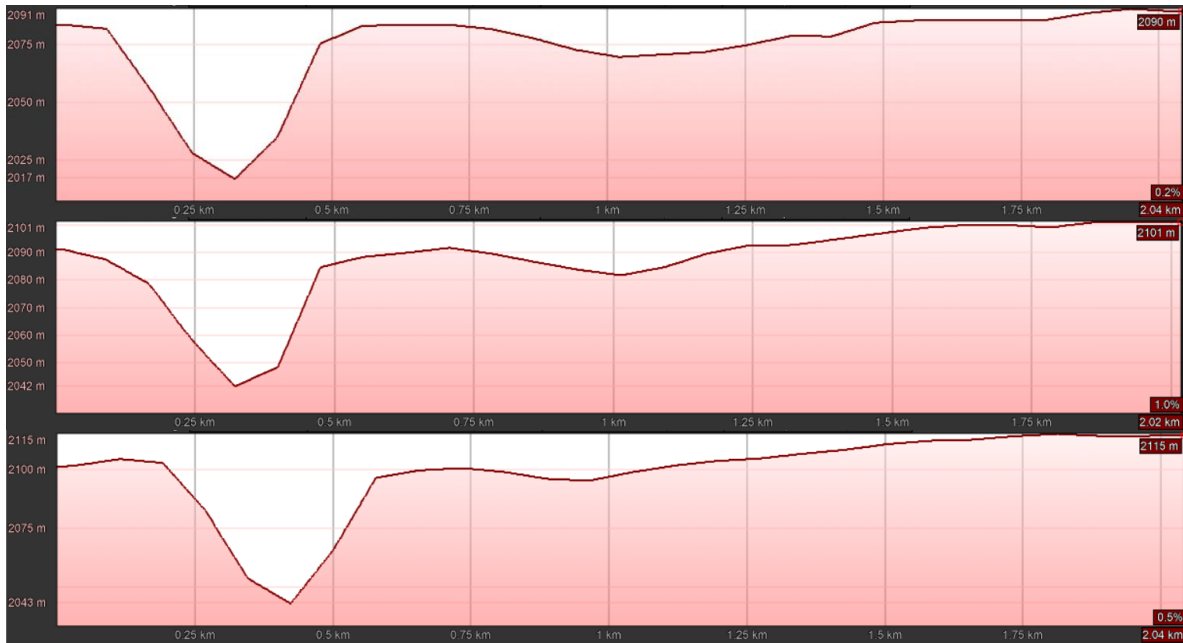


Figura 24: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados de oeste a este en concesión Eduardo.

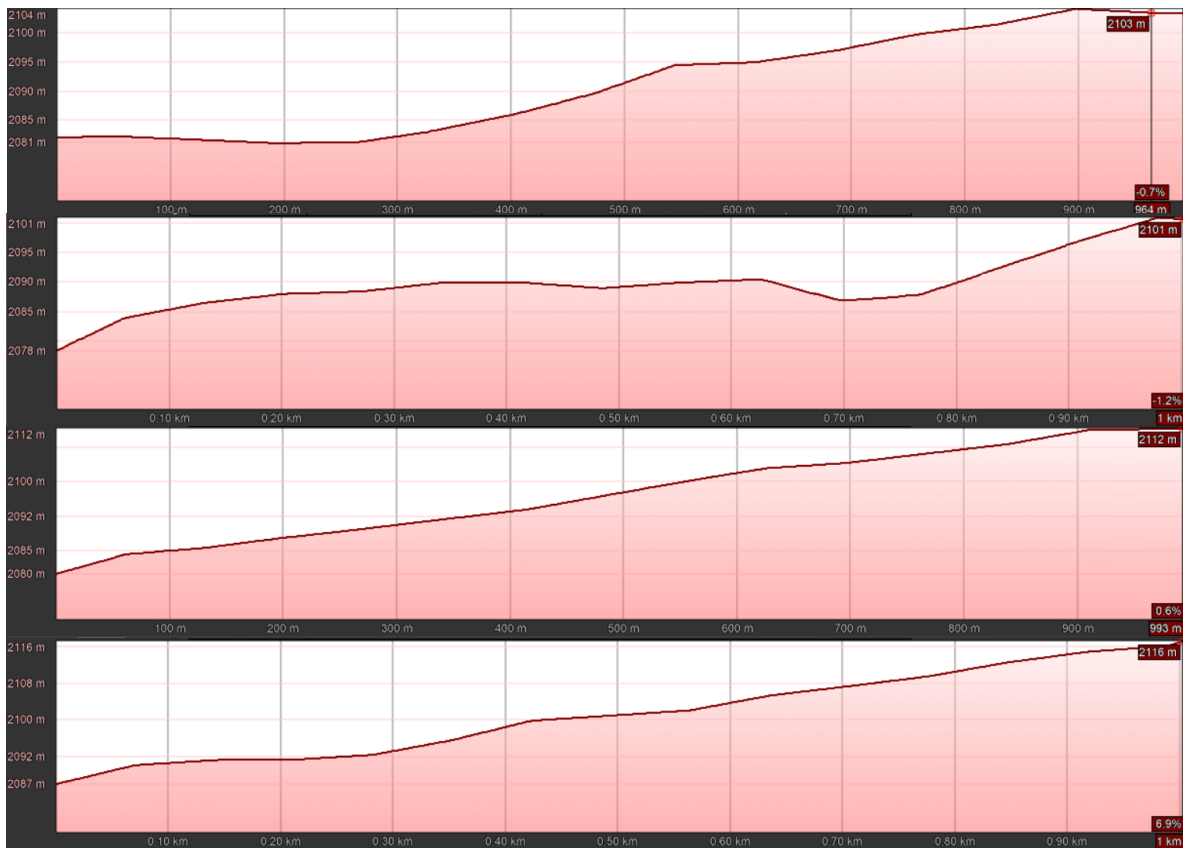


Figura 25: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur en concesión Eduardo.

Al igual que su vecino, el río Loa cruza por el sector norte de la concesión, pero se diferencia al ser menos accidentado geográficamente. Observando los perfiles, se logra ver que las diferencias de altimetría entre los puntos iniciales y finales son menores, presentando pequeños accidentes geográficos. Comparte el mismo problema con Luis y Mercedes, es decir, no existen caminos secundarios que permitan un buen acceso al lugar. El camino más cercano es la ruta 25, ubicada a 5 [km] de la concesión.

4.2.3.6 Concesión Lorena

Lorena corresponde a la concesión que se encuentra más al este y, por ende, más cerca de Calama. Se encuentra dividida por el río Loa, por lo que se realiza el análisis para el sector norte y sector sur.

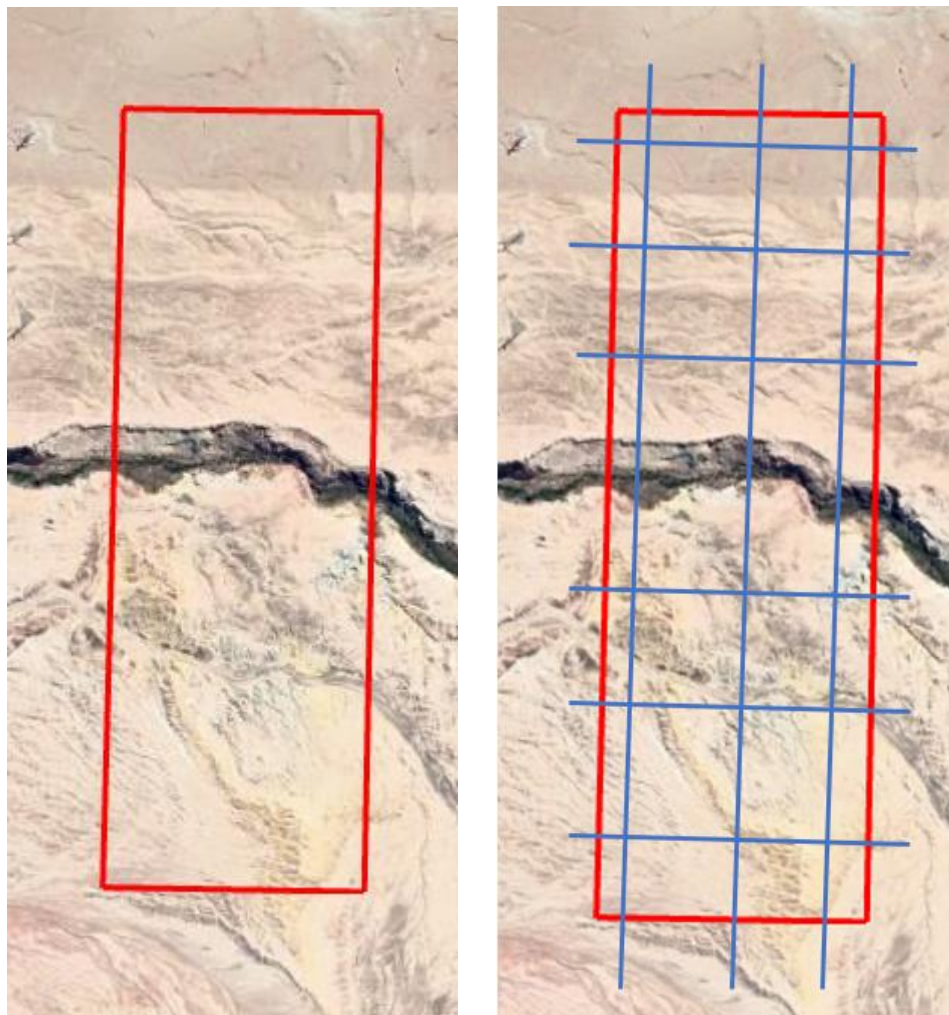


Figura 26: Vista general de la concesión Lorena (izquierda) y la cuadrilla de los perfiles creados (derecha).

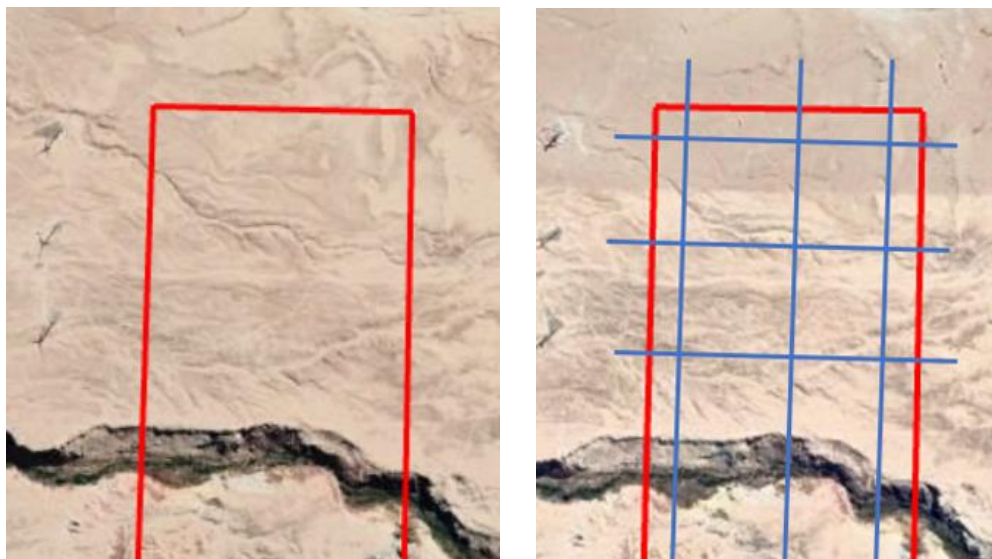


Figura 27: Concesión Lorena, sector norte del río y perfiles de la zona (derecha).

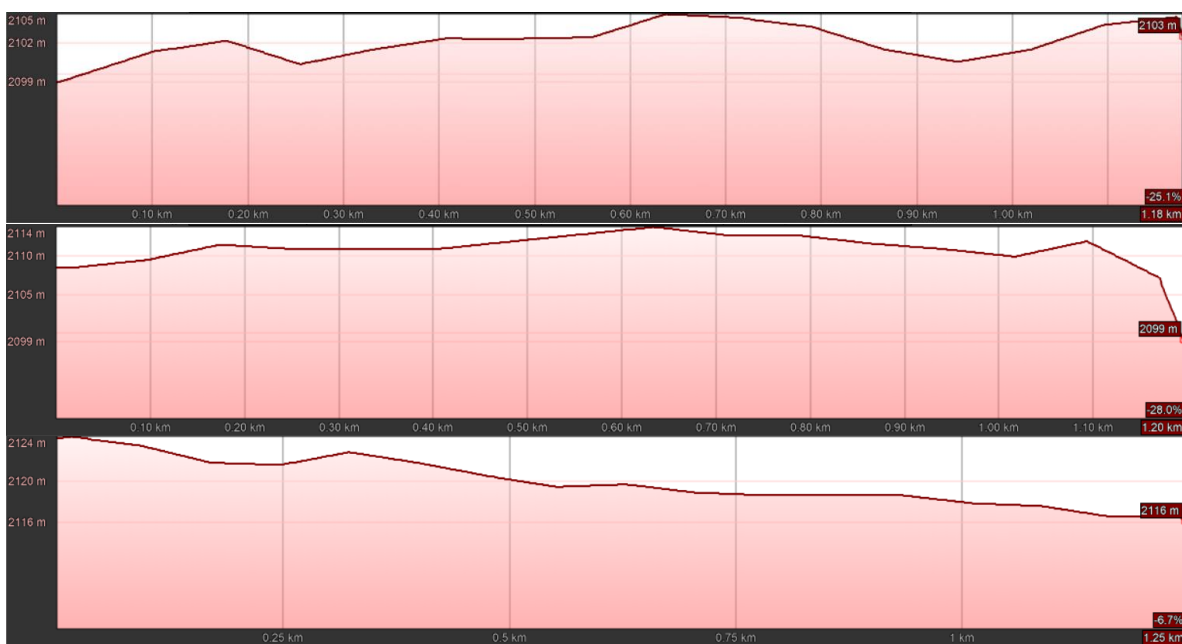


Figura 28: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados de oeste a este, en el sector norte de Lorena.

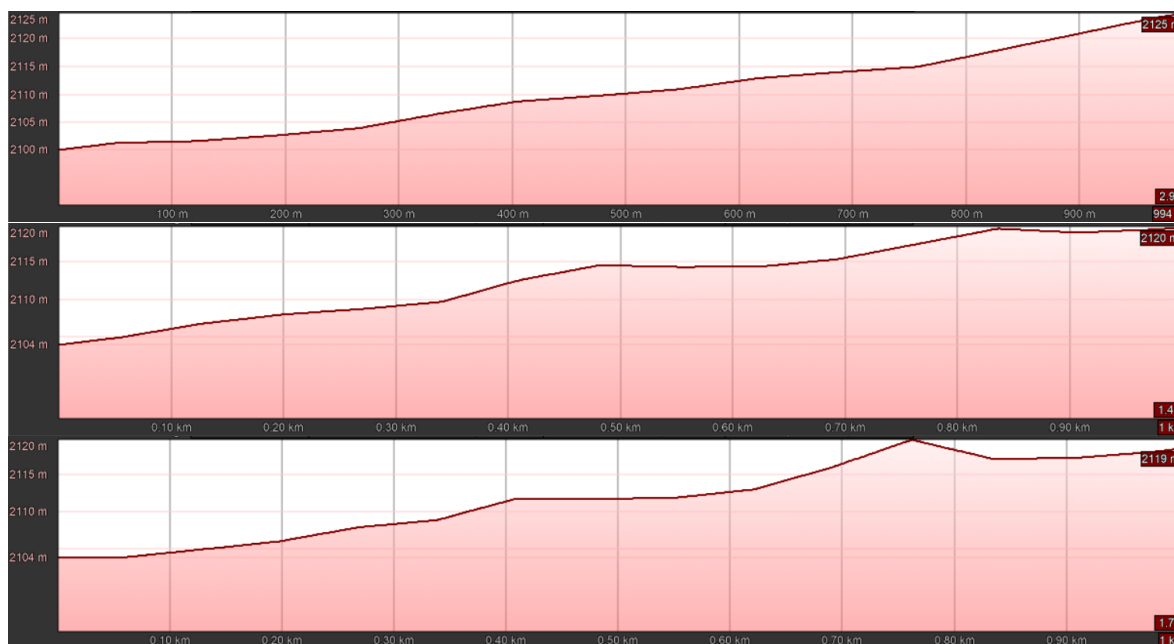


Figura 29: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur, en el sector Lorena norte.

El lado que se encuentra al norte de la concesión se presenta con pocos accidentes geográficos. Se puede apreciar que en los perfiles que van de norte a sur prácticamente no tienen diferencias de altura y solo se ven algunas ondulaciones que alcanzan un desnivel de 5 metros. Por su parte, los perfiles de este a oeste presentan una pequeña pendiente de un 3% promedio, aproximadamente. En cuanto al acceso del lugar, se encuentra el camino que va desde las afueras de Calama hasta el parque eólico y también algunas huellas que atraviesan la concesión.

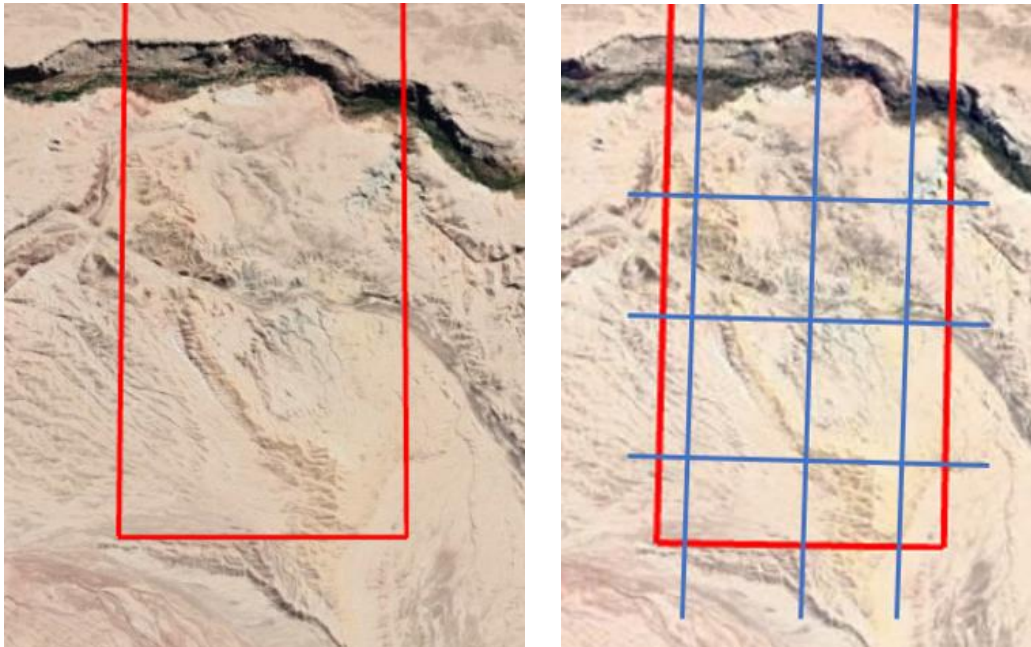


Figura 30: Concesión Lorena, sector sur del río y los perfiles creados (derecha).

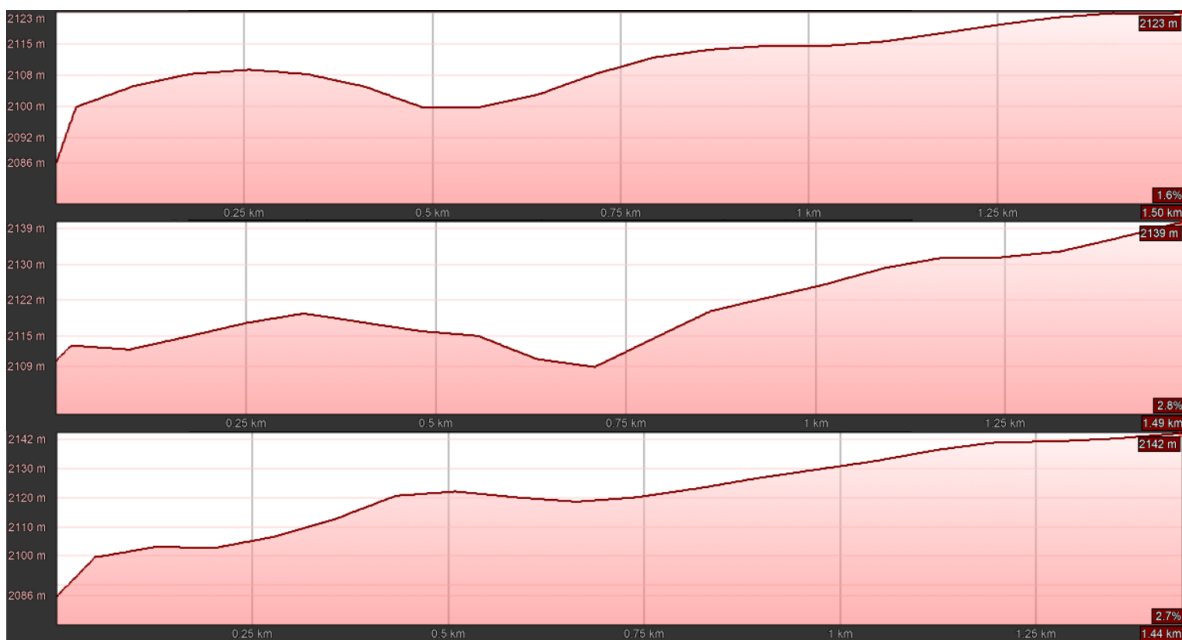


Figura 31: Perfiles con dirección norte-sur, ordenados desde el oeste al este, sector Lorena sur.

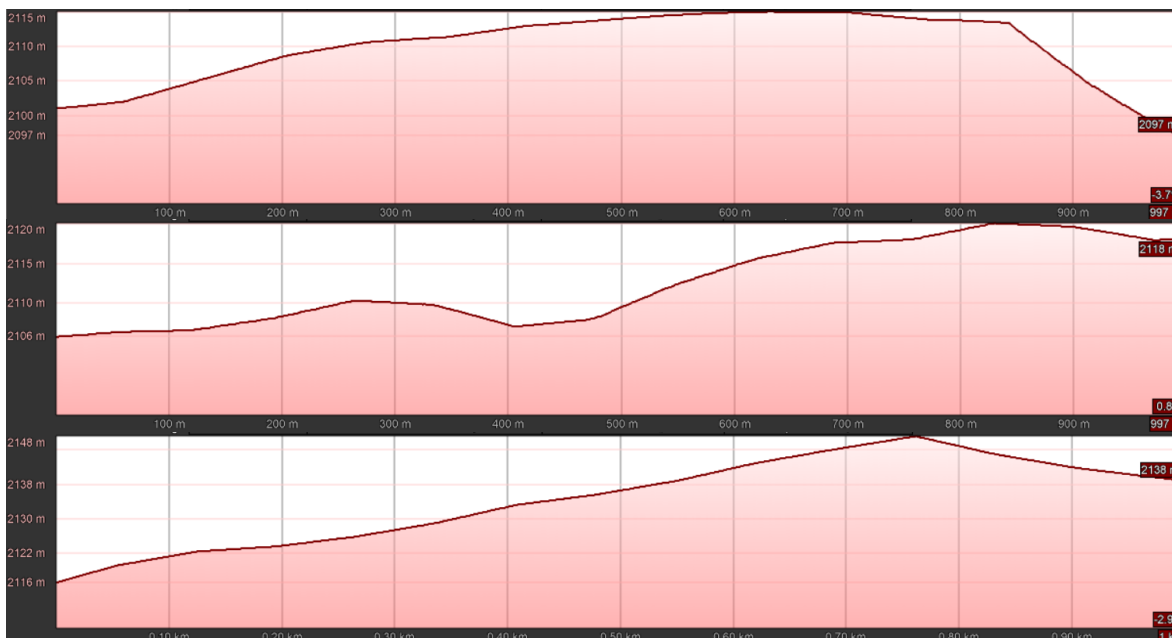


Figura 32: Perfiles con dirección oeste-este, ordenados de norte a sur, sector Lorena sur.

El lado sur de la concesión de exploración Lorena se muestra menos accidentado que sus pares Eduardo, Luis y Mercedes, presentando pendientes de un 4% en algunos lados. En la zona se presenta lo que en algún momento fue un río y, ahora seco, atraviesa la concesión de este a oeste. No se observan caminos ni huellas hasta el lugar y se encuentra a 4.5 kilómetros de la carretera que une Calama y Antofagasta.

4.2.4 Ubicación final para la planta

La ubicación ideal para ubicar la planta de sulfato de cobre es dentro de la concesión de exploración Lorena, específicamente en el lado norte del río Loa. Esta decisión se debe a la gran accesibilidad que tiene al haber camino hecho por el parque eólico del sector. Además, al observar los perfiles del sector, se aprecia una pendiente de un 2% aproximadamente y poco accidente geográfico, lo que significa una menor cantidad de movimiento de tierra para dejar el área en óptimas condiciones.

4.3 Materias primas

El material rocoso para procesar es de origen boliviano y del tipo óxido. De momento al material no se le ha hecho ningún análisis en laboratorio para caracterizar los minerales presentes en el material. La única variable conocida es la ley de cobre que ofrecen. Los mineros bolivianos venden el mineral con diferentes leyes, por lo que se puede comprar desde un 2% hasta un 6%. Para el caso base que se estudia, se plantea la compra de mineral de óxido de cobre con una ley de 2.5%.

4.4 Pruebas metalúrgicas y capacidad de procesamiento

La producción de sulfato de cobre depende de la ley del mineral de Bolivia, la ley del producto final y la recuperación. Por ello, se deben realizar pruebas metalúrgicas, en específico pruebas en columnas del mineral proveniente de Bolivia. De esta forma, se obtiene el gráfico que indica la recuperación en función de los días que pasan, decidiendo así la recuperación deseada de la planta.

Como el mineral boliviano aún se encuentra a la espera de las pruebas, se realiza el supuesto que el mineral tendrá una recuperación de un 80% en 15 días (Tabilo, 2012).

En base a esto, se plantean las siguientes especificaciones para el diseño de la planta y se calcula la producción en función de la ley de cabeza:

Variable	Valor
Óxido de cobre	560 t/mes
Ley del mineral	2.5%
Recuperación	80%
Ley del producto	25,46%
Producción CuSO ₄	44 t/mes

Tabla 4: Valores para el diseño de la planta.

Se realiza una tabla que indica la producción de sulfato de cobre según la ley de cabeza, indicándose además la cantidad de cobre fino en el producto.

Ley de cabeza [%]	Toneladas de cobre fino [t]	Toneladas mensuales de CuSO ₄ [t]
2.0	8.96	35.19
2.1	9.41	36.95
2.2	9.86	38.71
2.3	10.30	40.47
2.4	10.75	42.23
2.5	11.20	43.99
2.6	11.65	45.75
2.7	12.10	47.51
2.8	12.54	49.27
2.9	12.99	51.03
3.0	13.44	52.79

Tabla 5: Producción según la ley de cabeza.

De los datos anteriores se grafica la relación que tiene la ley de cabeza del mineral y la producción mensual de sulfato de cobre.

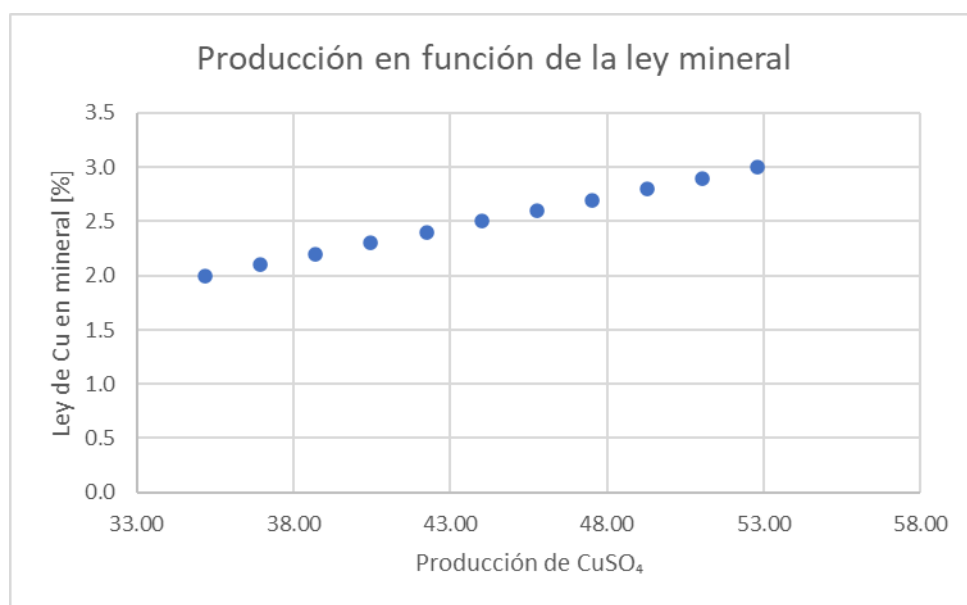


Figura 33: Gráfico de la ley de cabeza vs la producción de sulfato de cobre.

De los datos anteriores, se define que el proyecto contempla 44 [t] como producción mensual de sulfato de cobre, es decir, 528 toneladas anuales.

4.5 Descripción procesos e instalaciones de producción

El proceso de producción de sulfato de cobre pentahidratado está dividido en 6 etapas, las cuales se describen en este apartado. Además, se mencionan equipos, consumo eléctrico y diversas características de cada proceso.

La producción contempla las siguientes etapas:

- 1) Etapa de Chancado
- 2) Etapa de Aglomerado y Curado
- 3) Etapa de Lixiviación
- 4) Etapa de Extracción por Solvente
- 5) Etapa de Cristalización y Recristalización
- 6) Etapa de Secado
- 7) Envasado

Resumidamente, se obtiene el mineral y se chanca al tamaño requerido para extraer el cobre. Luego, se acondiciona el mineral para ser llevado a las pilas de lixiviación, donde se obtiene PLS que es tratado en la extracción por solventes. A continuación, la solución obtenida se procesa para que se formen cristales de sulfato de cobre, los cuales finalmente son secados y envasados.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo general del proceso, indicándose cada una de las etapas de la Planta Gallegos.

DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL GENERAL FLOW CHART

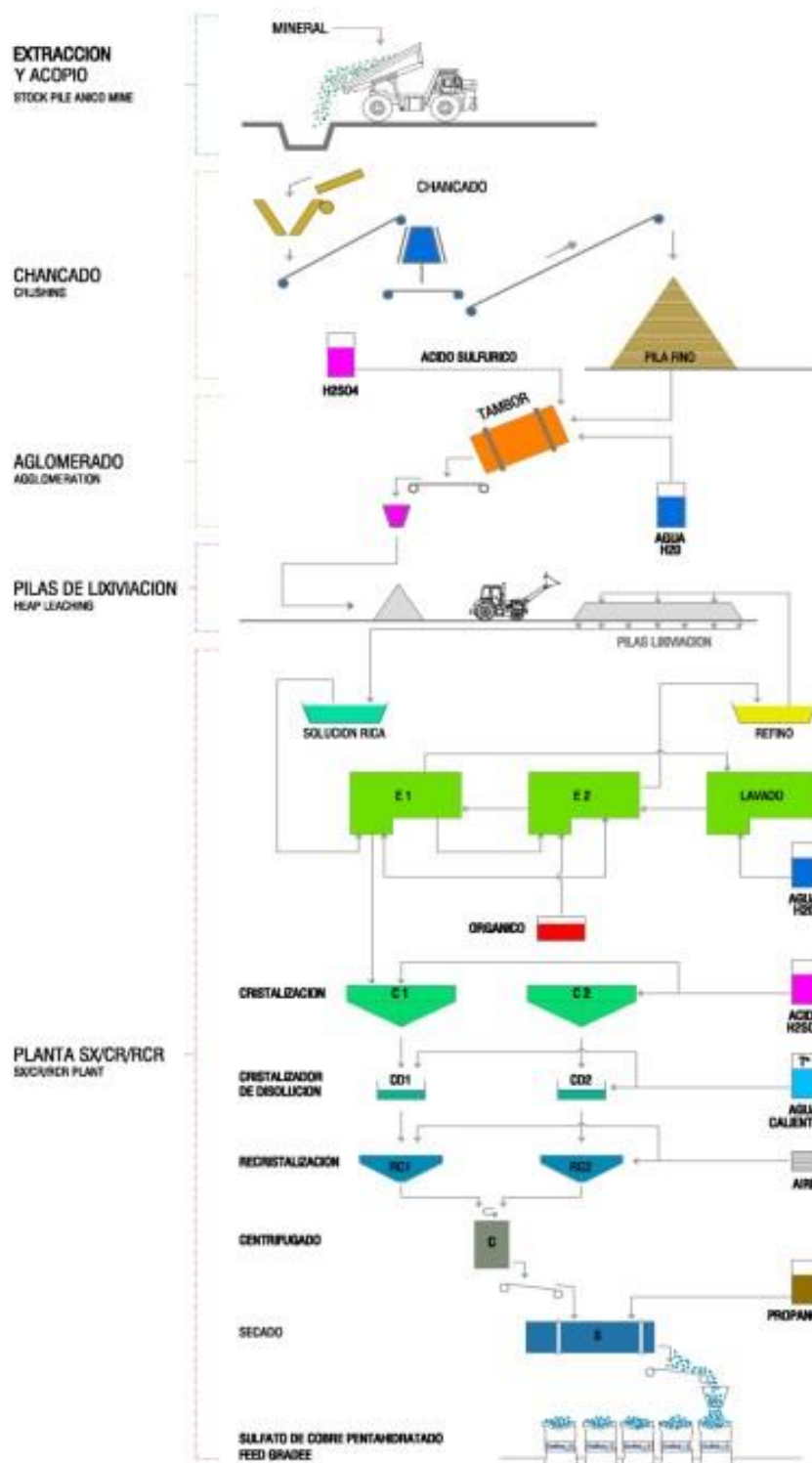


Figura 34: Diagrama de flujo de la planta (Tabilo, 2012)

4.5.1 Chancado

El mineral boliviano presenta una granulometría bien heterogénea, oscilando el tamaño entre 60 [mm] y 50 [mm]. El fin del chancado es reducir el tamaño de estas rocas más grandes hasta un máximo de ¼ de pulgada (6 [mm]), logrando obtener así un tamaño más uniforme del mineral.

Este objetivo será logrado utilizando un chancador de cono estándar. Además, se utilizarán correas para el transporte del mineral y un harnero vibratorio que filtra el material que cumpla el tamaño requerido. A continuación, se detalla los equipos a utilizar:

Equipo	Descripción
Buzón	Construcción en perfiles metálicos
Chancador	Tipo Cono estándar PYZ900 Alimentación máxima 60 [mm]
Harnero Vibratorio	2YK1230 Área 3.6 Deck 1: 50 [mm] Deck 2: 6 [mm]
Correa Transportadora 1	Desde Chancador a Harnero
Correa Transportadora 2	Desde Harnero a Tambor aglomerador

Tabla 6: Resumen de equipos en planta de chancado

La planta de chancado tiene un diseño para 560 [t/mes], pero puede variar la producción si fuera necesario. En este caso, el trabajo se realizará de la siguiente manera:

- Capacidad de tratamiento diaria: 28 [tpd]
- Jornada de trabajo de la planta de chancado: 1 [hr/día]
- Capacidad horaria requerida: 28 [t/hr]

A continuación, se presenta diagrama de flujo de la planta de chancado del proyecto Gallegos.

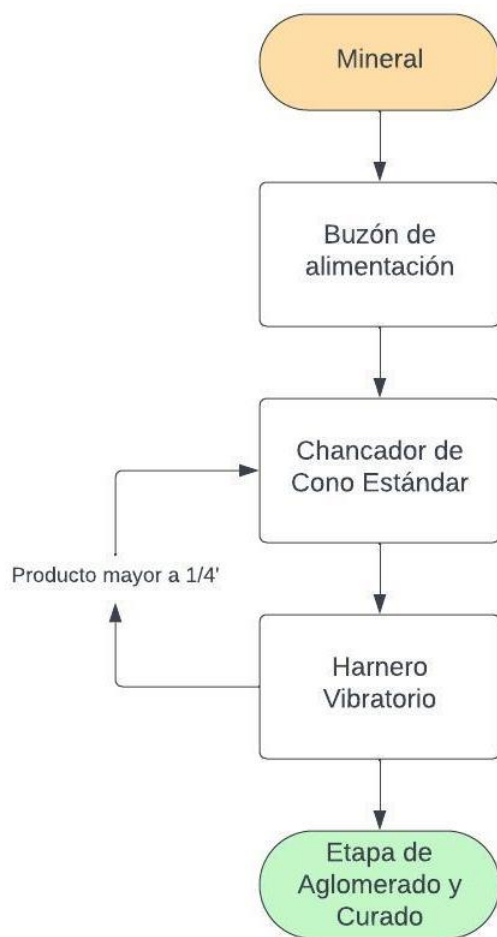


Figura 35: Diagrama de flujo de planta de chancado.

4.5.1.1 Chancador

Se utilizará un solo chancador, ya que el material viene previamente conminuido desde Bolivia y de tamaño homogéneo. Se usará un Chancador de Cono Estándar marca Smit, modelo PYZ900 que presenta las siguientes características:

Item	Característica
Modelo	PYZ 900 Estándar
Diámetro del Cono	900 [mm]
Alimentación máxima	60 [mm]
Rango de Ajuste	5 a 20 [mm]
Capacidad	20 a 65 [t/hr]
Motor	55 kW

Tabla 7: Características del chancador de cono.

4.5.1.2 Harnero Vibratorio

El equipo que se utilizará para seleccionar el material que cumpla con el tamaño requerido es un harnero vibratorio inclinado, el cual debe tener capacidad de alimentación suficiente. Las características de este se presentan a continuación:

Item	Característica
Modelo	2YK1230
Decks	2
Alimentación máxima	100 [mm]
Superficie Harnero	3.6 [m ²]
Capacidad	30 a 200 [m ³]
Motor	5.5 kW

Tabla 8: Características del harnero vibratorio.

4.5.1.3 Potencia instalada

A continuación, se muestra una tabla resumen con la potencia instalada en la planta de chancado, donde se considera un chancador, un harnero y dos correas transportadoras.

N°	Equipo	kW	HP
1	Chancador	55	73.8
2	Harnero	5.5	7.4
3	Correa Transportadora 1	5.2	7.0
4	Correa Transportadora 2	5.2	7.0
Total		70.9	95.1
Total + 10%		78.0	104.6

Tabla 9: Resumen de potencias de equipos.

4.5.2 Aglomerado y Curado

El proceso de aglomerado consiste en humedecer el mineral chancado, teniendo como objetivo alcanzar un nivel de agua suficiente que se origine una tensión superficial y así adherir el material particulado fino con los gruesos. Esto se logra al estar colisionando constantemente las partículas entre ellas, formando un puente liquido entre estas.

Por su parte, el curado se lleva a cabo rociando el mineral chancado con ácido sulfúrico (solvente) y luego dejándolo reposar o curar.

Ambas actividades se realizan en un tambor aglomerador inclinado, el cual gira a baja velocidad. Esto permite que se produzca un efecto de cascada y se aglomere el mineral

chancado, el cual se encuentra humectado con agua y ácido sulfúrico. De esta manera, se acondiciona el mineral con tal que el lecho de partículas que continuará a lixiviación sea permeable, asegurando una buena percolación y dispersión de la solución lixiviente.

Este proceso debe ser constantemente muestreado, con tal de ir monitoreando el porcentaje de finos, el consumo de ácido y el porcentaje de humedad del mineral antes de ser trasladado a las pilas de lixiviación.

Los parámetros para tener en cuenta en esta etapa son la cantidad de ácido y agua que se agrega para obtener una buena aglomeración del mineral. Como no se han realizado pruebas metalúrgicas, se propone el consumo de ácido y agua en base a los resultados obtenidos en el proyecto Anico (Tabilo, 2012).

Parámetro	Valor
Dosis de ácido	26 [kg/t]
Dosis de agua	85 [kg/t]

Tabla 10: Consumos en kilogramos por tonelada de mineral.

El tambor aglomerador se encuentra en la planta de chancado, ya que el material apto que pasa por el harnero se descarga al buzón secundario y con una correa transportadora se mueve para alimentar el tambor giratorio.

A continuación, se muestran los equipos requeridos en este proceso, de los cuales el tambor aglomerador será construido a medida, con tal que posea una capacidad de procesamiento proporcional a la planta.

Equipo	Descripción
Buzón secundario	Construcción en perfiles metálicos
Tambor Aglomerador	Construcción en maestranza Capacidad 20-40 [t/hr]
Correa Transportadora	Desde buzón secundario a Tambor Aglomerador
Cancha de Curado	Radier de concreto de 200 [m²]

Tabla 11: Resumen de equipos requeridos en el proceso de aglomeración.

El diagrama de flujo de esta etapa queda representado de la siguiente manera:

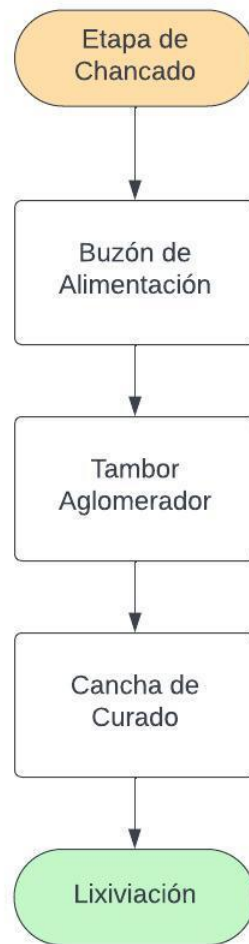


Figura 36: Diagrama de flujo de la etapa de aglomeración.

4.5.2.1 Potencia Instalada

A continuación, se muestra una tabla resumen sobre la potencia instalada en los equipos de aglomeración:

N°	Equipo	kW	HP
1	Tambor Aglomerador	55	73.8
3	Correa Transportadora 1	5.2	7.0
Total		60.2	80.7
Total + 10%		66.2	88.8

Tabla 12: Resumen de potencia instalada en etapa de aglomeración.

4.5.3 Lixiviación

La etapa de lixiviación se llevará a cabo en pilas estáticas, es decir, el material no se moverá una vez terminada la lixiviación, sino que quedarán en ese lugar. Además, se considera trabajar con módulos diferenciados en la pila, con el objetivo de tener diferentes etapas de lixiviación al mismo tiempo.

4.5.3.1 Sistema de transporte

El mineral proveniente del aglomerador se transporta hasta la pila mediante camiones, los cuales tienen capacidad para 20 [m³], aproximadamente, y se cargan con cargadores frontales. Además, habrá que construir un camino desde la planta de aglomerado hasta las pilas donde se deposita el material.

4.5.3.2 Sistema de carguío de pila

Para cargar la pila se utiliza el camión que viene con el mineral, un cargador frontal y una motoniveladora, equipos que servirán de igual manera para la preparación y reparación de caminos. Hay que tener en cuenta que el procedimiento de carguío debe ser por capas, poniendo cuidado al momento de compactar, con el fin de evitar romper el material aglomerado.

4.5.3.3 Dimensionamiento

Se construirán 3 pilas que abarcarán una superficie de 7650 [m²] y tendrán 7 niveles de altura. El primer nivel de cada pila será de 1.5 [m] y las superiores serán de 2 [m], de esta forma se tendrá una altura final de 13.5 [m].

En cuanto a la inclinación, cada nivel tendrá un talud de 34°. Por su parte, las pilas superiores se irán ubicando en relación con las inferiores de tal manera que se forme un ángulo de 23° entre las crestas de cada pila, lo que corresponde al ángulo del talud de cierre.

La superficie destinada a las pilas deberá tener una inclinación lateral y longitudinal de un 2% para cada una, aproximadamente, con tal que la solución escurra, sea recolectada por las zanjas colectoras y sea transportada a la siguiente etapa.

Parámetros de pilas	
Largo	85 [m]
Ancho	30 [m]
Altura	13.5 [m]
Área basal	2550 [m ²]
Niveles	7
Pilas	3
Modulos	21
Ángulo talud final	23°
Área basal total	7650 [m ²]

Tabla 13: Resumen dimensiones de pilas de lixiviación.

4.5.3.4 Descripción de una pila de lixiviación

1. Rasante base: El terreno base que será impermeabilizado no debe tener ningún elemento perforante a la vista, siendo totalmente lisa la superficie, para lo cual se debe preparar el terreno con una capa de fino muy bien compactado.
2. Base impermeable: Se utiliza Polietileno de Alta Densidad (HDPE) para impermeabilizar el suelo. La geomembrana es resistente a agentes químicos, a los rayos ultravioleta y puede estar expuesto al aire libre, ya que no posee aditivos que se evapore. Para las pilas se utilizará HDPE de 2 mm de espesor en la primera capa y 1.5 mm para las capas superiores.
3. Tuberías de drenaje: Se utilizan tuberías perforadas y corrugadas de HDPE de diámetro 2.5-4" para permitir una rápida evacuación de la solución cuando alcanza el fondo de la pila, evitando así la inundación de esta.
4. Ripio de protección: Es la primera capa que se instala sobre la geomembrana y las tuberías. Se caracteriza por ser de material homogéneo de aristas muertas (para no cortar la geomembrana) y es altamente percolante para que fluya la solución.
5. Canaleta de recolección: Corresponde a una canaleta perimetral a la cual llegan las tuberías de drenaje junto a la solución. Estas igual están impermeabilizadas con HDPE y contienen una tubería perforada de mayor diámetro (4.5-12") para transportar la solución a los estanques de almacenamiento. El diámetro y profundidad de la canaleta dependerá de cuanta solución transportará.
6. Anclajes: Son los sectores de fijación de la geomembrana, para lo cual se hace una excavación por fuera de la base a impermeabilizar, se recubre con el rollo de HDPE y se tapa, dejando así anclada la capa impermeable.

4.5.3.5 Sistema de riego

El sistema de riego a utilizar será mediante el uso de aspersores diseñados para minería de cobre, capaces de rociar soluciones ácidas. En base al estudio del proyecto Anico (Tabilo, 2012), se considera el uso de aspersores tipo Xcel-Wobbler CMS ángulo medio con

boquillas de 4 [mm], aproximadamente. Se requiere instalar 23 aspersores por pila, una tasa de 18 [l/h-m²] y un caudal de 0.315 [l/s].

4.5.3.6 Potencia Instalada

A continuación, se presenta una tabla resumen de la potencia instalada en este proceso.

N°	Equipo	kW	HP
1	Bomba centrífuga tipo Worthington 3" x 4" Caudal de 40 a 50 M3/h Altura de impulsión de 20 m De estanque de solución refinada de SX a riego de pila	30	40
2	Bomba centrífuga tipo Worthington 3" x 4" Caudal de 40 a 50 M3/h Altura de impulsión de 20 m De estanque de solución refinada de SX a riego de pila, para contingencia de item 1	30	40
3	Bomba centrífuga tipo Worthington 3" x 4" Caudal de 40 a 50 M3/h Altura de impulsión de 20 m De estanque N°1 de solución lixiviada (PLS) a planta SX	30	40
4	Bomba centrífuga tipo Worthington 3" x 4" Caudal de 40 a 50 M3/h Altura de impulsión de 20 m De estanque N°2 de solución lixiviada (PLS) a planta SX	30	40
5	Bomba centrífuga tipo Worthington 3" x 4" Caudal de 40 a 50 M3/h Altura de impulsión de 20 m De estanque N°3 para contingencias	30	40
6	Bomba sumergible portátil 3" x 4" Caudal de mayor a 1000 L/min Para contingencias	37	50
Total		187	251
Total + 10%		206	276

Tabla 14: Resumen de potencia instalada en etapa lixiviación.

4.5.3.7 Estanques del proceso

Para dimensionar las piscinas hay que tener en cuenta los siguientes parámetros: tasa evaporación, caudal de PLS, tasa de riego y humedad de abandono de pila. Además, se contará con 3 estanques: 2 de PLS y uno de contingencia. Al no tener los valores de los

parámetros mencionados, se aproxima la capacidad de los estanques a la mitad de la capacidad mencionada en el proyecto Anico (2012).

Con esta información se puede dimensionar los estanques, obteniéndose una capacidad de 3800 [m³] para las piscinas de PLS y 3100 [m³] para la de contingencia. Las dimensiones para las piscinas de PLS serán de 41 [m] de ancho en cada lado y 3 [m] de profundidad, mientras que la de contingencia será de 50 [m] de largo, 30 [m] de ancho y 3 [m] de profundidad, ambas impermeabilizadas con HDPE de 1.5 [mm].

La idea del estanque de contingencia, es tenerlo para eventuales fallas de bombas, mantenciones programadas o algún otro problema en la planta de SX, pudiendo así recibir la solución circulante. Además, servirá para almacenar la solución en caso de precipitaciones y aumento de flujo.

Estos estanques quedarán semi enterrados, por lo que, para la construcción de estos, será necesario excavar y compactar el terreno, con tal que quede una buena superficie sin material cortante que afecte la impermeabilización. Además, con el material extraído se aprovechará de crear un muro de contención, de manera que el estanque quedará semi enterrado.

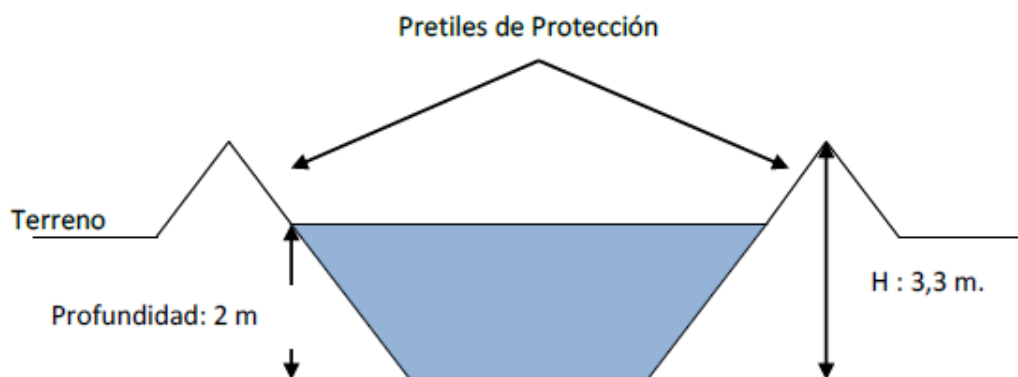


Figura 37: Diagrama con dimensiones de piscinas, vista en corte. (Anico, 2012)

Estanque	Dimensiones	Capacidad
Piscina Solución Intermedia - PLS 1	Largo: 41 [m] Ancho: 41 [m] Profundidad: 3 [m]	3800 [m ³]
Piscina Solución Rica - PLS 2	Largo: 41 [m] Ancho: 41 [m] Profundidad: 3 [m]	3800 [m ³]
Estanque de Contingencias	Largo: 50 [m] Ancho: 30 [m] Profundidad: 3 [m]	3100 [m ³]

Tabla 15: Resumen de dimensiones de estanques.

4.5.3.8 Ripios de lixiviación

Al ser una pila de lixiviación estática, los ripios de lixiviación permanecerán en el lugar, de este modo, las dimensiones de la pila serán las mismas.

4.5.4 Extracción por Solvente

La extracción por solvente, SX proveniente del inglés Solvent Extraction, tiene como objetivo extraer selectivamente el cobre del PLS mediante un intercambio iónico con un reactivo orgánico. Para lograr esto, la planta de SX se compone de 5 equipos: dos mezcladores decantadores, un estanque de orgánico cargado, un lavador de orgánico descargado y un post decantador de refino.

A la planta SX le llega la solución rica producida en las pilas de lixiviación, teniendo como característica principal la baja concentración de cobre e impurezas, tales como Fe, Cl, Al, Mn, Mg, Na, entre otros, los que se encuentran disueltas.

Los equipos necesarios para este proceso se presentan en la siguiente tabla:

N°	Equipo
1	Mezclador decantador 1
2	Mezclador decantador 2
3	Estanque de orgánico cargado
4	Lavador de orgánico descargado
5	Post decantador de refino

Tabla 16: Equipos utilizados en SX.

El proceso inicia cuando al mezclador decantador 1 le llega PLS que proviene del estanque de acumulación de PLS y orgánico semicargado desde el mezclador decantador 2. Por su lado, al mezclador decantador 2 le ingresa orgánico descargado del lavador de orgánico descargado y semirefino desde el mezclador decantador 1. El PLS y el orgánico entran en contacto en ambos equipos, produciéndose el intercambio iónico, esto ya que el orgánico tiene extractante. Luego, el orgánico cargado obtenido se transporta al estanque de orgánico cargado, donde se homogeniza y se retiene la solución acuosa remanente. Por su parte, el refino obtenido pasa al post decantador de refino, donde se recupera orgánico, se eliminan las impurezas y el refino se envía a las piscina de refino. A su vez, el orgánico cargado es enviado a la planta de cristalización y el acuoso remanente se lleva al mezclador decantador 1.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la extracción por solventes.

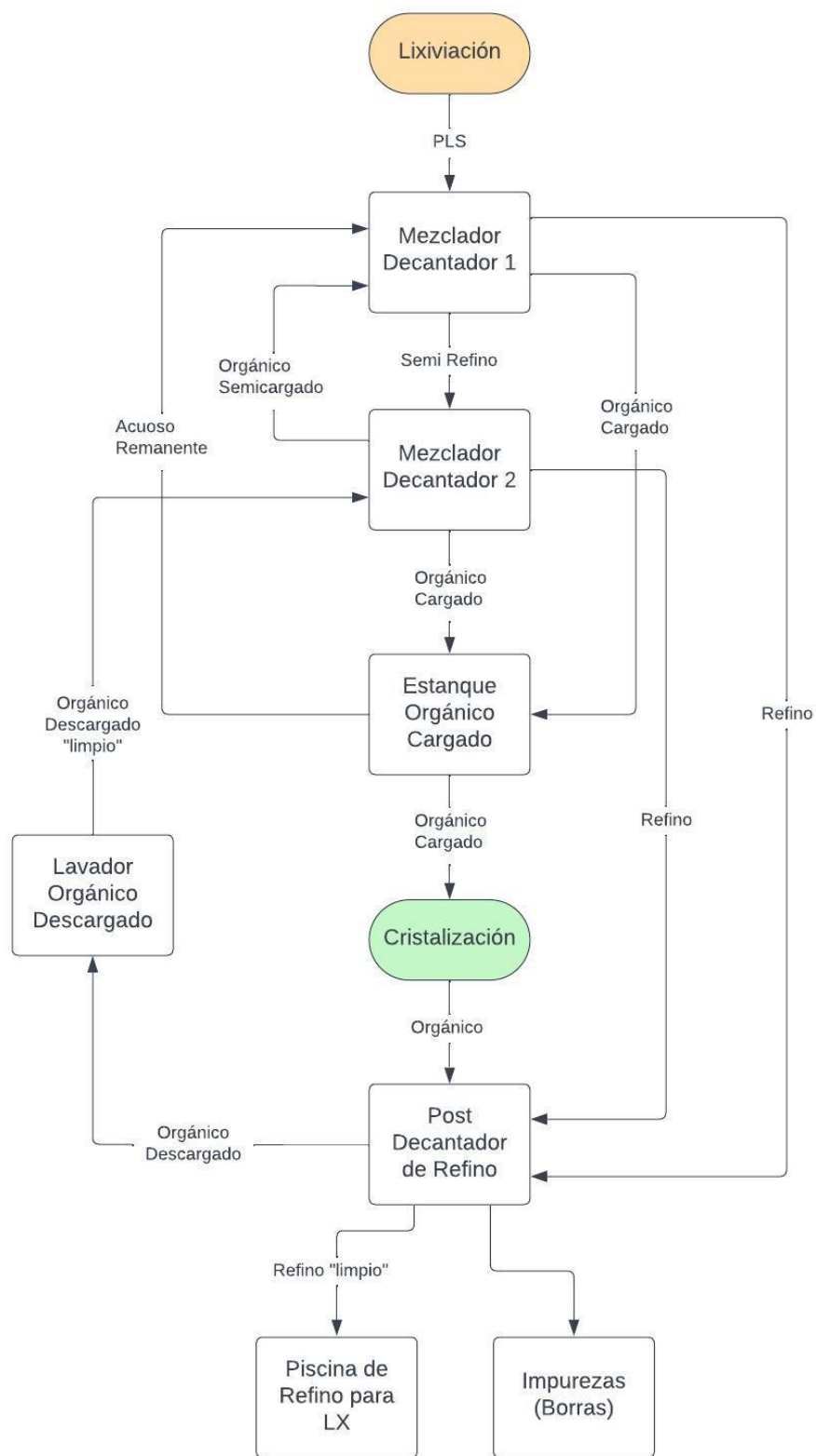


Figura 38: Diagrama de flujo de la etapa extracción por solventes.

4.5.5 Cristalización

4.5.5.1 Etapas de cristalización

La etapa de cristalización se da en 2 etapas y se utilizan 2 equipos: un cristalizador y un estanque mezclador de solución saturada. La primera etapa consiste en que el orgánico cargado que proviene de la extracción por solvente se mezcla con solución saturada en ácido sulfúrico del estanque mezclador de solución saturada. De esta manera, se descarga el orgánico cargado y se promueve el intercambio y generación de núcleos cristalinos, los cuales comienzan su crecimiento para luego precipitar.

La segunda etapa se genera en el interior del cristalizador, donde ocurre el crecimiento cristalino y precipitación de sulfato de cobre en grado industrial. Además, se extraen las soluciones del proceso, es decir, por rebose se recupera el electrolito y el orgánico con impurezas. El electrolito es enviado al estanque mezclador de solución saturada para ser reutilizado en los cristalizadores y el orgánico es enviado al post decantador de refino de la planta SX.

4.5.5.2 Orgánico al Post decantador de Refino

El post decantador de refino recibe el orgánico proveniente del cristalizador, del cual se separa el orgánico descargado, que se envía al lavador de orgánico descargado, y la solución ácida, que se envía al estanque mezclador de solución saturada. De esta manera, ambos productos son reutilizados.

4.5.5.3 Lavador Orgánico Descargado

En este equipo se extraen las impurezas del orgánico descargado proveniente del post decantador de refino. Para ello, se utiliza agua de lavado que retira los residuos y permite enviar el orgánico al mezclador decantador 2 de la planta SX para ser reutilizado. Por su parte, el agua de lavado se recircula al mismo estanque de donde proviene (estanque de agua de lavado) y así puede usarse otra vez.

4.5.6 Recristalización

Este proceso se lleva a cabo utilizando un cristalizador de disolución y un recrystalizador y, al igual que la cristalización, ocurre en dos etapas. En la primera se disuelven los cristales de sulfato de cobre utilizando agua caliente (46°C) proveniente del estanque de agua caliente, formándose una pulpa. A su vez, por rebose se extrae el agua caliente, ácido sulfúrico e impurezas.

En la segunda etapa, en los recrystalizadores interactúa la pulpa obtenida y el agua de enfriamiento, que se encuentra a 15°C. Así comienza el proceso de nucleación y crecimiento

cristalino, formándose cristales de sulfato de cobre pentahidratado en grado alimenticio. Además, según el diseño de este equipo, el agua utilizada se recircula hacia los cristalizadores.

4.5.7 Secado

El material proveniente de las etapas previas llega mediante correas transportadoras y se procederá a secar en un secador rotatorio, obteniéndose un material con humedad entre un 3 y 10%. De esta manera, se obtiene el producto final de sulfato de cobre pentahidratado en grado alimenticio.

Cabe destacar que el secador puede utilizarse a mayor temperatura, lo que permite secar más y obtener sulfato de cobre monohidratado si fuese requerido.

4.5.8 Envasado

Esta última etapa recibe el material mediante correas transportadoras y se utilizará un buzón de envasado para cargar maxisacos, los cuales tienen una capacidad de 1200 kg de sulfato de cobre pentahidratado en grado alimenticio.

4.6 Obras complementarias

A continuación, se describe en detalle la infraestructura complementaria para el funcionamiento de la planta.

4.6.1 Estanques de agua

Se considera la construcción de 2 estanques de agua, uno para agua industrial y otro para agua potable.

- *Agua potable:* El estanque se emplazará en las inmediaciones a las instalaciones sanitarias y tendrá que ser de 40 [m³], aproximadamente.
- *Agua industrial:* El estanque para agua industrial se ubicará en un punto estratégico, con tal que se requiera la menor cantidad de tubería para cumplir los requerimientos de cada proceso. El tamaño será de 200 [m³].

4.6.2 Estanque de ácido sulfúrico

Este estanque debe tener una capacidad de 52 [m³] y deberá cumplir con la normativa aplicable, la cual corresponde al Decreto Supremo N°43/2016 del Ministerio de Salud “Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas”. Será construido con una piscina de contención de derrames, equivalente al 110% de la capacidad del estanque. Esta debe estar impermeabilizado con algún material que resista la concentración que tendrá el ácido.

4.6.3 Estanque de combustible

Se almacenará diésel para los requerimientos de la planta, para lo cual se requiere un estanque de 14 [m³] de capacidad. Para el abastecimiento de combustible, se construirá una losa de hormigón y un pretil de contención de derrames. Este lugar tendrá que contar con la señalización correspondiente, habrá extintores adecuados para emergencias y arena en caso de algún derrame de combustible.

4.6.4 Taller de mantención

Para mantener la maquinaria operativa se construirá un taller de 160 [m²] y estará equipado con todo lo necesario para reparaciones y mantenciones rápidas y efectivas, a fin de no tener equipos parados.

4.6.5 Barrio cívico

Las edificaciones que tendrán que construirse para el personal son las siguientes: Casino, oficinas administrativas, laboratorio, casa de cambio, sanitarios y portería.

4.6.6 Servicios sanitarios

Los baños y duchas construidos serán abastecidos mediante una red de alcantarillado particular, la cual se construirá utilizando tuberías de PVC, cámaras de inspección, desgrasadoras, corta jabón y cámaras de redistribución. Esta se abastecerá del estanque de agua potable y luego de utilizarse será tratada para utilización como agua industrial.

4.7 Insumos y suministros

A continuación, se detallan los insumos que se requerirán para el funcionamiento de la planta y como serán suministrados al lugar.

4.7.1 Reactivos

4.7.1.1 Extractante y Diluyente

Para los procesos de extracción por solvente, lixiviación y cristalización se requiere extractante y diluyente. A continuación, se detalla el consumo de cada uno.

Reactivo	Cantidad mensual	Cantidad anual
Extractante	208 [L/mes]	2496 [L]
Diluyente	1.4 [m³/mes]	16.8 [m³]

Tabla 17: Resumen de reactivos a utilizar.

En cuanto al transporte del diluyente, se utilizarán camiones autorizados para el transporte de sustancias peligrosas, en base al Decreto Supremo 298/1994 “Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos” del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. El almacenaje de diluyente se considera en un estanque dentro de la planta, asegurando la cantidad de un día de producción.

4.7.1.2 Ácido Sulfúrico

El consumo de ácido sulfúrico, que es utilizado en diversos procesos, viene dado por las pruebas metalúrgicas realizadas. En este estudio se considera el valor utilizado en el Proyecto Anico (2012) obteniéndose un valor de 6.25 [kg de H₂SO₄/kg de Cu], el cual se utiliza junto a la ley de cobre y la recuperación para calcular el consumo de ácido por tonelada.

$$\text{Ley de Cu} * \text{Recuperación} * \text{Ácido por kg Cu} = \text{Ácido por tonelada mineral}$$

$$2.5\% * 80\% * 6.25 \left[\frac{\text{kg H}_2\text{SO}_4}{\text{kg Cu}} \right] * \frac{1000}{1} \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}} \right] = 125 \left[\frac{\text{kg H}_2\text{SO}_4}{\text{t mineral}} \right]$$

Para transportarlo se usarán camiones, los cuales contarán con la certificación para transporte de sustancias peligrosas y se almacenará en los estanques específicos para el ácido. Se debe cumplir con el Decreto Supremo N°298/1994 “Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos” del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. En cuanto al almacenamiento, se realizará en base a lo establecido por el Decreto Supremo N°594/1999 “Reglamento sobre las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”. Además, los estanques y camiones deben estar señalizados según las normas de riesgos NCh1411/4 Of78 y NCh2190:2019.

4.7.2 Agua potable

El agua para baños y duchas será proporcionada mediante camión aljibe hasta el estanque de agua potable, considerándose que se reabastece con un camión de 20 [m³] cada 10 días. Se cumplirá con la normativa respecto al sistema de distribución de agua potable y la calidad de esta, según la Norma Chilena 409.

El consumo calculado es de 524 [m³/año] ó 0.046 [L/s], considerando 20 trabajadores en la planta, 100 litros diarios para cada uno y 262 días hábiles.

Por otro lado, para la ingesta de agua se utilizarán bidones provenientes de empresas certificadas.

4.7.3 Agua industrial

El agua industrial será proporcionada por Tratacal S.A. hasta el estanque establecido en la planta, la cual se traslada mediante el uso de camiones aljibes de 30 [m³]. Se estima que se enviarán 3 camiones con agua cada 6 días. En cuanto al consumo, se estima en base al Proyecto Anico (2012), obteniéndose un consumo de 57 kg de agua por tonelada de mineral, lo que es igual a 0.184 L/s. A continuación, se presenta la tabla con los consumos anuales de cada proceso.

Proceso	Consumo [m ³ /año]
Húmedad Aglomerado	604.8
Humedad Saturación	537.6
Humedad dinámica equivalente al PLS	2.24
Pérdidas por evaporación forzada en ciclos de riego	1344
Consumo SX	553.6
Consumo CR: de coordinación y cristalización	1.2
Consumo CRC	821
Consumo total	3865
Consumo en L/s	0.123

Tabla 18: Resumen de consumo de agua estimado.

4.7.4 Combustible

El principal combustible requerido será el diésel para abastecer generadores eléctricos, la maquinaria pesada y liviana. Además, se requerirá gas propano para el horno en la etapa de secado del sulfato de cobre. El consumo anual de petróleo se detalla en la siguiente tabla:

Maquinaria	Consumo total [L]
Camioneta Administración	4,192
Camioneta Chancado, Aglomerado, Lixiviación	12,576
Camioneta SX, CR, Control de Calidad	6,288
Compresor	7,860
Camión	11,528
Cargador Frontal	18,340
Retroexcavadora	6,288
Motoniveladora	9,432
Generadores	300,252
Total	376,756
Consumo por tonelada procesada [L/t]	56.06

Tabla 19: Resumen de consumo de combustible.

4.7.5 Aire comprimido

Las etapas de extracción por solvente, cristalización y recristalización requieren el uso de aire comprimido, el cual se obtendrá de un compresor de aire de 5000 L/min y 120 psi.

4.7.6 Energía eléctrica

Para llevar a cabo el proyecto, se considera el uso de grupos electrógenos para el suministro eléctrico de las diversas etapas.

A continuación, se presenta una tabla con las potencias instaladas y los consumos eléctricos, según la cantidad de uso, para cada etapa del proceso productivo.

Área	Potencia instalada		N° horas por día	Consumo estimado	
	kW	HP		kWh/mes	kWh/año
Chancado	78	105	1	1,638	19,653
Curado y aglomerado	66	89	1	1,391	16,687
Lixiviación	206	276	8	34,558	414,691
Extracción por solvente	126	169	24	63,554	762,653
Cristalización	7.6	10.2	24	3,830	45,965
Recristalización	4.7	6.3	24	2,369	28,426
Secado	6	8.0	24	3,024	36,288
Mantenición	24	32.2	24	12,096	145,152
Administración planta	13	17.4	8	2,184	26,208
Total	531	712	-	124,644	1,495,723

Tabla 20: Resumen de energía eléctrica estimada.

Se plantea el uso de un grupo electrógeno para cada etapa, excepto para los procesos cristalización, recristalización y secado, ya que el consumo en conjunto es bajo, priorizando el uso de un solo generador eficiente para abastecer ese sector de la planta.

Área	Generadores Cummins			
	KW	Autonomia	Consumo L/h	Modelo
Chancado	82	17	21	C90D5
Curado y aglomerado	82	17	21	C90D5
Lixiviación	227	7	5	C250D5
Extracción por solvente	136	8	31	C150D5
Cristalización	20	30	5	C22D5
Recristalización				
Secado				
Mantenimiento	30	25	7	C33D5
Administración planta	15	38	4	C17D5

Tabla 21: Grupos electrógenos para cada área de la planta.

4.8 Evaluación técnico-económica

Para determinar si es factible llevar a cabo el proyecto de construir una planta para producir sulfato de cobre pentahidratado, es necesario definir varios parámetros relevantes, tales como valor de compra del mineral, inversiones, costos, consumos, entre otros.

Se evalúa el proyecto en base a los datos de obtenidos de capítulos previos, por ejemplo, el precio del sulfato de cobre obtenido del estudio de mercado o los suministros necesarios del capítulo anterior, entre otros. Además, algunos valores se definirán o calcularán a continuación.

4.8.1 Tarifa de compra

Como se mencionó anteriormente, el total del mineral a tratar será importado de Bolivia. Para esto, se define un valor por tonelada de óxido de cobre con ley de 2.5%, es decir, un camión traerá 28 [t] y tendría un costo de 2000 USD. De esta manera, el precio por tonelada de mineral en Chile es de 71.4 USD/t.

4.8.2 Inversión

Dentro de los costos de inversión de la planta, el mayor gasto se realiza en el área de LX-SX-CR con un monto de 1,314,255 USD. Además, la inversión en maquinaria pesada es

de 254,103 USD, lo que representa un 9.1% del total. En cuanto a energía eléctrica, la inversión en grupos electrógenos es de 133,093 USD, equivalente a un 4.8% del total. Finalmente, el monto total de inversión asciende a 2,793,908 USD. A continuación, se muestra la tabla de inversiones de la planta indicándose en detalle cada área, donde se considera la ingeniería de detalle de la planta.

Área	Monto [USD]
General	\$ 87,711.74
Chancado y Aglomerado	\$ 480,003
Lixiviación	\$ 247,019.29
SX-CR-RCR	\$ 1,314,255
Disciplinas LX-SX-CR	\$ 442,266
Laboratorio y muestrera	\$ 89,560
Electricidad	\$ 133,093
TOTAL	\$ 2,793,908

Tabla 22: Resumen de inversión del proyecto.

4.8.3 Costos de operación

Para los costos de operación de la planta hay que considerar la mano de obra, la energía eléctrica y todos los consumos que conlleva mantener la producción de sulfato de cobre.

4.8.3.1 Mano de obra

Para determinar el costo en mano de obra se define la cantidad de personal y los turnos que se utilizarán. Junto a esto, se determinan los sueldos y se calcula el costo que significa para la empresa.

Se analiza la opción de un turno de 7x7 y 5x2, llegando a la conclusión de que se utilizará la opción con menos personal al ser una faena pequeña, es decir un turno 5x2, ya que es un 35% más barato que el 7x7.

A continuación, se detalla según área la cantidad de personal requerido y los sueldos que estos conllevan.

a) Costo mano de obra planta chancado y aglomerado

Se estima que se requerirán 4 personas para la planta, ascendiendo el costo de mano de obra a 64,488 USD por año. A continuación, se muestra cómo se repartirá el personal dentro de la planta.

Costo mano de obra planta chancado, curado y apilado			
Sector	Personas	USD/pers/Año	USD/Año
Planta Chancado			
Operadores (el mismo para curado y aglomerado)	1	\$ 13,631	\$ 13,631
Curado, aglomerado y apilamiento			
Operadores de apilamiento	1	\$ 13,631	\$ 13,631
Operadores camión	1	\$ 13,631	\$ 13,631
Planta			
Jefe de planta	1	\$ 23,595	\$ 23,595
TOTAL	4		\$ 64,488

Tabla 23: Resumen costos de mano de obra en planta chancado, curado y apilado.

b) Costo mano de obra plantas lixiviación, extracción por solventes y cristalización

Se calcula que serán 7 los trabajadores encargados de esta área, los cuales se trabajarán 5x2 y 8 horas diarias de trabajo. A continuación, se muestra la tabla con la distribución del personal.

Costo mano de obra planta LX-SX-CR-RCR			
Sector	Personas	USD/pers/Año	USD/Año
Lixiviación			
Operadores (bomba y riego)	1	\$ 13,627	\$ 13,627
Filtrado			
Mantenedor	0	\$ 15,679	\$ -
Apilado residuos			
Mantenedor	0	\$ 15,679	\$ -
Extracción por solventes			
Paneleros de control	1	\$ 15,679	\$ 15,679
Operador-mantenedor	0	\$ 13,631	\$ -
Muestreo-Operador y trat. Borrax	0	\$ 12,474	\$ -
Lavado residuos			
Panelero control bomba	1	\$ 13,631	\$ 13,631
Cristalización-Re cristalización			
Operador Cristalizador	1	\$ 15,679	\$ 15,679
Operador Centrífuga y horno	1	\$ 15,679	\$ 15,679
Operador Despacho	1	\$ 13,631	\$ 13,631
Planta			
Jefe de planta	1	\$ 23,595	\$ 23,595
TOTAL	7		\$ 111,521

Tabla 24: Resumen costos de mano de obra en planta LX-SX-CR-RCR

c) Costo mano de obra mantención

Se tendrán 3 personas en total encargadas de la mantención de maquinarias y equipos. De este equipo 2 serán mecánicos y uno eléctrico. Se presenta la distribución del personal dedicado a las mantenciones.

Costo mano de obra mantención			
Especialidad	Personas	USD/pers/Año	USD/Año
Mecánicos A	1	\$ 19,461	\$ 19,461
Mecánicos B	1	\$ 14,360	\$ 14,360
Eléctricos A	1	\$ 19,461	\$ 19,461
Supervisor	1	\$ 20,000	\$ 20,000
TOTAL	3		\$ 53,282

Tabla 25: Resumen costos de mano de obra de mantención.

4.8.3.2 Energía eléctrica

El costo que tiene la energía eléctrica viene dado por el consumo de combustible de los equipos electrógenos. El litro de combustible tiene un valor aproximado de 0.85 [USD], con lo cual se estima el costo de la energía eléctrica, obteniéndose

Área	Horas por día	Consumo combustible [L/h]	Consumo anual [L]	USD/año
Chancado	1	21	5,502	4,691
Curado y aglomerado	1	21	5,502	4,691
Lixiviación	8	5	10,480	8,935
Extracción por solvente	24	31	194,928	166,199
Cristalización	24	5	31,440	26,806
Recristalización	24			
Secado	24			
Mantención	24	7	44,016	37,529
Administración planta	8	4	8,384	7,148
Total			300,252	255,999

Tabla 26: Resumen de consumo y costo de combustible para energía eléctrica.

4.8.3.3 Costos operacionales

A continuación, se presenta una tabla de costos por cada área de la planta considerando los parámetros anteriores, los datos de entrada y los consumos.

Operación	USD/año	USD/t	cUSD/kg CuSo4
Costo Mineral	\$ 480,000	\$ 71.43	\$ 90.93
Chancado-Aglomerado	\$ 289,319	\$ 43.05	\$ 54.81
Lixiviación	\$ 353,780	\$ 52.65	\$ 67.02
Extracción por solventes	\$ 232,579	\$ 34.61	\$ 44.06
Cristalización	\$ 93,839	\$ 13.96	\$ 17.78
Movimiento de flujo de soluciones	\$ 2,482	\$ 0.37	\$ 0.47
Centrifugado	\$ 3,259	\$ 0.49	\$ 0.62
Secado Cristales	\$ 4,571	\$ 0.68	\$ 0.87
Mantenimiento Planta	\$ 90,811	\$ 13.51	\$ 17.20
Administración	\$ 182,190	\$ 27.11	\$ 34.51
TOTAL	\$ 1,732,830	\$ 258	\$ 328

Tabla 27: Resumen de costos de operación.

En la sección Anexos se presenta la tabla en detalle de todos los costos considerados en la operación de la planta.

4.8.3.4 Costos administrativos

El personal administrativo será de 6 personas, los cuales tendrán turnos de 5x2 y jornadas de 8 horas diarias. A continuación, se muestra la cantidad de personal administrativo, los cargos y los costos.

Costo mano de obra administración general			
Sector	Personas	USD/pers/Año	USD/Año
Administrador	1	\$ 55,000	\$ 55,000
Jefe operaciones	1	\$ 40,000	\$ 40,000
Jefe prevención riesgos	1	\$ 23,595	\$ 23,595
Ayudante jefe operaciones	1	\$ 25,000	\$ 25,000
RRHH	1	\$ 15,000	\$ 15,000
Control calidad	1	\$ 23,595	\$ 23,595
Total	6		\$ 182,190

Tabla 28: Resumen costos administrativos

4.9 Evaluación económica

4.9.1 Resumen costo de operación e inversión

Del capítulo anterior, sumando todos los costos y dividiendo en la cantidad de mineral procesado anualmente, se obtiene un costo de 258 [USD] por tonelada de mineral procesado. Por su parte, sumando todos los costos de inversión necesarios, se obtiene que la inversión del proyecto asciende a 2.79 [MUSD].

4.9.2 Flujo de caja

A partir de las inversiones y costos asociados a la planta, se obtiene la evaluación financiera, en la cual el VAN resulta ser -6,577,722 [USD]. Al ser un valor negativo, significa que no es factible el negocio para el caso base, en el que se propone traer 7 camiones por semana con ley de 2.5% y un precio de venta de 2.5 [USD/kg].

A continuación, se presenta la tabla del flujo de caja.

Flujo de caja

Parametro	Valor	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Tratamiento mineral (t)			6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720	6720
Ley Cu media (%)	3.3		3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Recuperación de Cu (%)	80		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Consumo ácido sulfúrico (kg/t mineral)	125		125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Precio ácido sulfúrico (USD/t)	150		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Ingresos												
Producción total Cu (t)			134.4	134.4	134.4	134.4	134.4	134.4	134.4	134.4	134.4	134.4
Producción Cu (lb)			296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93	296300.93
Producción Sulfato de Cobre (t)	44.0		527.89	527.89	527.89	527.89	527.89	527.89	527.89	527.89	527.89	527.89
Precio Sulfato de Cobre (USD/kg)	2.5		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Ingresos totales (USD)			\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717	\$ 1,319,717
Inversión												
Inversión inicial		\$ 2,793,908										
Imprevistos (10% inversión)		\$ 279,391										
Costos												
Costo total (USD/t mineral)	230.75		\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640	\$ -1,550,640
Costo plan de cierre (15% valor inversión)												\$ -419,086
Gastos de administración (USD/año)	27.11		\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190	\$ -182,190
Depreciación			\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330	\$ -307,330
Utilidad antes de impuestos			\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -720,443	\$ -1,139,529
Impuestos (%)	27%		\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -194,520	\$ -307,673
Recuperación			\$ -3,599,222	\$ -4,125,145	\$ -4,651,068	\$ -5,176,991	\$ -5,702,914	\$ -6,228,837	\$ -6,754,760	\$ -7,280,683	\$ -7,806,607	\$ -8,638,463
Flujo de Caja		\$ -3,073,299	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -525,923	\$ -831,856
Tasa interés anual	9%											
VAN (USD)	\$ -6,577,722											

Tabla 29: Flujo de caja por 10 años para el caso base.

4.9.3 Sensibilización

A raíz de que el VAN es negativo, se procede a sensibilizar el proyecto para buscar la rentabilidad de este. Para ello, se calcula el VAN en función de la ley de cobre del material boliviano y en función del precio de venta del kg de sulfato de cobre pentahidratado.

A continuación, se presentan los resultados del VAN en función de los parámetros mencionados y sus respectivos gráficos.

Precio CuSO ₄ [USD/kg]	VAN [USD]
3.0	\$ -8,928,773
3.5	\$ -7,744,846
4.0	\$ -6,560,918
4.5	\$ -5,376,991
5.0	\$ -4,193,064
5.5	\$ -3,009,137
6.0	\$ -1,825,209
6.5	\$ -641,282
7.0	\$ 542,645
7.5	\$ 1,726,573

Tabla 30: VAN en función del precio de venta.

Ley Cu [%]	VAN [USD]
2.5	\$-8,928,773
3.0	\$-7,847,752
3.5	\$-6,766,731
4.0	\$-5,685,710
4.5	\$-4,604,689
5.0	\$-3,523,668
5.5	\$-2,442,647
6.0	\$-1,361,626
6.5	\$ -280,605
7.0	\$ 800,415

Tabla 31: VAN en función de la ley de Cu.

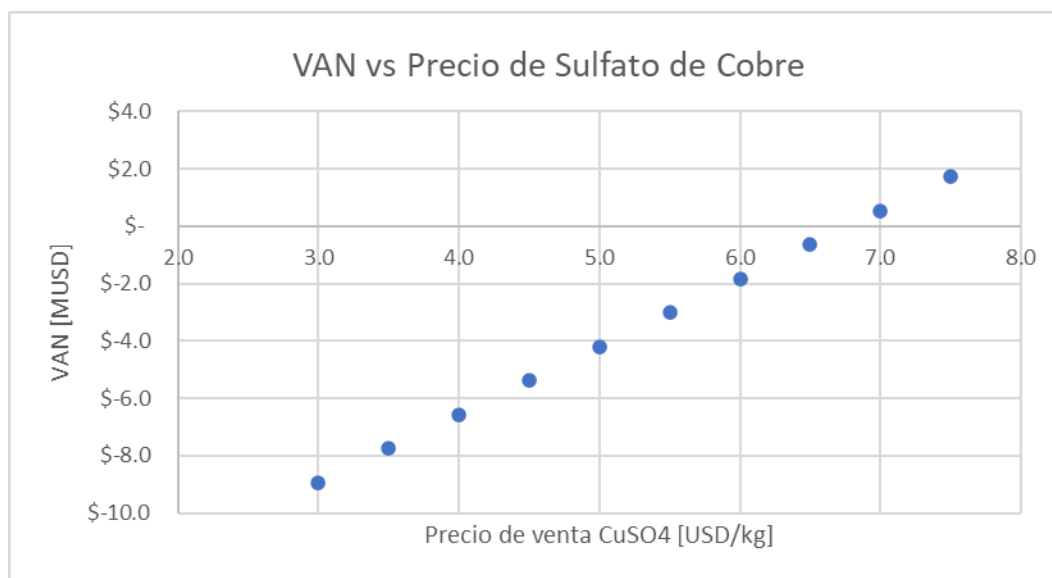


Figura 39: VAN en función del precio de venta del sulfato de cobre.

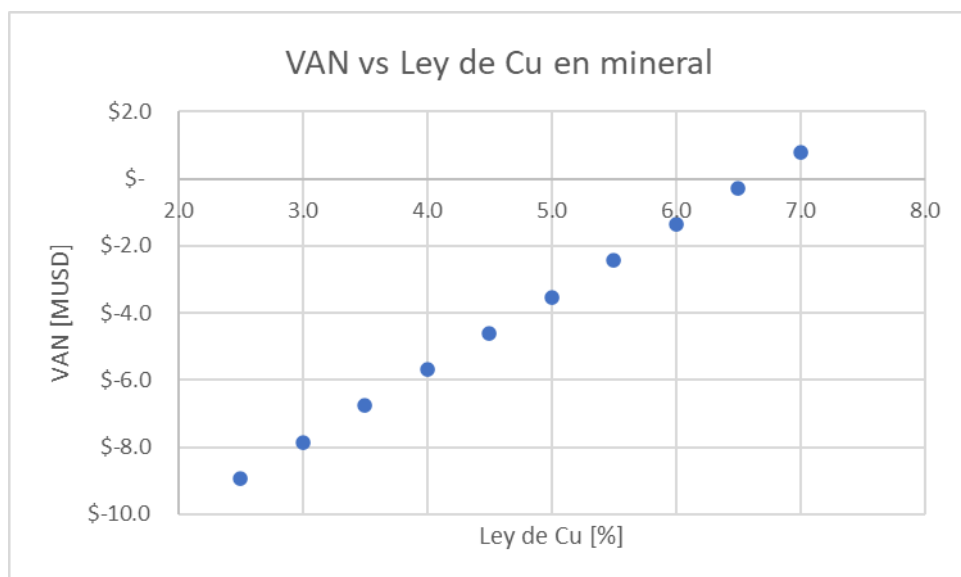


Figura 40: VAN en función de la ley de cobre en el mineral boliviano.

De lo anterior, se obtiene que el proyecto sería factible si es que el precio de venta del sulfato de cobre es mayor a 6.77 USD por kilo. Por su parte, si la ley de cobre del mineral es superior a 6.63% también sería factible.

Al ser escenarios complejos de alcanzar, por ser leyes y precios de venta muy altos, se sensibiliza una vez más utilizando un equilibrio entre ambos parámetros. Resulta más simple comprar mineral con mejor ley que subir el precio de venta, ya que el precio lo determina la oferta y demanda. Por esto, se decide plantear el caso de subir el precio base a 3.0 [USD/kg]. De esta manera, se vuelve a sensibilizar en función de la ley de Cu en el mineral de entrada, obteniéndose lo siguiente:

Ley Cu [%]	VAN [USD]
2.5	\$-5,211,947
3.0	\$-3,877,324
3.5	\$-2,542,700
4.0	\$-1,208,077
4.5	\$ 126,546
5.0	\$ 1,461,170
5.5	\$ 2,795,793
6.0	\$ 4,130,416

Tabla 32: VAN en función de la ley de cobre, con precio de 3 [USD/kg].

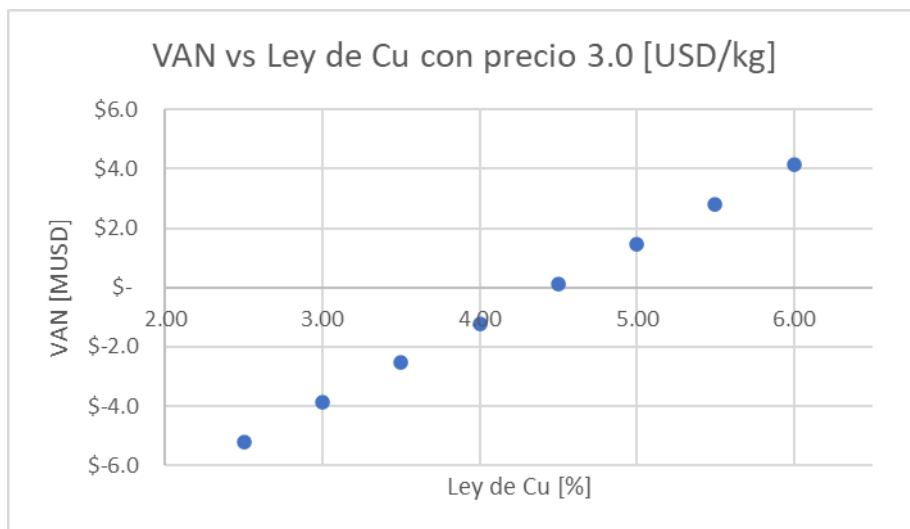


Figura 41: VAN en función de la ley de cobre en el mineral con precio de venta de 3 [USD/kg].

En este caso, se presenta un escenario mejor al caso base, ya que el VAN es positivo a un menor valor, es decir, a partir del 4.45% de ley de cobre el proyecto comienza a ser factible.

V. Conclusiones

El objetivo principal de este estudio consistía en evaluar la viabilidad de la construcción de una planta y producir sulfato de cobre pentahidratado a partir de mineral de óxido de cobre importado de Bolivia, lo que se cumplió satisfactoriamente, pese a que en primera instancia el resultado fue negativo, ya que el VAN fue menor a cero y por ende indica que no es factible construir una planta de sulfato de cobre en Calama. Aun así, podría llegar a serlo, ya que sensibilizando se logra obtener casos favorables, que podrían servir como base para futuros estudios.

Para llegar a estos resultados, se inició con un estudio de mercado del sulfato de cobre utilizando información de Aduanas de Chile, Cochilco y diversas plataformas de información de comercio mundial. A partir de la información obtenida, se logra apreciar que Chile es un país mayoritariamente exportador de sulfato de cobre. Es producido solamente por Minera San Gerónimo, quienes envían al extranjero un 80%, lo que supone que el mercado en Chile está cubierto por la misma minera y las pequeñas importaciones que se hacen. De este estudio de mercado, se concluye que resulta sumamente importante buscar compradores en el extranjero, ya que el mercado local parece estar saturado. Del estudio de mercado, se estableció un precio base del sulfato de cobre pentahidratado para el estudio, el cual es de 2.5 [USD/kg].

A partir de precio obtenido, se evaluó económicamente, pero también se fueron detallando los costos asociados a la inversión y a la operación en base al supuesto inicial de traer 1 camión al día desde Bolivia con ley de cobre de 2.5%, teniéndose una recuperación del 80%. A partir de los resultados entregados, se sensibilizó variando la ley del mineral boliviano y el precio de venta, observándose una gran dependencia a esas variables.

Por otro lado, se determinó una zona donde pudiera instalarse la planta en las cercanías de Calama, aprovechando las concesiones mineras que posee la empresa. Se utilizaron criterios simples, tales como la existencia de caminos de acceso al lugar y perfiles del terreno para evitar zonas accidentadas, evitando así grandes costos a la hora de construir y operar la planta. Para realizar esto, se utilizaron imágenes satelitales de manera preliminar, ya que debe ser confirmado realizando la topografía en terreno. De lo estudiado, se obtuvo una zona más prometedora para instalar una planta para producir sulfato de cobre u alguna otra, esta corresponde a la concesión “Lorena”. Esta conclusión se debe a que en aquella zona no se presentan accidentes geográficos y las pendientes naturales son de un 2%, aproximadamente, lo que se suma a la cercanía a un camino existente que se dirige al parque eólico del sector.

En cuanto a los resultados destacados, de los puntos anteriores, se estiman costos de inversión y de operación, siendo estos de 2,793,908 [USD] y 258 [USD] por tonelada de mineral procesado, respectivamente. A raíz de esos valores, se determina la rentabilidad del Proyecto Gallegos, obteniéndose que el VAN es de -6,577,722 [USD], lo que, por ende,

demuestra que no es factible para el caso base. A raíz de esto, se sensibilizó el proyecto variando la ley del mineral y el precio de venta del producto, logrando ser viable al aumentar ambos parámetros por separados. Como el precio de venta depende de la oferta y demanda, y existe la opción de comprar mineral boliviano con mejor ley, se plantea la idea de importar mineral con ley mayor a 4.45%, si es que el precio del kilo de sulfato de cobre se encuentra sobre los 3 [USD].

A raíz de lo anterior, se propone lo siguiente:

1. Estudiar el caso de importar mayor cantidad de mineral, para lo cual aumenta el costo operacional, ya que se requeriría mayor mano de obra, mayor consumo energético y ampliación de la planta, principalmente en el área de lixiviación, pero proporcionalmente será menos incidente el costo y, por ende, debiese ser más positivo el resultado.
2. Realizar estudios topográficos de las zonas, en especial en la concesión “Lorena”, con el fin de encontrar las mejores ubicaciones para la construcción de la planta.
3. Realizar estudios cuando se tenga mayor información sobre el mineral boliviano que se desea procesar, de manera que se eviten supuestos y se obtengan evaluaciones más precisas.

En conclusión, este trabajo demuestra que no es factible construir una planta de sulfato de cobre con las características planteadas según el caso base, pero si pudiese llegar a serlo si se mejoran las leyes del mineral importado o las cantidades por procesar. De todas maneras, la posibilidad de trabajar con leyes mayores al 2.5% resulta interesante y se podría estudiar la producción de otro tipo de productos de cobre, ya sea en formato de pellets, ánodos o cátodos, sacándole partido a las relaciones comerciales de la empresa con los pequeños mineros bolivianos.

Finalmente, la principal debilidad del proyecto es la dependencia al mineral boliviano, el cual debe tener la ley acordada al momento de comprarla y que se debe cumplir con los envíos programados, con tal que se mantenga la producción constante y rentable. Otra flaqueza del proyecto es la poca demanda que existen en Chile. Por el lado de las fortalezas, destaca que se aprovecha la buena ley mineral existente en Bolivia, además, que se le agrega valor al cobre al comercializarlo como un producto final y no como concentrado.

VI. Bibliografía

- Aduanas de Chile (2022). *Estadísticas COMEX*. Gobierno de Chile
<https://www.aduana.cl/aduana/site/edic/base/port/comex.html>
- Anónimo (2015). *LIXIVIACIÓN EN PILAS*.
<http://hydrometallurgyperu.wordpress.com/lixiviacion-en-pilas/>
- Boni, M. (2018). *Método de lixiviación*.
http://www.academia.edu/9586024/METODO_DE_LIXIVIACION
- Calaf, F. (2012). *Proyecto Antakena*. Sociedad Contractual Minera Antakena. Chile
- Comisión Chilena del Cobre (2022). *Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Metales*. Ministerio de Minería, Gobierno de Chile.
- Domic, E. (2001). *Hidrometalurgia: fundamentos, procesos y aplicaciones*. Chile: Andros Impresos.
- Lombana, L., Saavedra y A., Correa, F. (2018). *Variables influyentes en el proceso de lixiviación para la recuperación de metales contenidos en lodos galvánicos*. Fundación Universidad de América, Colombia.
- Mankiw, G. (2012). *Principios de la Economía*. Harvard University, Estados Unidos.
- Observatorio de Complejidad Económica (2023). *Sulfatos de cobre*. Recuperado de <https://oec.world/es/profile/hs/copper-sulphates>
- Ramírez, P., y Martínez, A. (2014). *Lixiviación de minerales por agitación y percolación*. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Red Minera (2011). *Sulfato de Cobre, Conocimiento del Negocio y Estudio de Mercado*. Chile
- Tabilo, F. (2012). *Proyecto Anico*. Universidad de Chile, Chile.
- Velayo, V. (2024). *Valor actual neto (VAN): Qué es y cómo utilizarlo*. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Veritrade (2023). *Información de comercio exterior de Latinoamérica y el mundo*. Recuperado de <https://www.veritradecorp.com>

VII. Anexos

- Anexo A: En las siguientes páginas se presenta la tabla en detalle de inversiones del necesarias para el proyecto.

Área	Adquisición					Montaje							Total	
General	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos			Horas hombre			Total montaje	US\$	
			\$CLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)		Costo (US\$)
Oficina administración general (Container)	1		\$ 2,000,000	\$ 2,051	\$ 2,051.28				\$ 1,113				\$ 1,113	\$ 3,164.28
Oficina administración planta (Container)	0		\$ 2,000,000	\$ 2,051	\$ -				\$ 1,113				\$ 1,113	\$ 1,113.00
Edificio casa cambios, duchas, sanitarios	1		\$ 20,000,000	\$ 20,513	\$ 20,512.82				\$ 12,371				\$ 12,371	\$ 32,883.82
Edificio laboratorio químico (Container)	2		\$ 2,000,000	\$ 2,051	\$ 4,102.56				\$ 2,226				\$ 2,226	\$ 6,328.56
Oficina mantención general (Container)	1		\$ 2,000,000	\$ 2,051	\$ 2,051.28				\$ 1,113				\$ 1,113	\$ 3,164.28
Galpón mantención general	1		\$ 10,000,000	\$ 10,256	\$ 10,256.41				\$ 6,186				\$ 6,186	\$ 16,442.41
Camioneta administración	1		\$ 24,000,000	\$ 24,615	\$ 24,615.38				\$ -				\$ -	\$ 24,615.38
TOTAL					\$ 63,589.74				\$ 24,122				\$ 24,122	\$ 87,711.74

Área	Adquisición				Montaje								Total		
Chancado	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje	
			SCLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)		Costo (US\$)	US\$
Planta chancado	1		\$	124,000.00	\$ 124,000.00			\$	37,200				\$	37,200	\$ 161,200
Overhall planta chancado	1		\$	25,000.00	\$ 25,000.00			\$	7,500				\$	7,500	\$ 32,500
Chancador cono	1		\$	31,000.00	\$ 31,000.00			\$	9,300				\$	9,300	\$ 40,300
Sistema de humectación de polvo	1		\$	21,000.00	\$ 21,000.00			\$	6,300				\$	6,300	\$ 27,300
Sistema de traspaso a aglomerado	1		\$	21,000.00	\$ 21,000.00			\$	6,300				\$	6,300	\$ 27,300
Tambor aglomerador	1		\$	21,000.00	\$ 21,000.00			\$	6,300				\$	6,300	\$ 27,300
Cargador frontal	1	\$	60,000,000	\$	61,538.46			\$	-				\$	-	\$ 61,538
Camión tolva	1	\$	40,000,000	\$	41,025.64			\$	-				\$	-	\$ 41,026
Retroexcavadora	1	\$	60,000,000	\$	61,538.46			\$	-				\$	-	\$ 61,538
TOTAL					\$ 407,102.56			\$	72,900				\$	72,900	\$ 480,003

Área	Adquisición					Montaje										Total						
Lixiviación	Cantidad	Unidad	Valor unitario			Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje	Total						
			\$CLP	US\$	US\$		Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)			US\$					
Aspersores tipo gubler?	150	un	\$	5,021	\$	5.2	\$	773								\$	772.50					
Cañería HDPE 63mm	1500	m	\$	6,030	\$	6.2	\$	9,278									\$	9,277.50				
Cañería HDPE 110mm	300	m	\$	9,058	\$	9.3	\$	2,787									\$	2,787.00				
Cañería HDPE 160mm	200	m	\$	11,018	\$	11.3	\$	2,260									\$	2,260.00				
HDPE 2mm	15000	m2	\$	2,408	\$	2.5	\$	37,050									\$	37,050.00				
Drenaflex 160mm	1000	m	\$	3,218	\$	3.3	\$	3,300									\$	3,300.00				
Drenaflex 63mm	2000	m	\$	2,009	\$	2.1	\$	4,120									\$	4,120.00				
TOTAL para base de 1 hectárea							\$	59,567									\$	59,567.00				
Total para 0.765 hectáreas		0.765					\$	45,569									\$	45,568.76				
Estanque PLS	1090	m3					\$	-	40	\$	247.00	\$	9,880.00	120	\$	10.00	\$	1,200.00	\$	11,080.00	\$	70,647.00
Estanque solución intermedia	1090	m3					\$	-	40	\$	247.00	\$	9,880.00	120	\$	10.00	\$	1,200.00	\$	11,080.00	\$	56,648.76
HDPE para estanque PLS	1463	m2	\$	2,828	\$	2.90	\$	4,243				\$	-				\$	-	\$	-	\$	4,242.70
HDPE para estanque intermedia	1463	m2	\$	2,828	\$	2.90	\$	4,243				\$	-				\$	-	\$	-	\$	4,242.70
Mov. Tierra estanque PLS	1090	m3	\$	5,070	\$	5.20	\$	5,668				\$	-				\$	-	\$	-	\$	5,668.00
Mov. Tierra estanque intermedia	1090	m3	\$	2,145	\$	2.20	\$	2,398				\$	-				\$	-	\$	-	\$	2,398.00
Bomba centrifuga	4	un	\$	8,040,825	\$	8,247.00	\$	32,988				\$	-				\$	-	\$	-	\$	32,988.00
Camioneta	1	un	\$	24,000,000	\$	24,615.38	\$	24,615				\$	-				\$	-	\$	-	\$	24,615.38
TOTAL							\$	119,724				\$	19,760.00				\$	2,400.00	\$	22,160.00	\$	247,019.29

Área	Adquisición				Montaje									Total	
Extracción por Solvente	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje	Total
			SCLP	US\$		US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)		
Mezclador principal	4														
Agitador bomba completo	4														
Decantador	4														
Coalescedores de orgánico	2														
Postdecantador refino	1														
Estanque agua de lavado orgánico	1														
Bomba de orgánico	2														
Bomba de succión de borras	1														
Inventario de extractante	1														
Inventario de solventes	1														
Redes orgánico, PLS	3														
Redes de refino	1														
Montaje de equipos	1														
tablero eléctrico	1														
Motoniveladora	1														
TOTAL															

Área		Adquisición				Montaje								Total
Cristalización y Recristalización	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos			Horas hombre				Total montaje	US\$
			SCLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	
Mezcladores	3													
Agitadores	3													
Decantadores	3													
Postdecantador de OD	1													
Estanque de orgánico descargado	2													
Estanque de seguridad de electrolito	2													
Bomba de orgánico	2													
Bomba de pulpa	4													
Lavador de cristales	2													
Centrífuga canasto	1													
Compresor	1													
Balanza de pesaje maxisacos	1													
Red de orgánico cargado	1													
Red de electrolito saturado	1													
Red de pulpa	1													
Montaje de equipos	1													
Tablero eléctrico	1													
TOTAL														

Área	Adquisición				Montaje									Total	
Servicios LX-SX-CR	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre					Total montaje
			SCLP	US\$		Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)		
Estación ácido	2														
Redes de ácido	1														
Redes de agua	1														
Estanque de agua	2														
TOTAL															

TOTAL SX-CR															\$ 1,314,255
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------------

Área	Adquisición				Montaje										Total	
Disciplinas LX-SX-CR	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje		Total
			\$CLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	US\$	US\$	
DISCIPLINA MECÁNICA																
Horno secador: área SX-CR	1			\$ 19,630	\$ 19,630					600		\$ 10	\$ 6,000	\$ 6,000	\$ 25,630	
Chutes de traspaso: LX-CR-Horno	2			\$ 12,750	\$ 25,500					960		\$ 10	\$ 9,600	\$ 9,600	\$ 35,100	
Planta Reactivos	1			\$ 12,000	\$ 12,000								\$ -	\$ -	\$ 12,000	
Tecles, grua horquilla, romana camiones	1			\$ 66,000	\$ 66,000					480		\$ 10	\$ 4,800	\$ 4,800	\$ 70,800	
Muestreador, balanzas, instrumentos	1			\$ 17,000	\$ 17,000					500		\$ 10	\$ 5,000	\$ 5,000	\$ 22,000	
SUBTOTAL D. Mec.					\$ 140,130								\$ 25,400	\$ 25,400	\$ 165,530	
PIPING PLANTA																
Red Industrial Planta	750			\$ 12	\$ 9,000					125		\$ 10	\$ 1,250	\$ 1,250	\$ 10,250	
Red de Incendios	210			\$ 24	\$ 5,040					53		\$ 10	\$ 525	\$ 525	\$ 5,565	
Agua potable	700			\$ 8	\$ 5,600					175		\$ 10	\$ 1,750	\$ 1,750	\$ 7,350	
Otros varios (7% del subtotal)					\$ 1,375								\$ -	\$ -	\$ 1,375	
SUBTOTAL Piping					\$ 21,015								\$ 3,525	\$ 3,525	\$ 24,540	
DISCILINA CIVIL																
Excavaciones y relleno compactado	8400			\$ 7	\$ 54,600								\$ -	\$ -	\$ 54,600	
Hormigon armado estructural	122			\$ 225	\$ 27,450					2135		\$ 10	\$ 21,350	\$ 21,350	\$ 48,800	
Acero armada	2436			\$ 2	\$ 3,654								\$ -	\$ -	\$ 3,654	
Acero estructural	24			\$ 1,955	\$ 46,920					1680		\$ 10	\$ 16,800	\$ 16,800	\$ 63,720	
Estanques FRP	1			\$ 25,000	\$ 25,000					18		\$ 10	\$ 180	\$ 180	\$ 25,180	
Relleno arena compactada	4400			\$ 2	\$ 8,800								\$ -	\$ -	\$ 8,800	
Escarpes y obras de arte	5600			\$ 5	\$ 28,000								\$ -	\$ -	\$ 28,000	
Otros varios (10% subtotal)					\$ 19,442								\$ -	\$ -	\$ 19,442	
SUBTOTAL D. Civil					\$ 213,866								\$ 38,330	\$ 38,330	\$ 252,196	
TOTAL					\$ 375,011								\$ 67,255	\$ 67,255	\$ 442,266	

Área	Adquisición				Montaje										Total
Laboratorio y muestrera	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje	US\$
			SCLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	US\$	
Estufa para secado	1	un		\$ 4,000	\$ 4,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 4,080	
Horno-Mufla	1			\$ 5,000	\$ 5,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 5,080	
Balanza analítica	2			\$ 4,000	\$ 8,000							\$ -	0	\$ 8,000	
Equipos espectroscopia absorcion atómica	1			\$ 25,000	\$ 25,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 25,080	
pH-metro	2			\$ 2,000	\$ 4,000							\$ -	0	\$ 4,000	
Material de vidrio	1			\$ 10,000	\$ 10,000							\$ -	0	\$ 10,000	
estufa seda de muestras	1			\$ 10,000	\$ 10,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 10,080	
Cortador de rifle	2			\$ 3,000	\$ 6,000							\$ -	0	\$ 6,000	
Chancador mandibula	1			\$ 5,000	\$ 5,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 5,080	
Chancador Cono	1			\$ 6,000	\$ 6,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 6,080	
Pulverizador	1			\$ 6,000	\$ 6,000					8	\$ 10	\$ 80	\$ 80	\$ 6,080	
TOTAL					\$ 89,000							\$ 560		\$ 89,560	

Área	Adquisición				Montaje										Total
Electricidad	Cantidad	Unidad	Valor unitario		Total	Servicios externos				Horas hombre				Total montaje	US\$
			SCLP	US\$	US\$	Horas	Valor Hr (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	Horas	Valor Hora (\$)	Valor Hr (US\$)	Costo (US\$)	US\$	
Generador Chancado		1		\$ 18,344	\$ 18,344									\$ -	\$ 18,344
Generador Curado y Aglomerado		1		\$ 18,344	\$ 18,344									\$ -	\$ 18,344
Generador LX		1		\$ 21,345	\$ 21,345									\$ -	\$ 21,345
Generador SX		1		\$ 20,011	\$ 20,011									\$ -	\$ 20,011
Generador CR-RCR-Secado		1		\$ 11,071	\$ 11,071									\$ -	\$ 11,071
Generador Mantención		1		\$ 12,019	\$ 12,019									\$ -	\$ 12,019
Generador Administracion		1		\$ 10,614	\$ 10,614									\$ -	\$ 10,614
Generador Respaldo/contingencias		1		\$ 21,345	\$ 21,345									\$ -	\$ 21,345
TOTAL					\$ 133,093				\$ -					\$ -	\$ 133,093

TOTAL DE INVERSIÓN															\$ 2,793,908
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------

Tabla 33: Detalle de inversiones estimadas de la planta.

- Anexo B: Detalle de costo de operación estimada.

Chancado-aglomerado-apilado	USD/año	cUSD/lb Cu
Mano de obra	\$ 64,488	\$ 15
Repuestos	\$ 3,181	0.72
Materiales	\$ 954	0.21
Costo fijo	\$ 68,623	15.44
Ácido sulfúrico	\$ 66,857	15.04
Agua proceso	\$ 36,256	8.16
Energía eléctrica (petróleo)	\$ 9,382	2.11
Carguío+traslado+apilado	\$ 86,276	19.41
Petroleo maquinaria	\$ 45,588	10.26
Costo Variable	\$ 244,360	54.98
Costo total	\$ 312,983	\$ 70
Lixiviación	USD/año	cUSD/lb Cu
Mano de obra	\$ 21,492.00	\$ 4.84
Repuestos	\$ 480.00	\$ 0.11
Materiales	\$ 2,742.86	\$ 0.62
Lubricantes	\$ 1,428.57	\$ 0.32
Petróleo camioneta	\$ 15,233.62	\$ 3.43
Gastos Generales	\$ 651.43	\$ 0.15
Servicios externos	\$ -	\$ -
Otros gastos	\$ 428.57	\$ 0.10
Distribuciones laboratorio	\$ 1,080.00	\$ 0.24
Distribuciones mantención	\$ 497.14	\$ 0.11
Costo Fijo	\$ 44,034.19	\$ 9.91
Ácido sulfúrico	\$ 121,991.71	\$ 27.45
Agua de proceso	\$ 221,919.19	\$ 49.93
Energía Eléctrica (petróleo)	\$ 8,935.41	\$ 2.01
Costo variable	\$ 352,846.31	\$ 79.39
Costo total Lixiviación	\$ 396,880.50	\$ 89.30
Extracción por solventes	USD/año	cUSD/lb Cu
Mano de obra	\$ 37,175.00	\$ 8.36
Repuestos	\$ 480.00	\$ 0.11
Materiales	\$ 2,057.14	\$ 0.46
Lubricantes	\$ 1,028.57	\$ 0.23
Petróleo camioneta	\$ 5,361.25	\$ 1.21
Gastos Generales	\$ 651.43	\$ 0.15
Servicios externos	\$ 685.71	\$ 0.15
Otros gastos	\$ 428.57	\$ 0.10
Distribuciones laboratorio	\$ 1,080.00	\$ 0.24
Distribuciones mantención	\$ 497.14	\$ 0.11
Costo Fijo	\$ 49,444.82	\$ 11.12
Reactivos SX	\$ 6,000.00	\$ 1.35
Agua de proceso	\$ 15,237.96	\$ 3.43
Energía eléctrica (petróleo)	\$ 166,198.61	\$ 37.39
Costo Variable	\$ 187,436.57	\$ 42.17
Costo total SX	\$ 236,881.39	\$ 53.30

Cristalización y recristalización	USD/año	cUSD/lb Cu
Mano de obra	\$ 52,854	\$ 11.89
Repuestos	\$ 1,714	\$ 0.39
Materiales	\$ 2,743	\$ 0.62
Lubricantes	\$ 1,029	\$ 0.23
Gastos Generales	\$ 857	\$ 0.19
Servicios externos	\$ 2,057	\$ 0.46
Otros gastos	\$ -	\$ -
Distribuciones laboratorio	\$ 1,491	\$ 0.34
Distribuciones mantención	\$ 343	\$ 0.08
Costo Fijo	\$ 63,088	\$ 14.19
Reactivos	\$ -	\$ -
Agua de proceso	\$ 7,356	\$ 1.66
Energía eléctrica (petróleo)	\$ 26,806	\$ 6.03
Costo Variable	\$ 34,162	\$ 8
Costo total CR	\$ 97,251	\$ 22
Movimiento de flujo de soluciones	USD/año	cUSD/lb Cu
Repuestos	\$ 2,448.86	\$ 0.55
Materiales	\$ 244.86	\$ 0.06
Lubricantes	\$ 1,028.57	\$ 0.23
Energía eléctrica (incluido en CR-RCR)	\$ -	\$ -
Costo total Impulsiones	\$ 3,722.29	\$ 0.84
Centrifugado	USD/año	cUSD/lb Cu
Repuestos	\$ 3,174.57	\$ 0.71
Materiales	\$ 1,714.29	\$ 0.39
Lubricantes	\$ -	\$ -
Energía eléctrica (incluido en CR-RCR)	\$ -	\$ -
Gastos generales		
Costo total centrifugado	\$ 4,888.86	\$ 1.10
Secado cristales	USD/año	cUSD/lb Cu
Repuestos	\$ 2,742.86	\$ 0.62
Materiales	\$ 685.71	\$ 0.15
Lubricantes	\$ -	\$ -
Energía eléctrica (incluido en CR-RCR)	\$ -	\$ -
Gastos generales	\$ 3,428.57	\$ 0.77
Costo total secado	\$ 6,857.14	\$ 2.39
Mantención Planta	USD/año	cUSD/lb Cu
Mano de obra	\$ 53,282.00	\$ 11.99
Energía eléctrica (petróleo)	\$ 37,528.72	\$ 8.44
Costo total mantención	\$ 90,810.72	\$ 20.43
Subtotal	\$ 1,870,275	\$ 236.20
Administración	\$ 182,190	\$ 23
TOTAL	\$ 2,052,465	\$ 259

Tabla: 34: Detalle de costo de operación.