

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

2025



UCASAL
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

“Estudio de prefactibilidad de extracción
de carbonato de calcio y posterior
producción de óxido de calcio para uso
minero”

Alumnos:

BERTI ULDRY, FRANCO MATEO
MARTINEZ, CANDELA

“Estudio de prefactibilidad de extracción de carbonato de calcio y posterior producción de óxido de calcio para uso minero”

ALUMNOS

Berti Uldry, Franco Mateo

Martínez, Candela

PROFESOR GUÍA

Ing. Vivas, Leticia

TRIBUNAL EVALUADOR

Tribunal Evaluador 1

Tribunal Evaluador 2

Tribunal Evaluador 3

FECHA DE EXPOSICIÓN

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que nos acompañaron en este recorrido académico. En primer lugar, a nuestras familias, por su apoyo incondicional, su paciencia y por alentarnos a seguir adelante incluso en los momentos de mayor dificultad. Su confianza en nosotros ha sido el pilar sobre el cual construimos este logro. A nuestros amigos, por brindarnos siempre su compañía, motivación y ánimo, haciéndonos sentir que no estábamos solos en este desafío.

Nuestro reconocimiento se extiende a la Facultad de Ingeniería, por habernos brindado la formación técnica y profesional necesaria para desarrollarnos como ingenieros, y a la Universidad Católica de Salta, por ser el espacio que nos acompañó durante estos años de crecimiento tanto académico como personal.

De manera especial, agradecemos a la empresa Grupo Nioi S.A., por su colaboración, apoyo y confianza que fueron determinantes para llevar adelante este proyecto. Asimismo, por proveernos información clave que enriqueció el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestra asesora académica, Ing. Leticia Vivas, por su valiosa orientación, paciencia y constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Más allá de su rol profesional, queremos destacar el afecto y la cercanía que nos transmitió en cada encuentro y valoramos profundamente todo lo que hizo por nosotros.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN	10
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	11
1.2.1. Objetivo general.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN	12
1.3.1. Antecedentes relacionados con el problema	13
1.3.2. Fundamentos teóricos y prácticos.....	13
1.3.3. ¿Qué trabajos del tipo propuesto han sido o están siendo realizados?	14
1.3.4. Desarrollo actual de las tecnologías requeridas	14
1.3.5. Temas pendientes de resolución:	14
2. ESTUDIO DE MERCADO	16
2.1. PRODUCCIÓN DE LITIO EN ARGENTINA	16
2.2. DEMANDA DE CAL EN EL MERCADO DE LITIO EN ARGENTINA	18
2.3. ANÁLISIS DE COMPETIDORES EN EL MERCADO DE CAL PARA USO MINERO	20
2.3.1. Calera San Juan.....	20
2.3.2. Calera Albors	22
2.4. ANÁLISIS DE PRECIO.....	23
2.4.1. Ventaja competitiva	23
2.5. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO	26
2.5.1. Modelo PESTEL	26
2.5.2. Fuerzas de Porter	28
2.5.3. Análisis FODA.....	30
2.5.4. Modelo Canvas	32
2.5.5. Estrategias de Precios	34
2.6. PORCIÓN DE MERCADO A ABARCAR	35
3. ESTUDIO TÉCNICO	36
3.1. LOCACIÓN DEL YACIMIENTO DE CARBONATO DE CALCIO	36
3.2. LOCACIÓN DE LA PLANTA DE CALCINACIÓN.....	37
3.3. PROCESO DE EXTRACCIÓN Y CALCINACIÓN DEL CARBONATO DE CALCIO.....	41
3.4. FLUJO DE OPERACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO	42
3.5. OPERACIONES DE EXTRACCIÓN DE PIEDRA CALIZA	45
3.5.1. Voladura	45

3.5.2. Reducción de tamaño de la piedra	45
3.5.3. Carga a zaranda	46
3.5.4. Zarandeo (clasificación de finos).....	46
3.5.5. Acopio	46
3.5.6. Carga a camión tolva y transporte a planta	46
3.6. OPERACIONES DENTRO DE LA PLANTA DE CALCINACIÓN	47
3.6.1. Recepción y acopio.....	47
3.6.2. Trituración primaria.....	47
3.6.3. Transporte a zaranda vibratoria	48
3.6.4. Trituración secundaria	48
3.6.5. Silo de producto intermedio y alimentación al horno	48
3.6.6. Proceso de calcinación	48
3.6.7. Transporte y enfriamiento del producto	49
3.6.8. Clasificación y almacenamiento del producto final	49
3.7. SERVICIOS AUXILIARES	51
3.7.1. Suministro de energía eléctrica	51
3.7.2. Suministro de gas natural	52
3.7.3. Agua industrial.....	52
3.7.4. Sistema de ventilación y extracción de polvo	53
3.7.5. Red contra incendios	53
3.7.6. Servicios sanitarios y de uso común.....	54
3.7.7. Sistema de comunicaciones.....	54
3.7.8. Sistema de control y monitoreo	55
3.8. DISEÑO DE PLANTA.....	55
3.9. ORGANIGRAMA INDUSTRIAL	59
3.9.1. Gerencia y Mandos Medios	59
3.9.2. Higiene y Seguridad (HyS)	59
3.9.3. Área Administrativa.....	59
3.9.4. Producción.....	60
3.9.5. Mantenimiento	60
3.9.6. Laboratorio	60
3.9.7. Staff Externo	61
3.10. CONCLUSIÓN	63
4. ESTUDIO LEGAL	64
4.1. CONCESIÓN MINERA.....	64
4.2. INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL	65
4.3. PERMISO DE AGUA Y SUELO	66
4.4. LICENCIA DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN	67

4.5. AUTORIZACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS	67
4.6. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA	68
4.7. PLANIFICACIÓN Y AUDITORÍAS INTERNAS	68
4.8. INFORME FINAL Y SEGUIMIENTO	69
5. ESTUDIO AMBIENTAL	70
5.1. CONTROL Y TRATAMIENTO DE GASES DE COMBUSTIÓN	70
5.2. REDUCCIÓN Y CONTROL DEL MATERIAL PARTICULADO	72
5.3. GESTIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	73
5.4. GESTIÓN Y CONTROL DE RUIDOS	73
5.5. EFLUENTES LIQUÍDOS	74
5.6. CONSIDERACIONES ADICIONALES Y PLAN DE MEJORA CONTINUA	75
6. ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO	76
6.1. INVERSIÓN FIJA TOTAL	76
6.2. DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES	84
6.3. INGRESOS OPERATIVOS	86
6.4. CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS	88
6.4.1. Costos directos de fabricación	88
6.4.2. Costos indirectos de fabricación	92
6.4.3. Costos administrativos y comerciales	95
6.5. CAPITAL DE TRABAJO	97
6.6. FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	99
6.6.1. Indicadores de rentabilidad	102
6.6.2. Fuentes de financiamiento	103
6.7. FLUJO DE FONDOS DEL INVERSIONISTA	104
6.8. CONCLUSIÓN	108
7. CONCLUSIONES	109
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado de los proyectos de litio.	17
Figura 2. Proyecciones de producción de litio.	18
Figura 3. Proyecciones de demanda de CaO por año.	19
Figura 4. Calidad de CaO de Calera San Juan.	21
Figura 5. Calidad de CaO de Calera Albors.	22
Figura 6. Ubicación de los competidores con respecto al proyecto presentado.	24
Figura 7. Ubicación del yacimiento y la planta de calcinación con respecto a los potenciales clientes.	25
Figura 8. Análisis PESTEL.	27
Figura 9. Fuerzas de Porter.	29
Figura 10. Análisis FODA.	31
Figura 11. Modelo CANVAS.	33
Figura 12. Ubicación del yacimiento y la planta de calcinación.	37
Figura 13. Ubicación de la planta.	39
Figura 14. Ubicación de la planta.	40
Figura 15. Value Stream Mapping de extracción de CaCO ₃	43
Figura 16. Value Stream Mapping de producción de CaO.	44
Figura 17. Flujo de operación luego de la calcinación.	51
Figura 18. Vista superior de la planta de calcinación.	57
Figura 19. Vista lateral de la planta de calcinación.	58
Figura 20. Organigrama de la planta de calcinación.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales usos de cal y carbonato de calcio.	15
Tabla 2. Comparación de producciones estimadas y reales.	19
Tabla 3. Equipos.	78
Tabla 4. Costos de importación	79
Tabla 5. Mobiliarios.	81
Tabla 6. Herramientas y seguridad.	82
Tabla 7. Inversión en activos tangibles.	83
Tabla 8. Inversión fija total.	83
Tabla 9. Depreciaciones y amortizaciones.	85
Tabla 10. Ingresos por ventas.	87
Tabla 11. Costos de materia prima.	89
Tabla 12. Costos directos de fabricación.	91
Tabla 13. Costos de fabricación indirectos.	94
Tabla 14. Costos administrativos y comerciales.	96
Tabla 15. Capital de trabajo.	98
Tabla 16. Flujo de fondos del proyecto.	100
Tabla 17. Indicadores de Rentabilidad del proyecto.	103
Tabla 18. Flujo de fondos del inversionista.	105
Tabla 19. Indicadores de rentabilidad del inversionista.	108

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis analiza la prefactibilidad de instalar una planta de producción de óxido de calcio (CaO) en San Antonio de los Cobres, a partir de la extracción de carbonato de calcio (CaCO_3) en Tolar Grande. El proyecto responde a la creciente demanda de cal viva de alta pureza por parte de la industria del litio en el Noroeste Argentino (NOA), donde este insumo resulta indispensable en los procesos de purificación de salmueras. La ubicación estratégica del emprendimiento permite reducir costos logísticos, sustituir el abastecimiento proveniente, actualmente, de San Juan y potenciar el desarrollo económico regional.

El objetivo general del estudio es evaluar la viabilidad de instalar una planta de calcinación con capacidad de 200 toneladas diarias, destinada a abastecer principalmente al sector minero de la región.

En términos operativos, el proyecto contempla operaciones de extracción a cielo abierto, transporte del mineral y su calcinación en hornos rotativos alimentados por gas natural. La relación estequiométrica de 2:1 permite obtener una tonelada de CaO por cada dos toneladas de CaCO_3 procesadas. Los insumos críticos identificados son la piedra caliza de alta pureza, el suministro de gas natural y la energía eléctrica.

Desde el punto de vista económico-financiero, la inversión requerida asciende a USD 5,6 millones. El análisis de flujos de fondos a 10 años arroja un Valor Actual Neto (VAN) positivo de USD 3,7 millones, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 50 % y un periodo de repago estimado en el cuarto año de operación, confirmando la rentabilidad del proyecto bajo un escenario conservador.

En el plano ambiental y social, se prevé medidas de mitigación de emisiones, gestión de residuos, monitoreo de calidad de aire y planes de contingencia. Asimismo, el proyecto fomentará la creación de empleo local en San Antonio de los Cobres y Tolar Grande, favoreciendo la aceptación comunitaria y el desarrollo regional.

En síntesis, el análisis integral permite concluir que el proyecto es técnica, económica y ambientalmente viable, constituyéndose en una oportunidad estratégica para fortalecer la cadena de valor minera del NOA y consolidar un polo productivo de cal viva en la provincia de Salta.

ABSTRACT

This thesis analyzes the prefeasibility of installing a calcium oxide (CaO) production plant in San Antonio de los Cobres, based on the extraction of calcium carbonate (CaCO_3) in Tolar Grande. The project responds to the growing demand for high-purity quicklime from the lithium industry in Northwest Argentina (NOA), where this input is essential in the brine purification processes. The strategic location of the undertaking allows for reduced logistics costs, substitution of supply currently sourced from San Juan, and promotion of regional economic development.

The general objective of the study is to assess the feasibility of installing a calcination plant with a capacity of 200 tons per day, mainly intended to supply the mining sector in the region.

In operational terms, the project involves open-pit extraction, mineral transport, and calcination in rotary kilns fueled by natural gas. The stoichiometric ratio of 2:1 makes it possible to obtain one ton of CaO for every two tons of CaCO_3 processed. The critical inputs identified are high-purity limestone, natural gas supply, and electric power.

From an economic-financial perspective, the required investment amounts to USD 5.6 million. The 10-year cash flow analysis yields a positive Net Present Value (NPV) of USD 3.7 million, an Internal Rate of Return (IRR) of 50%, and an estimated payback period in the fourth year of operation, confirming the project's profitability under a conservative scenario.

On the environmental and social front, mitigation measures for emissions, waste management, air quality monitoring, and contingency plans are foreseen. Likewise, the project will promote local employment generation in San Antonio de los Cobres and Tolar Grande, favoring community acceptance and regional development.

In summary, the comprehensive analysis allows us to conclude that the project is technically, economically, and environmentally feasible, representing a strategic opportunity to strengthen the mining value chain in NOA and to consolidate a quicklime production hub in the province of Salta.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

La provincia de Salta, y en particular la región de Tolar Grande ubicada en el departamento Los Andes, se caracteriza por un entorno geológico excepcionalmente rico en recursos minerales, donde las formaciones sedimentarias han permitido la existencia de piedra caliza de alta pureza. Tradicionalmente, la actividad minera en esta zona árida y remota se ha centrado en la extracción de sal y minerales de los salares vecinos, como el Salar de Arizaro, Salar de Pocitos y Salar del Hombre Muerto, entre otros; sin embargo, el reconocimiento del potencial calizo abre la puerta a una diversificación productiva con alto valor agregado. La demanda sostenida de carbonato de calcio (CaCO_3) para la producción de cemento, cal y otros derivados industriales, tanto en el mercado nacional como internacional, convierte a este recurso en un insumo estratégico que puede contribuir al desarrollo económico regional y a la sustitución de importaciones.

Este estudio evalúa la viabilidad técnica, legal, ambiental y económica de aprovechar los yacimientos de CaCO_3 en Tolar Grande, extraerlos y transportarlos a San Antonio de los Cobres para transformarlos en CaO mediante calcinación. Se trata de capitalizar una oportunidad única: disponer de piedra caliza de alta pureza en la misma zona de demanda, ya que las operaciones mineras locales, que actualmente se proveen de cal viva desde la provincia de San Juan, podrán abastecerse directamente desde una planta cercana. La proximidad logística reducirá costos y plazos de suministro, al tiempo que el proyecto generará empleo, fortalecerá la infraestructura de servicios, y contribuirá al desarrollo socioeconómico de las comunidades de Tolar Grande y San Antonio de los Cobres.

La presente tesis se desarrolla en el marco de un futuro proyecto impulsado por la empresa Grupo Nioi S.A., quienes actualmente poseen la concesión minera del yacimiento de carbonato de calcio ubicado en la localidad de Tolar Grande. Para la elaboración del estudio, la empresa ha brindado información relevante, la cual constituye una base fundamental para el desarrollo del trabajo académico.

Para abordar esta situación, el trabajo se fundamenta en una investigación aplicada con un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo. En primer lugar, se llevará a cabo una revisión bibliográfica y un análisis del estado de la cuestión sobre tecnologías de calcinación de CaCO_3 . Sobre esta base, se diseñará la operación productiva. Paralelamente, se desarrollarán los flujogramas de extracción y proceso de la planta de cal, seleccionando hornos de calcinación eficientes y dispositivos de control de emisiones. Todo ello enmarcado en un estudio del marco legal y regulatorio vigente, que garantice el cumplimiento de los permisos y normativas nacionales y provinciales. Acompañado también de evaluaciones de los impactos ambientales proponiendo medidas de mitigación, planes de monitoreo y lineamientos de gestión sustentable que acompañen el desarrollo del proyecto. El análisis económico-financiero permitirá estimar los costos de inversión y operación, proyectar flujos de caja y calcular indicadores como el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

El éxito de este proyecto se medirá en función de la demostración de una viabilidad técnica que asegure la calidad y cantidad de producción de CaO , de la solidez de los indicadores económicos y financieros, del diseño de un sistema de gestión ambiental responsable que mantenga el consumo de recursos dentro de límites permisibles y de la generación de un impacto social positivo a través de empleo y desarrollo local. Asimismo, se considerará como criterio de éxito el cumplimiento de todas las exigencias legales y normativas. De esta manera, el estudio no solo aportará un análisis riguroso sobre la factibilidad de explotar y procesar la piedra caliza de Salta, sino que también sentará las bases para un proyecto industrial sostenible y con fuerte potencial de transformación regional.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. Objetivo general

Evaluar de manera integral la factibilidad técnica, económica, legal, ambiental y social de la instalación de una planta de producción de óxido de calcio (CaO) en la provincia de Salta, destinada a abastecer la creciente demanda de la industria del litio en el Noroeste Argentino (NOA).

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar el contexto productivo y comercial, identificando la demanda potencial de CaO en función del crecimiento proyectado de los emprendimientos de litio.
- Dimensionar técnicamente el proceso productivo de cal, considerando capacidad instalada, insumos críticos, eficiencia energética, servicios auxiliares y diseño de planta.
- Verificar la disponibilidad, accesibilidad y sostenibilidad de los recursos naturales necesarios (piedra caliza, gas natural y agua), garantizando el uso responsable de los mismos.
- Identificar y evaluar el marco legal, regulatorio y ambiental aplicable al proyecto, asegurando el cumplimiento normativo y la aceptación social.
- Estimar la inversión inicial requerida, los costos de operación y estructura de financiamiento acordes al contexto.
- Calcular y comparar los principales indicadores financieros (VAN, TIR, periodo de repago) para determinar la viabilidad económica del emprendimiento.
- Evaluar el impacto ambiental y social del proyecto, considerando generación de empleo, encadenamientos productivos, planes de mitigación y certificaciones de gestión ambiental (ISO 14001).
- Integrar de manera transversal los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial - en áreas técnicas, económicas, de gestión y sustentabilidad - evidenciando la capacidad profesional para abordar proyectos complejos de inversión.

1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Este capítulo refleja la información recopilada para establecer la situación actual de los trabajos de investigación y desarrollo relacionados con la extracción de carbonato de calcio y su conversión en óxido de calcio. A continuación, se presentan los antecedentes, fundamentos y avances tecnológicos relevantes, acompañados de documentación y temas pendientes.

1.3.1. Antecedentes relacionados con el problema

En la región de Tolar Grande, se ha identificado una alta presencia de formaciones sedimentarias ricas en carbonato de calcio (CaCO_3), resultado de procesos geológicos ligados al pasado lacustre de la zona. Sin embargo, el aprovechamiento industrial de estos recursos aún es limitado. La escasa infraestructura y las condiciones geográficas extremas han impedido el desarrollo sostenido de esta actividad, a pesar del creciente interés por insumos minerales aplicados en la industria de la construcción, agricultura, en procesos metalúrgicos y sobre todo en la industria minera.

En 2005 la empresa sobre la cual se basa el estudio solicitó la concesión del yacimiento con el objetivo de explotar mineral de hierro. A partir de indicios aportados por personas allegadas, quienes señalaban la presencia de carbonato de calcio en el sitio y su posible aplicación en la cadena de valor del litio, se decidió profundizar la caracterización geológica del área. En consecuencia, se llevaron a cabo los estudios geológicos, químicos y de prospección necesarios para evaluar el potencial del reservorio.

1.3.2. Fundamentos teóricos y prácticos.

La transformación del carbonato de calcio en óxido de calcio (CaO) implica un proceso de calcinación a altas temperaturas (aproximadamente $900-1100\text{ }^{\circ}\text{C}$), en el cual el carbonato de calcio (CaCO_3) se descompone en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2). Esta reacción endotérmica demanda un suministro energético constante y el uso de tecnologías que optimicen el rendimiento térmico. Actualmente en la práctica se aplican hornos rotativos y distintos sistemas de transporte de material y de reducción de tamaño.

Cabe destacar que, en este caso, no se trata de solucionar un problema, sino de aprovechar una oportunidad estratégica para la región. Actualmente, la cal utilizada por la minería (y otros sectores de la industria) en Salta proviene mayoritariamente de San Juan. Implementar una producción local en San Antonio de los Cobres permitiría aprovechar el abundante recurso mineral disponible en Tolar Grande, optimizando la logística y reduciendo costos, al mismo tiempo que se potencia el desarrollo económico y se genera valor agregado en la cadena productiva provincial.

1.3.3. ¿Qué trabajos del tipo propuesto han sido o están siendo realizados?

A nivel nacional, existen antecedentes consolidados de producción de cal en provincias como **San Juan** y **Córdoba**. En San Juan, departamentos como **Sarmiento**, **Albardón** y **Jáchal** han sido históricamente reconocidos por su actividad calera, aprovechando la abundancia de piedra caliza de alta calidad que caracteriza su geología [1]. En Córdoba, la explotación de mármol y piedra caliza tiene una profunda historia, siendo materiales fundamentales en la construcción de obras emblemáticas de la provincia [2].

En contraste, en la provincia de **Salta**, los proyectos de producción de cal son aún incipientes. En cuanto a la investigación geológica, el **Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)** ha realizado estudios enfocados en el mapeo de recursos carbonatados en Salta, proporcionando información detallada sobre la geología regional y los recursos minerales disponibles [3].

1.3.4. Desarrollo actual de las tecnologías requeridas

En Argentina, existen tecnologías consolidadas para la extracción minera a cielo abierto, las cuales pueden adaptarse efectivamente a la geografía y condiciones específicas de Tolar Grande, garantizando una extracción eficiente del carbonato de calcio. En cuanto a la calcinación, la industria cuenta a nivel nacional con hornos industriales equipados a medida con sistemas de recuperación de calor y control de emisiones, esenciales para lograr procesos más sostenibles y minimizar el impacto ambiental.

1.3.5. Temas pendientes de resolución:

- Evaluación ambiental del proceso completo (extracción + calcinación).
- Transporte logístico entre Tolar Grande y San Antonio de los Cobres.
- Impacto social local de un posible polo productivo.
- Posibilidades de captación del CO₂ liberado durante la calcinación.

La piedra caliza y la cal son materiales ampliamente utilizados en diversas industrias debido a sus propiedades químicas y físicas. Su aplicación abarca desde el tratamiento de aguas

como floculante, coagulante y neutralizante, hasta la regulación de pH en procesos mineros. También se emplean como fundentes en la industria del acero y vidrio, caustificantes en la fabricación de papel y bases en la industria azucarera.

Además, la cal actúa como oxidante, desinfectante, estabilizador de suelos, y como preservante de madera. Tiene usos específicos en la industria del cuero como depilatorio, en la purificación de gases industriales como absorbente, y como reactivo en la producción de compuestos de calcio. Esta versatilidad convierte a la piedra caliza y la cal en insumos clave para los sectores industriales, ambientales y de infraestructura.

Tabla 1. Principales usos de cal y carbonato de calcio.

PROPIEDAD	USO
Fundente	Industria del acero y del vidrio
Regulador de pH	Industria minera
Neutralizante	Neutralización de aguas y suelos ácidos
Caustificante	Industria del papel, fabricación de soda y potasa
Floculador	Tratamiento para potabilizar agua
Coagulador	Tratamiento para potabilizar agua
Depilatorio	Industria del cuero
Absorbente	Purificación de gases en procesos industriales
Base	Industria azucarera
Oxidante	Fabricación de carburo de calcio
Fungicida, esterilizador	Destructor de hongos, bacterias y organismos vivos
Preservante	Postes, estructuras de maderas, troncos de árboles
Desinfectante	Aguas contaminadas con restos orgánicos
Estabilizador	Suelos arcillosos en construcciones viales
Reactivo	Base para la elaboración de sales de calcio

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, queda en evidencia que el proyecto de extraer carbonato de calcio (CaCO_3) y luego realizar diversos procesos químicos que derivan en las distintas formas del mineral mencionado, es sumamente importante para el desarrollo de la industria, infraestructura e innovación en Argentina, más precisamente en la provincia de Salta.

2. ESTUDIO DE MERCADO

La cal viva propuesta para la industria minera de Salta se “*caracteriza por un contenido mínimo de óxido de calcio activo del 80 %*” - información brindada por Nioi SA -, lo que le confiere un elevado poder neutralizante y corrector de pH en procesos de lixiviación y tratamiento de efluentes. Su granulometría fina y uniforme facilita una reacción rápida y eficiente, cumpliendo con los exigentes estándares de las empresas mineras regionales [4].

Este producto responde directamente a las necesidades de las operaciones de extracción de las mineras de extracción de litio que operan en Argentina, donde requieren cal de alta pureza para sus procesos, especialmente en la etapa de purificación de salmueras. La cal utilizada debe tener una pureza mínima de aproximadamente 82%, lo que significa que aceptan como estándar un contenido de óxido de calcio activo (CaO) de entre 80% y 84%, un máximo de sólidos insolubles de 1% y un máximo de magnesio (Mg) de 1,5% -información brindada por Nioi SA. A partir de estas características, el estudio de la demanda se enfocará en cuantificar el volumen anual requerido por las empresas mineras y en proyectar su crecimiento según los planes de expansión de dicha actividad en la provincia.

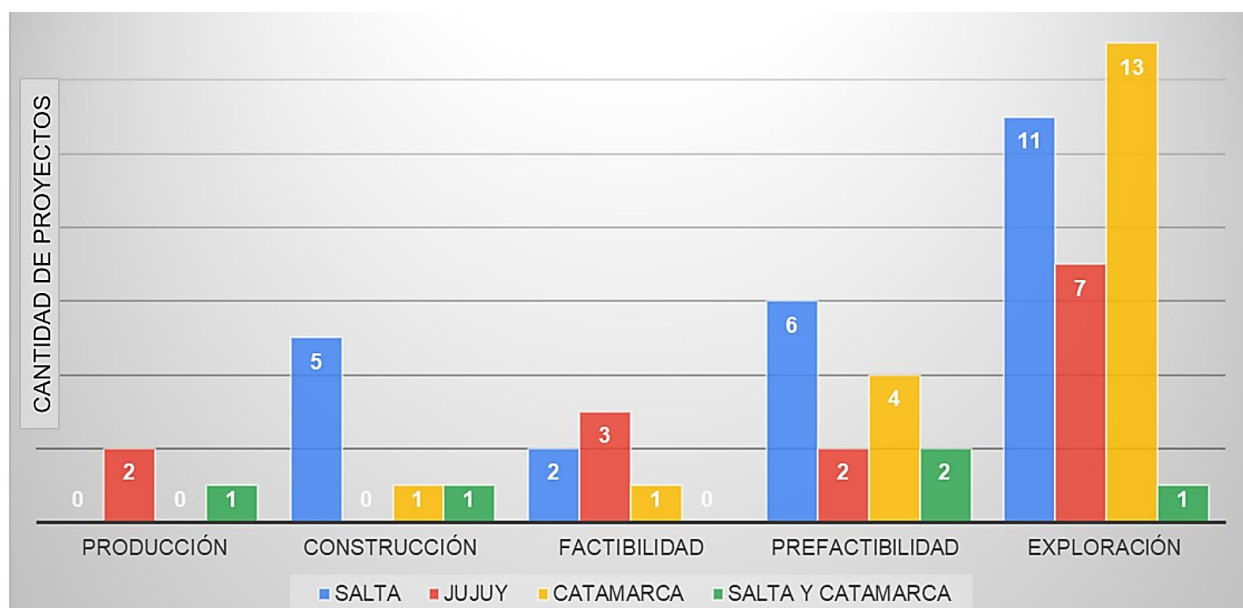
2.1. PRODUCCIÓN DE LITIO EN ARGENTINA

La fuente principal de litio en Argentina se encuentra en los salares de la Puna, mientras que, en otros países, como Australia, la extracción del recurso se realiza a partir de formaciones rocosas denominadas pegmatitas. Esto, simultáneamente, representa ventajas y desventajas: Argentina posee menores costos operativos en términos relativos, ya que el proceso de evaporación natural es menos costoso que el procesamiento de rocas, pero los tiempos de respuesta frente a cambios en la demanda son más lentos [5].

De acuerdo con La Nación (2025), “*Argentina es actualmente el cuarto productor mundial de litio, luego de Australia, Chile y China*” [6]. A su vez, diversas fuentes internacionales destacan la importancia geopolítica de la región: según Swissinfo (2022), “*el triángulo del litio, integrado por Argentina, Bolivia y Chile, concentra alrededor del 65 % de los recursos globales y representa el 29,5 % de la producción mundial total*” [7].

La Figura 1 muestra la cantidad de proyectos mineros de Litio hasta finales del 2023 y cómo se distribuyen por provincia. En donde se puede identificar 62 proyectos de Litio de los cuales, 3 están en Fase de Producción, 7 en Fase de Construcción, 6 en Fase de Factibilidad, 14 en Fase de Prefactibilidad y 32 en Fase de Exploración.

Figura 1. Estado de los proyectos de litio.



Fuente: Estudio de Mercado del Litio en Argentina by: Alpha Energy Ing. Daniel Dreizzen - noviembre 2023

La Figura 2 muestra los datos proyectados de producción de litio en Argentina hasta el año 2035, en base a la producción real de los años 2021 y 2022, los proyectos existentes, futuros y la capacidad de estos.

Figura 2. Proyecciones de producción de litio.



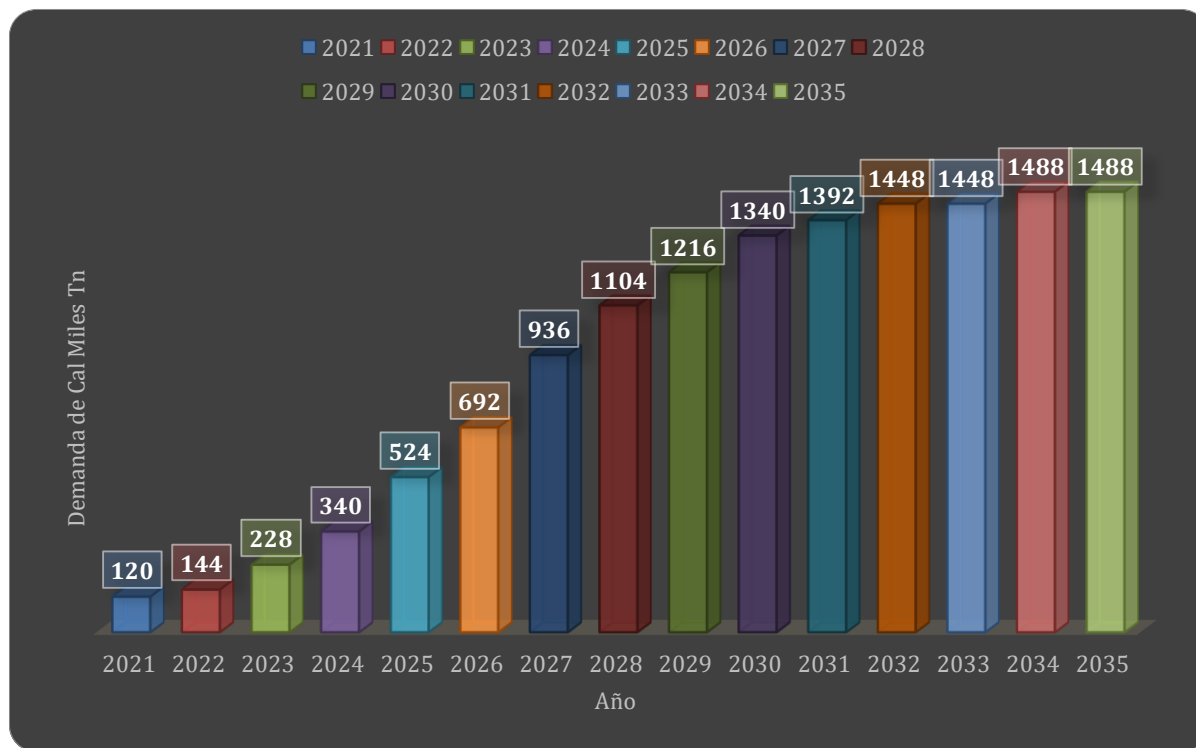
Fuente: Oportunidad del Litio en Argentina - agosto 2023 Allkem Panorama Minero.

2.2. DEMANDA DE CAL EN EL MERCADO DE LITIO EN ARGENTINA

Analizando las distintas fuentes de información y sabiendo que, por tonelada producida de Carbonato de Litio se necesitan aproximadamente 4 toneladas de cal -información brindada por Nioi SA-, se obtiene la proyección de la demanda de cal por año (Figura 3).

La información referida a la estimación de producción de litio presentada en la Figura 2 fue elaborada en el año 2023 y, en la actualidad, no refleja la situación real del sector. Por tal motivo, se procedió a realizar una investigación complementaria a partir de diversas fuentes especializadas, con el fin de comparar los valores proyectados con los niveles de producción real alcanzados en el período comprendido entre 2021 y 2024. Este contraste (ver Tabla 1) permite evaluar la precisión de las proyecciones iniciales y comprender con mayor exactitud la evolución de la producción nacional de litio en los últimos años.

Figura 3. Proyecciones de demanda de CaO por año.



Fuente: Elaboración propia a partir de las proyecciones de producción de litio anuales.

A partir de comparar la estimación de la Figura 2 con las producciones reales obtenidas, se puede considerar como certera la estimación que en el año 2025 con la proporción de que por tonelada de Carbonato de Litio se necesitan 4 toneladas de Carbonato de Calcio, en el país habrá una demanda total aproximada de **524.000 toneladas** de Óxido de calcio (CaO).

Tabla 2. Comparación de producciones estimadas y reales.

AÑO	PRODUCCIÓN ESTIMADA	PRODUCCIÓN REAL
2021	30000 t de LCE.	La producción se mantuvo estable respecto a años anteriores, con aproximadamente 33.000 toneladas de LCE [8].
2022	36000 t de LCE.	Se registró una ligera variación, con estimaciones entre 33.000 y 35.000 toneladas [8].
2023	57 t de LCE.	La producción experimentó un aumento significativo, alcanzando entre 65.000 y 70.000 toneladas, impulsada por la entrada en operación de nuevos proyectos como Cauchari-Olaroz [9].
2024	85 t de LCE.	Se estima que la producción superó las 74.000 toneladas, consolidando a Argentina como el quinto productor mundial de litio [10].

Fuente: Elaboración propia

2.3. ANÁLISIS DE COMPETIDORES EN EL MERCADO DE CAL PARA USO MINERO

Dado que el litio es un recurso estratégico, y que su extracción en Argentina se concentra principalmente en la región del NOA, resulta fundamental identificar a los principales actores que actualmente abastecen con cal de alta pureza a este sector industrial.

Las mineras de litio que operan en la Puna demandan cal viva con las condiciones nombradas al inicio del estudio, ya que este insumo es esencial en procesos como la purificación de salmueras. Por ello, en el análisis comercial del presente proyecto, es clave evaluar a los competidores que actualmente operan en el mercado ofreciendo cal que cumpla con estos requisitos técnicos.

A continuación, se detallan dos de los principales proveedores de cal en la región del NOA que cumplen con los estándares de pureza demandados por las operaciones mineras: **Calera San Juan** y **Calera Albors**. Se analizan sus niveles de pureza ofrecidos y así como sus modelos de comercialización, a fin de entender su posicionamiento en el mercado y establecer oportunidades de diferenciación y competitividad para el presente proyecto.

2.3.1. Calera San Juan

A partir de la información brindada en su página oficial [11], se puede observar que la planta industrial de Caleras San Juan se encuentra en Cienaguita, departamento de Sarmiento, provincia de San Juan, en un predio de 1.000 hectáreas que incluye cantera y complejo fabril, el cual produce 432.000 toneladas de cal anuales. Esta ubicación estratégica facilita el acceso a mercados nacionales e internacionales, incluyendo Chile.

Caleras San Juan cuenta con su propia estructura comercial y logística de distribución, lo que le permite asegurar un servicio eficiente y confiable a sus clientes en todo el país y en mercados internacionales. Esta integración le otorga un control total sobre los tiempos de entrega, optimizando la cadena de suministro y fortaleciendo su presencia comercial en sectores como la minería, la construcción y la industria química.

La empresa cuenta con 10 representantes comerciales distribuidos estratégicamente, quienes trabajan bajo la supervisión directa del Gerente de Ventas y reciben el apoyo de un Asistente Comercial. Esta estructura garantiza un servicio personalizado y eficiente, asegurando que cada cliente disponga de un referente especializado que atienda de forma ágil sus requerimientos.

En la Figura 4 se puede observar la ficha técnica de la composición química del óxido de calcio que provee dicha calera, cumpliendo con los estándares que solicita la industria minera. Es importante destacar que la empresa certifica la norma internacional ASTM [12] (American Society for Testing and Materials), una organización que desarrolla y publica estándares técnicos para diversos materiales, productos y servicios.

Figura 4. Calidad de CaO de Calera San Juan.

GRANULOMETRIA :		Ret. ASTM #170 = 20% Max.	
------------------------	--	---------------------------	--

COMPOSICION QUIMICA (Base seca)			
Componentes	Mínimo [% p/p]	Máximo [% p/p]	Norma
CaO _(Total)	90,00%		ASTM C25
CaO _(Activo)	82,00%		ASTM C25
MgO		1,50%	ASTM C25
Res. Ins. + SiO ₂ (Atacado HCl)		2,00%	ASTM C25
R ₂ O ₃		1,50%	ASTM C25
Pérdida por Calcinación		5,00%	ASTM C25

Otras Propiedades	Mínimo	Máximo	Norma
Reactividad en agua (t _{60°C})	5 min	15 min	DIN 1060
Reactividad en agua (T° a los 30 min)	64 °C		DIN 1060

Presentación:
Big Bag 1000 ±100 Kg
Granel

Fuente: Página web Calera San Juan

2.3.2. Calera Albors

A partir de la información brindada en su página oficial [13] Calera Albors S.A. cuenta con más de 40 años de experiencia como uno de los principales fabricantes de cales para los mercados argentinos y chilenos. Además, dispone de laboratorios internos que monitorean continuamente tanto la materia prima como el producto final, garantizando su consistencia y cumplimiento de normas de calidad. Su línea de Óxido de Calcio (Cal Viva) ofrece dos presentaciones principales:

Cal Viva triturada y clasificada: granulometrías personalizables (6" a 3/8") mediante trituración primaria y clasificación en tromel con cuatro cortes; se despacha a granel, en bolsones o sacos según necesidad.

Cal Viva molida: a partir de finos (< 3/8") o de cal seleccionada, procesada en dos plantas de molienda con molinos de martillos y separadores "Wizzer", para generar productos de diferentes composiciones químicas, adaptados a diversos usos y mercados.

En la Figura 5 se presenta la Composición Química Media Ponderada, observando que se cumplen con los requerimientos que solicita la industria minera. En comparación con Calera San Juan, Calera Albors, tiene un mejor porcentaje de óxido de calcio activo, un menor contenido de óxido de magnesio, pero un mayor contenido de insolubles.

Figura 5. Calidad de CaO de Calera Albors.

CaO-Oxido de calcio:	92% / 94%
MgO-Oxido de magnesio:	0.7% / 1.5%
R2O3-Oxidos metálicos:	0.3% / 0.5%
Insolubles en HCl (Silicatos):	1.5% / 2.5%
P.P.C.-Pérdidas por calcinación:	3% / 5%
OXIDO DE CALCIO ACTIVO (CaO):	84% - 87%

Fuente: Página web Calera Albors.

2.4. ANÁLISIS DE PRECIO

Según la investigación de mercado, la tonelada de cal viva dirigida a la minería de litio se cotiza actualmente en un rango de USD 250 a USD 400, sin incluir IVA ni gastos logísticos, es decir, precio a retirar en planta de calcinación -información brindada por el Sr. Jorge Martínez, responsable de compras de Curtiembre ARLEI-. Este valor refleja la variabilidad según volumen, calidad y condiciones de suministro, pero sirve como referencia para estimar costos bases al momento de planificar compras y acuerdos comerciales.

2.4.1. Ventaja competitiva

La ubicación propuesta para la planta de calcinación es en San Antonio de los Cobres, esto significa una ventaja logística sustancial, mientras que las dos caleras tradicionales de San Juan operan a una distancia promedio de 1.400 km de los principales proyectos mineros, la ubicación propuesta reduce esa distancia máxima a tan solo 300 km hasta el proyecto más alejado, asegurando menores costos de transporte, tiempos de entrega y una respuesta más ágil a las necesidades del mercado.

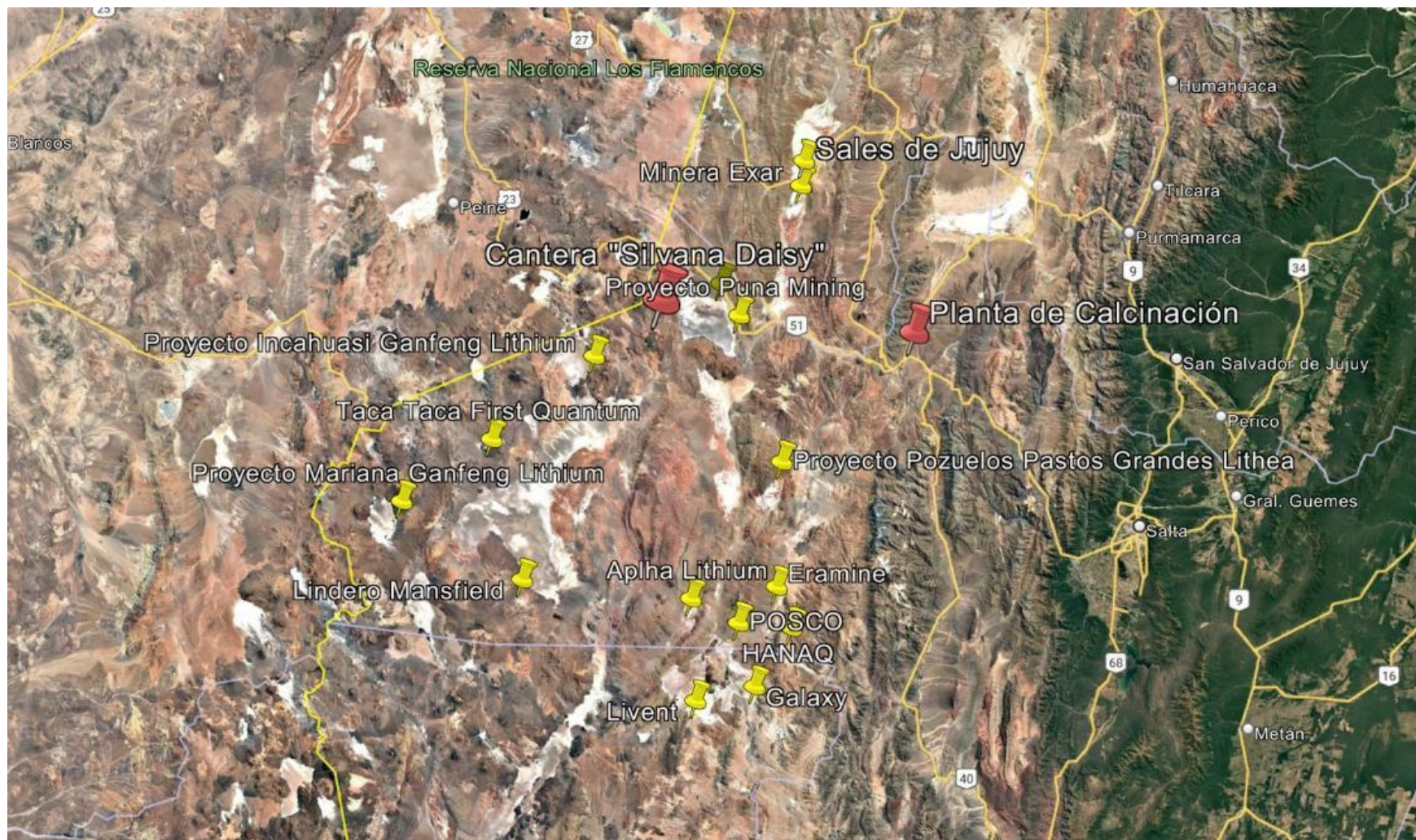
En la Figura 6 y 7 se puede observar la cercanía que tiene el yacimiento y la planta de producción a sus potenciales clientes, en comparación con las empresas competidoras, ubicadas en la provincia de San Juan.

Figura 6. Ubicación de los competidores con respecto al proyecto presentado.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth

Figura 7. Ubicación del yacimiento y la planta de calcinación con respecto a los potenciales clientes.



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

2.5. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

Este estudio constituye una etapa fundamental en la evaluación de la viabilidad y proyección de cualquier actividad productiva, ya que permite comprender las condiciones externas que influyen directa e indirectamente en su desempeño. A través de este estudio se identifican los factores clave que determinan la competitividad de la industria, los riesgos asociados y las oportunidades que pueden ser aprovechadas para fortalecer la estrategia empresarial.

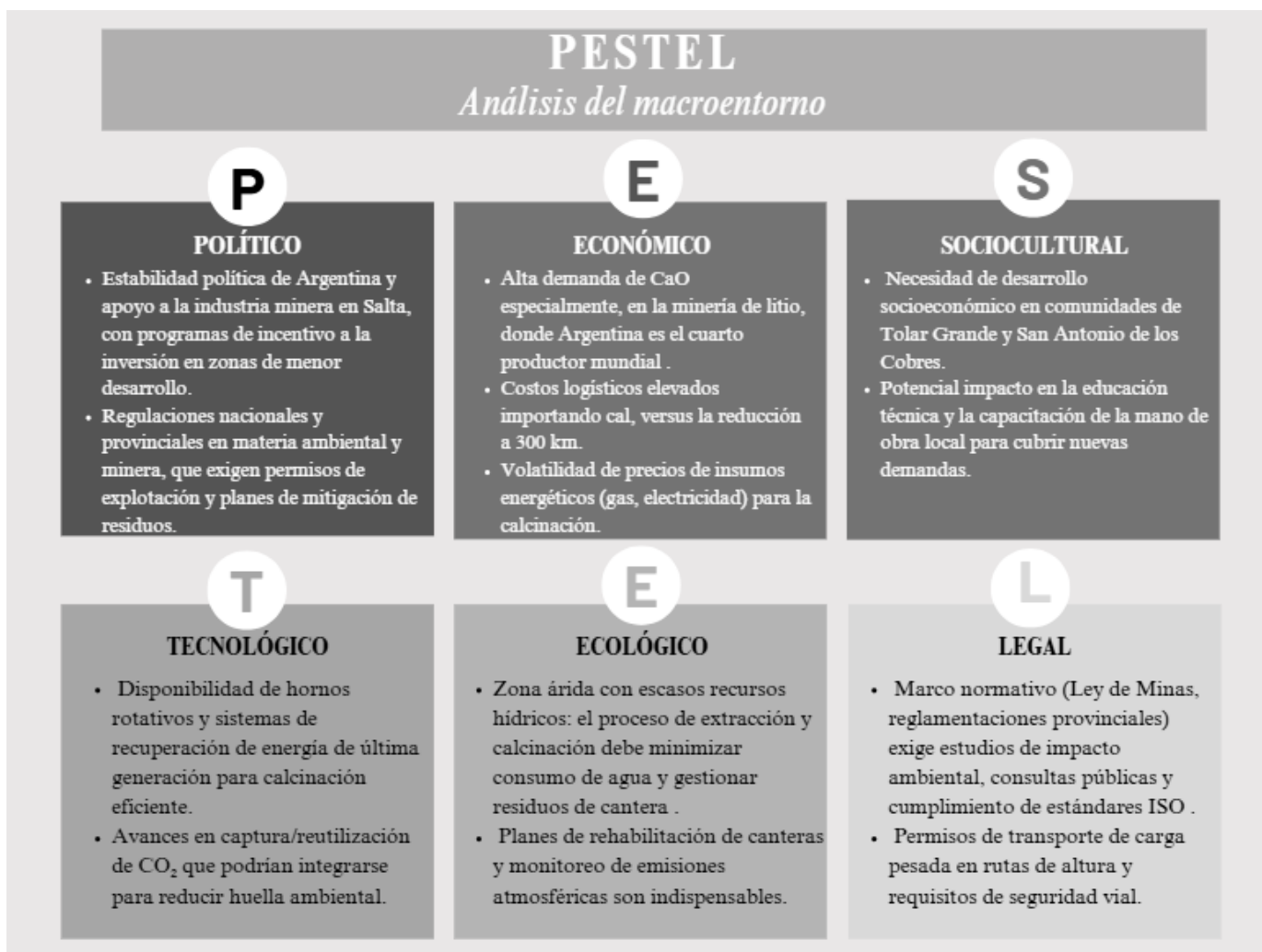
En el marco de esta tesis, se aborda el análisis del macroentorno aplicando diversas herramientas complementarias. En primer lugar, el modelo PESTEL permitirá examinar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que inciden sobre la extracción de carbonato de calcio y la posterior producción de óxido de calcio. A continuación, mediante las Cinco Fuerzas de Porter se evaluará la dinámica competitiva del sector y el poder relativo de los distintos actores de la cadena de valor. Asimismo, el análisis FODA sintetizará las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que condicionan la actividad. Finalmente, el Modelo Canvas se utilizará para plasmar la propuesta de valor, el modelo de negocio de manera integral y una estrategia de precios.

2.5.1. Modelo PESTEL

La industria de la extracción de carbonato de calcio y su transformación en óxido de calcio se encuentra inmersa en un contexto influenciado por múltiples factores externos que condicionan tanto su viabilidad como su sostenibilidad en el tiempo. Para comprender con mayor profundidad las variables que afectan este sector, resulta fundamental aplicar dicho análisis.

Este enfoque, ilustrado en la Figura 8, permite identificar los principales condicionantes que influyen en la actividad minera e industrial, desde las políticas públicas en materia de recursos naturales y energía, hasta las demandas crecientes de sectores productivos que utilizan el óxido de calcio como insumo clave. Asimismo, el análisis considera los avances tecnológicos que mejoran la eficiencia de los procesos, el impacto ambiental derivado de la explotación de recursos minerales, la normativa vigente y la aceptación social vinculada a la sustentabilidad de las operaciones.

Figura 8. Análisis PESTEL.



Fuente: Elaboración propia.

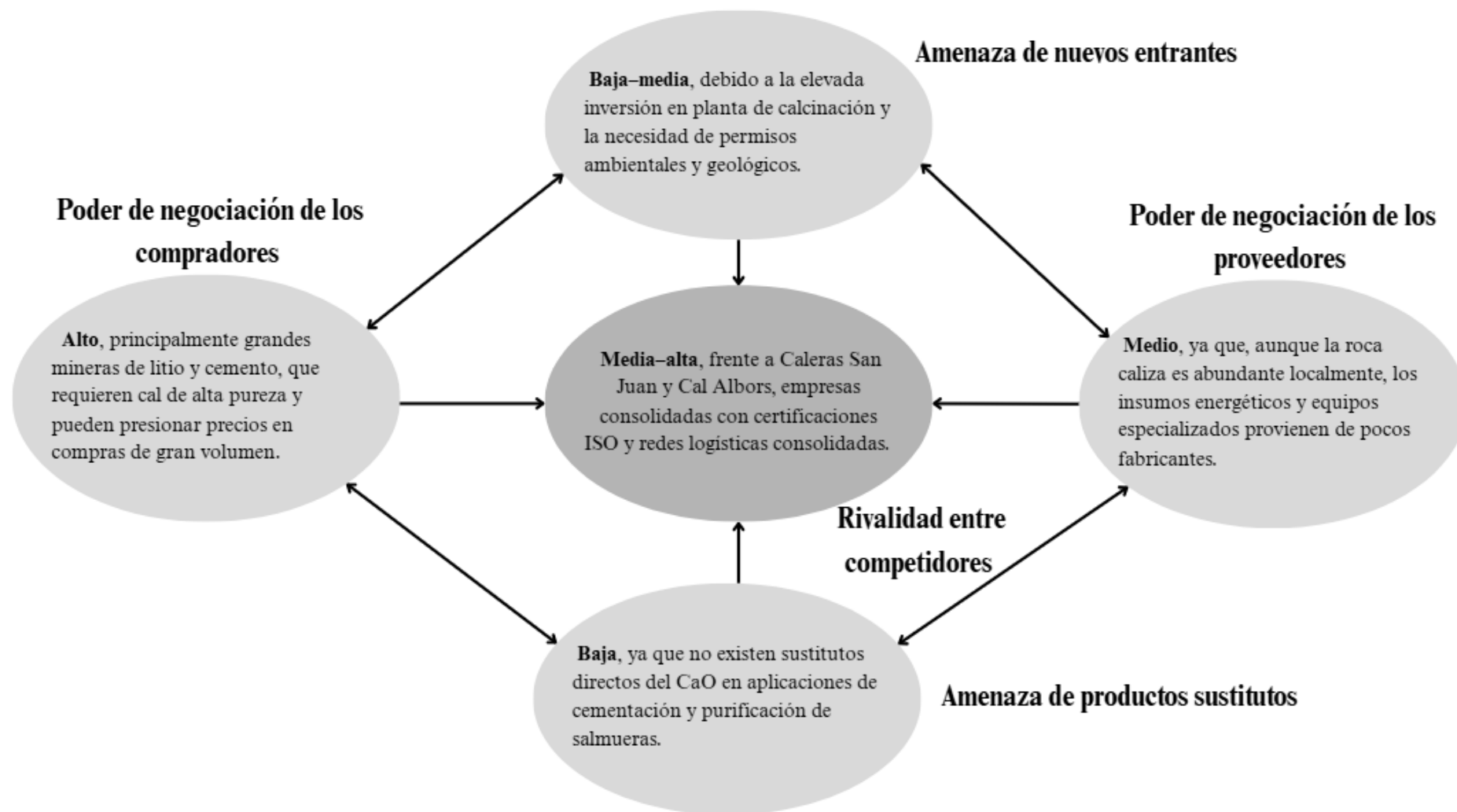
El análisis PESTEL muestra que el proyecto de instalación de una planta de CaO en Salta cuenta con un entorno favorable gracias al apoyo político a la minería, la alta demanda del sector del litio y la ventaja logística frente a competidores lejanos. Además, ofrece oportunidades de desarrollo social y empleo local, respaldado por tecnologías modernas y prácticas ambientales responsables. No obstante, será clave gestionar riesgos asociados a la volatilidad energética, la escasez hídrica y el estricto marco normativo. En conjunto, el estudio confirma que el proyecto es viable y competitivo bajo criterios de sostenibilidad y rentabilidad [14 a 23].

2.5.2. Fuerzas de Porter

El modelo de las Cinco Fuerzas de Porter constituye una herramienta estratégica ampliamente utilizada para analizar la estructura competitiva de un sector. A través de este enfoque, es posible evaluar los factores que determinan el nivel de rivalidad y la rentabilidad potencial de una industria, identificando así las condiciones que favorecen o limitan su desarrollo.

En el caso de la producción de óxido de calcio, que se observa en la Figura 9, aplicar las Cinco Fuerzas de Porter resulta fundamental para analizar la dinámica competitiva de la industria, la influencia de los insumos minerales, la relevancia de los consumidores industriales y la presencia de productos alternativos. De este modo, el modelo ofrece una visión integral de las presiones externas que afectan a la actividad y constituye una base sólida para la formulación de estrategias que fortalezcan la ventaja competitiva y aseguren la sostenibilidad del negocio en el largo plazo.

Figura 9. Fuerzas de Porter.



Fuente: Elaboración propia.

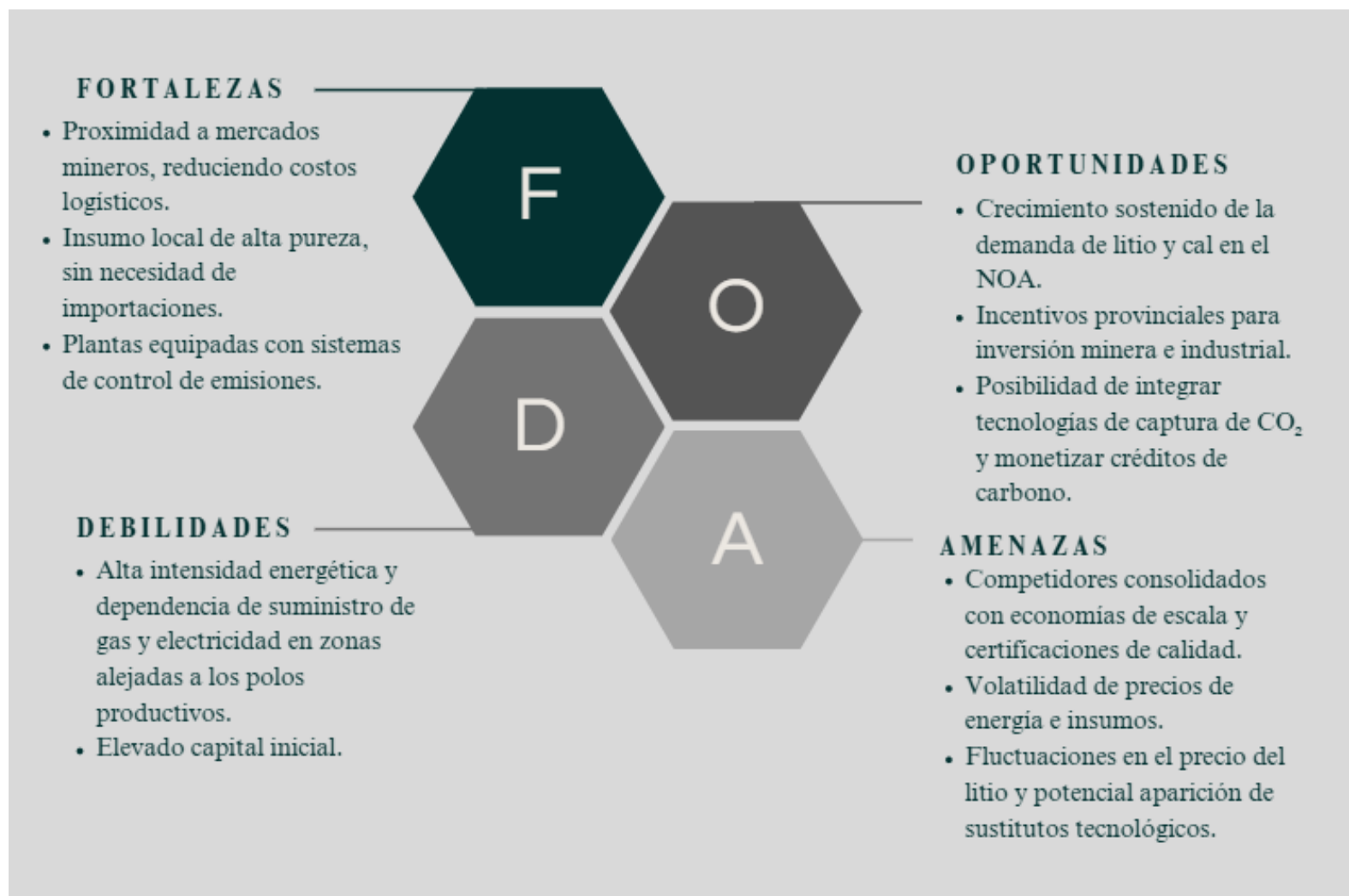
El resultado del análisis sugiere que la amenaza de nuevos entrantes y de productos sustitutos es moderada, mientras que la demanda creciente de la industria del litio genera un poder de negociación limitado de los clientes. En este contexto, la planta proyectada cuenta con condiciones competitivas atractivas para ingresar y consolidarse en el mercado regional.

2.5.3. Análisis FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta estratégica que permite evaluar tanto los factores internos como los factores externos que influyen en el desempeño de una organización. A través de esta metodología se identifican las fortalezas que otorgan ventajas competitivas, las debilidades que limitan el desarrollo, las oportunidades que pueden ser aprovechadas en el entorno y las amenazas que representan riesgos para la sostenibilidad del negocio.

En el caso particular de la producción de óxido de calcio, el análisis de la Figura 10, permitirá comprender las condiciones reales de la actividad, evaluando tanto los recursos disponibles como las restricciones operativas, así también las tendencias del mercado, la competencia y los desafíos asociados a la sostenibilidad.

Figura 10. Análisis FODA.



Fuente: Elaboración propia.

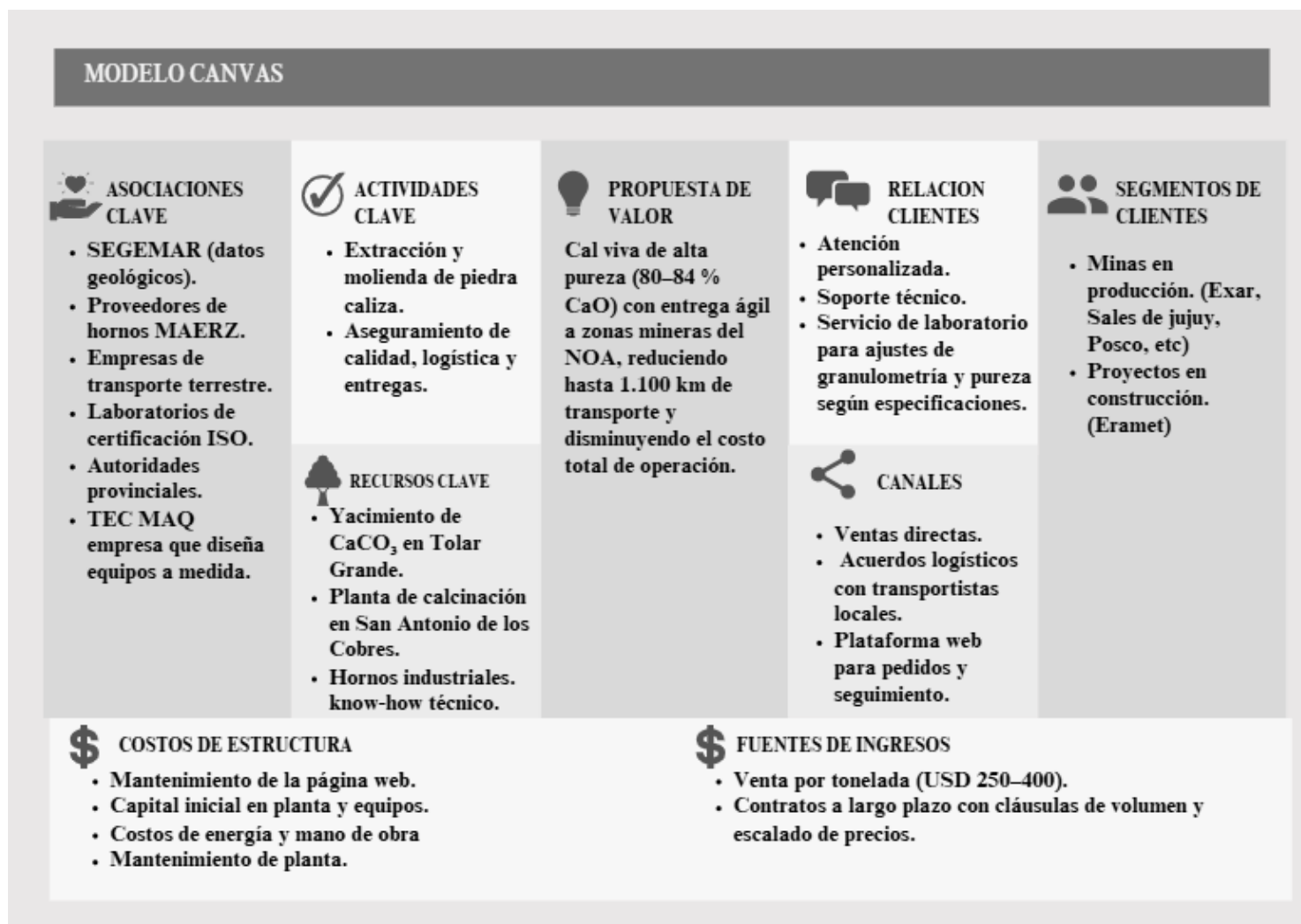
Del FODA se concluye que las fortalezas técnicas y la ubicación estratégica de la planta, junto con la oportunidad de crecimiento vinculada al litio, superan a las debilidades y amenazas identificadas. Esto respalda la factibilidad del proyecto y orienta líneas de acción para mitigar riesgos, principalmente en el plano económico-financiero y ambiental.

2.5.4. Modelo Canvas

El Modelo Canvas es una herramienta de gestión estratégica que permite describir, diseñar y analizar modelos de negocio de manera integral y visual. Su objetivo principal es representar, en un único esquema, los elementos esenciales que definen cómo una organización crea, entrega y captura valor dentro de un entorno competitivo.

En el marco de la producción de óxido de calcio, como se observa en la Figura 11, la aplicación del Modelo Canvas permitirá analizar de forma clara y ordenada las bases del modelo de negocio asociado a la extracción de carbonato de calcio y su transformación mediante calcinación. De esta manera, se podrán visualizar los aspectos más relevantes para la generación de valor en el sector, comprendiendo tanto las relaciones con los actores de la cadena productiva como la sostenibilidad económica de la actividad.

Figura 11. Modelo CANVAS.



Fuente: Elaboración propia.

El modelo Canvas evidencia que el proyecto se apoya en una red sólida de recursos estratégicos y asociaciones clave que garantizan tanto la producción como la colocación del producto en el mercado. La propuesta de valor se diferencia por su cercanía a los centros mineros del NOA, lo que permite mejorar costos y tiempos frente a competidores más alejados. Asimismo, el enfoque en relaciones personalizadas con clientes y en servicios técnicos especializados refuerza la fidelización y genera ventajas competitivas sostenibles. En conjunto, el esquema confirma la coherencia del modelo de negocio y su potencial de rentabilidad.

2.5.5. Estrategias de Precios

La definición de una estrategia de precios constituye un elemento clave dentro del modelo de negocio, ya que impacta directamente en la competitividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la empresa en el mercado. Tras el análisis integral del macroentorno mediante herramientas como PESTEL, las Cinco Fuerzas de Porter, el análisis FODA y el Modelo Canvas, se ha podido identificar el contexto en el que se desarrolla la producción de óxido de calcio y los factores que condicionan su posicionamiento.

En este marco, la estrategia de precios propuesta busca equilibrar la eficiencia operativa, la atraktividad comercial y la creación de valor para el cliente, adoptando un enfoque flexible que contemple tanto las condiciones del mercado como las particularidades logísticas y productivas de la planta. Para ello, se combinan distintos esquemas que responden a diversas necesidades: desde un modelo Costo-Plus con ajuste logístico, pasando por estrategias de penetración de mercado y precios premium asociados a servicios diferenciados, hasta esquemas dinámicos basados en volumen, estacionalidad y valor percibido por el cliente.

De esta manera, la política de precios no se plantea como un mecanismo único, sino como un sistema integral y adaptativo, diseñado para asegurar competitividad frente a la industria, fidelización de clientes estratégicos y sostenibilidad económica en el largo plazo.

A) Costo-Plus con ajuste logístico

Tarifa base de USD 250–400/tonelada y un recargo variable según distancia y volumen.

B) Penetración de mercado

Descuentos iniciales del 5–10 % por debajo de la competencia en contratos plurianuales para ganar cuota y fidelizar clientes.

C) Precio premium por servicio

Paquetes “llave en mano” que incluyan garantía de suministro, análisis de laboratorio gratuito y entrega exprés, con sobreprecio del 15–20 %.

D) Precio según volumen y estacionalidad

Descuentos crecientes para pedidos ≥ 5.000 toneladas y ajustes semestrales basados en variaciones de costos energéticos.

E) Precios basados en el valor

Fijar el precio considerando el ahorro logístico (hasta 1.100 km menos) y compartir parte de ese ahorro con el cliente.

2.6. PORCIÓN DE MERCADO A ABARCAR

Como al principio del estudio se determinó que en el año 2025 habrá una demanda aproximada de 524.000 toneladas de óxido de calcio, derivando en una demanda diaria de 1.435 toneladas que representa el 100% del mercado y conociendo las producciones de las empresas que serían competencia directa del proyecto y de los estudios de macroentorno, se propone abarcar una porción del 14% del mercado, teniendo así una producción diaria de 200 toneladas de óxido de calcio en la planta de producción de San Antonio de los Cobres.

3. ESTUDIO TÉCNICO

El presente estudio técnico tiene como objetivo analizar la viabilidad de un proyecto integral que contempla la extracción de piedra caliza en la zona de Tolar Grande y su posterior procesamiento para la producción de cal viva en San Antonio de los Cobres. Esta iniciativa se enmarca en un enfoque industrial orientado a abastecer principalmente la demanda del sector minero de la región. El análisis aborda aspectos clave como la localización, métodos de extracción y procesamiento, así como la infraestructura necesaria para garantizar una operación eficiente, segura y sustentable.

3.1. LOCACIÓN DEL YACIMIENTO DE CARBONATO DE CALCIO

El yacimiento objeto de análisis, denominado cantera “*SILVANA DAISY*”, se encuentra ubicado en la zona de Tolar Grande, a 30 kilómetros de la Ruta Nacional 51, a la altura del kilómetro 277, en plena región de la puna salteña -información brindada por la empresa-. Este enclave geográfico, si bien de difícil acceso, ofrece condiciones geológicas óptimas para el desarrollo de actividades extractivas debido a la riqueza mineral que caracteriza a la zona.

A partir de la Figura 12 se puede observar la ubicación real de la Cantera “*SILVANA DAISY*”, así como también el emplazamiento proyectado para la planta de calcinación, situada en la zona industrial de San Antonio de los Cobres. Esta representación geográfica permite visualizar de manera clara la relación estratégica entre el yacimiento de carbonato de calcio y el lugar destinado a su procesamiento, lo cual resulta fundamental para el análisis operativo del proyecto.

Figura 12. Ubicación del yacimiento y la planta de calcinación.



Fuente: Elaboración Propia.

3.2. LOCACIÓN DE LA PLANTA DE CALCINACIÓN

La correcta elección de la ubicación para la planta de calcinación es una decisión estratégica fundamental para asegurar la viabilidad técnica, económica y logística del proyecto. En este sentido, se analizaron las distintas alternativas disponibles dentro de la provincia de Salta, la cual cuenta actualmente con cinco parques industriales distribuidos en las localidades de Salta Capital, General Güemes, Pichanal, Mosconi y San Antonio de los Cobres.

Dado que la explotación del yacimiento de carbonato de calcio se realizará en la zona de Tolar Grande, se consideró prioritaria la cercanía a dicha fuente de materia prima para reducir los costos asociados al transporte de materiales, una actividad que no agrega valor al producto final. En este contexto, el parque industrial de San Antonio de los Cobres representa la alternativa más conveniente, tanto por su proximidad geográfica como por su conectividad logística.

Dicha localidad se encuentra aproximadamente a 167 km del yacimiento de Tolar Grande y posee acceso directo a la Ruta Nacional 51, lo cual facilita el enlace con los principales corredores de transporte que conectan con los centros mineros del Noroeste Argentino (NOA), principales clientes objetivos. Esta ventaja logística es clave para asegurar la eficiencia en la distribución de la cal viva, permitiendo reducir tiempos y costos operativos en la cadena de suministro.

Asimismo, el parque industrial cuenta con disponibilidad de servicios esenciales para la operación de la planta. En particular, se destaca la cercanía a gasoductos de la región, lo que facilita la provisión de gas natural para el proceso de calcinación. Este recurso energético es crucial para asegurar un proceso productivo continuo, eficiente y competitivo en términos de costos.

Otro aspecto relevante es que es posible acceder a un terreno dentro del parque bajo la modalidad de contrato de comodato, lo que significa que no se requiere el pago de arriendo por el mismo -información brindada por Nioi SA. Esta condición representa una ventaja económica considerable en la etapa de inversión inicial. Además, el terreno identificado presenta un importante desnivel natural, lo cual podría ser aprovechado en el diseño de la planta para facilitar la disposición de materiales por gravedad y reducir el consumo energético en la carga.

En función de todos estos factores, se concluye que la localización óptima para la instalación de la planta de calcinación es el Parque Industrial de San Antonio de los Cobres, ya que permite reducir costos logísticos, asegurar el abastecimiento energético, optimizar el diseño de planta y establecer cercanía con el mercado objetivo minero del NOA.

En la Figura 13 se observa el terreno proyectado para la planta, correspondiente a 2,5 hectáreas señaladas en color verde, destinadas a albergar las áreas operativas, administrativas y de expansión futura, mientras que la zona delimitada en rojo representa la totalidad del Parque Industrial.

En la Figura 14 se aprecia la ubicación proyectada de la planta de calcinación en relación con la localidad de San Antonio de los Cobres, situada en el polo opuesto al núcleo urbano. Esta localización representa una ventaja, ya que permite desarrollar la actividad industrial en una zona alejada del centro poblado, reduciendo posibles impactos ambientales y sociales.

Figura 13. Ubicación de la planta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Ubicación de la planta.



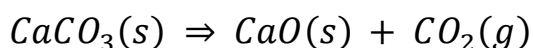
Fuente: Elaboración propia.

3.3. PROCESO DE EXTRACCIÓN Y CALCINACIÓN DEL CARBONATO DE CALCIO

Para la obtención de cal viva (óxido de calcio, CaO) a partir del carbonato de calcio (CaCO_3), se adoptará el proceso tradicional de extracción y calcinación, ampliamente utilizado en la industria por su eficiencia operativa y bajo nivel de complejidad tecnológica.

El proceso comienza con la extracción de la piedra caliza mediante técnicas de voladura y carguío mecánico, que permiten obtener bloques de roca de dimensiones adecuadas para su procesamiento. Una vez extraído, el material es transportado a la planta de calcinación, donde atraviesa un proceso térmico controlado.

La calcinación [24] consiste en la descomposición térmica del carbonato de calcio en un horno a temperaturas del orden de los 900 a 1.100 °C, lo que permite liberar dióxido de carbono (CO_2) y obtener óxido de calcio (CaO) como producto final, según la siguiente reacción química:



Este proceso se llevará a cabo en un horno de tipo rotativo, diseñado para operar de manera continua y abastecido por gas natural, lo cual garantiza una buena eficiencia térmica y menores emisiones contaminantes respecto a otros combustibles.

La relación estequiométrica en el proceso de calcinación es de 2:1, lo que implica que por cada dos toneladas de mineral alimentadas al horno se obtiene aproximadamente una tonelada de óxido de calcio (CaO) como producto final. Esta reducción en la masa se debe a la descomposición térmica del carbonato, el CO_2 liberado representa cerca del 44 % del peso original de la roca, lo que explica la diferencia entre el material ingresado y el producto obtenido. De esta manera, el proceso concentra el contenido útil de calcio en forma de cal viva.

La elección de este método responde a su fiabilidad, bajo costo relativo de implementación y fácil mantenimiento, siendo una solución probada en contextos industriales similares al presente proyecto.

3.4. FLUJO DE OPERACIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO

A continuación, se presenta el flujo general de operaciones que conforman el proceso productivo de obtención de cal viva, el cual se divide en dos grandes etapas: extracción del mineral y proceso de calcinación.

La primera etapa abarca todas las actividades asociadas a la explotación del yacimiento, representados en la Figura 15, desde la remoción del material hasta su transporte a planta. La segunda etapa, representada en la Figura 16, comprende el tratamiento térmico del carbonato de calcio para su transformación en óxido de calcio, así como el enfriamiento y almacenamiento del producto final.

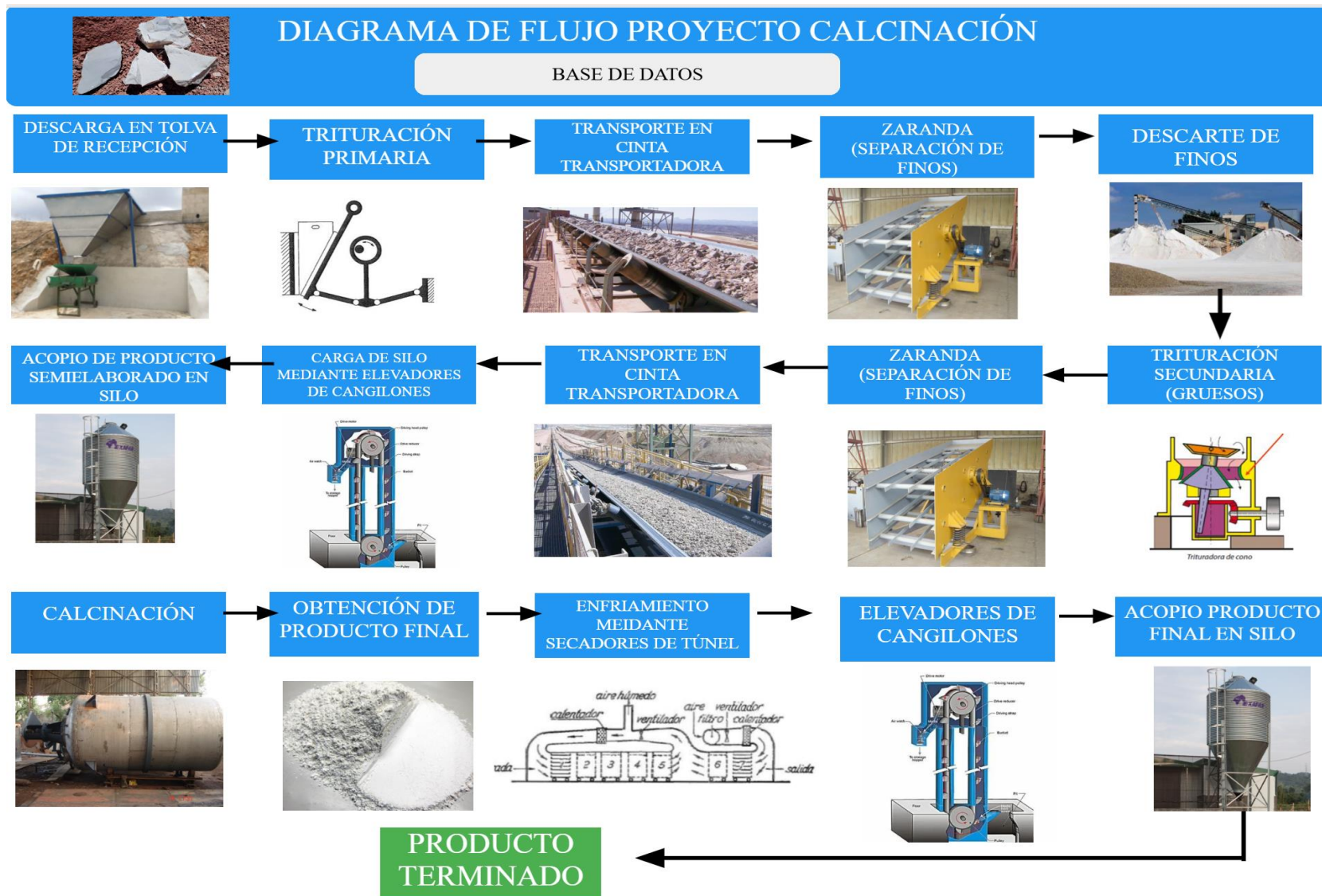
El siguiente diagrama permite visualizar de forma sintética la secuencia de las operaciones involucradas, facilitando su comprensión e identificación dentro del proceso global del proyecto.

Figura 15. Value Stream Mapping de extracción de CaCO_3 .



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Value Stream Mapping de producción de CaO.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. OPERACIONES DE EXTRACCIÓN DE PIEDRA CALIZA

La extracción de piedra caliza constituye la primera etapa crítica del proceso productivo para la obtención de cal viva. En este proyecto, se ha dimensionado la planta con una capacidad de procesamiento de 200 toneladas de cal por día, lo que implica una necesidad diaria estimada de 400 toneladas de piedra caliza, considerando el rendimiento típico del proceso de calcinación. La explotación del yacimiento “*SILVANA DAISY*” se realizará a cielo abierto mediante un conjunto de operaciones secuenciales, las cuales se detallan a continuación:

3.5.1. Voladura

La voladura controlada [25] será el método principal para la fragmentación inicial de la roca. Este proceso consiste en la perforación de pozos y el uso de explosivos industriales para generar la fractura del macizo rocoso. Dado el grado de especialización que requiere, en una primera etapa se optará por contratar este servicio a empresas especializadas, con el objetivo de adquirir conocimiento operativo (know-how) e internalizar el proceso en el futuro.

Se trata de un proceso discontinuo, planificado para acumular un stock de material suficiente que permita abastecer la planta durante tres meses de operación continua. Para ello, se proyectan 20 días de voladuras con una producción diaria de 2.000 toneladas, alcanzando un volumen acumulado de 40.000 toneladas de piedra caliza. El stock generado por las voladuras permanecerá en el yacimiento en forma de montículos sin protección, dado que la materia prima no se ve afectada por las condiciones ambientales de la zona. Esta estrategia busca optimizar el uso de recursos y minimizar la exposición operativa en zonas de alta montaña.

3.5.2. Reducción de tamaño de la piedra

Tras la voladura, se realiza la reducción de tamaño de los bloques de piedra caliza, buscando obtener fragmentos de aproximadamente 50 cm de diámetro, comúnmente llamados "cabeza de caballo". En los casos donde se exceden estos tamaños, se emplea una retroexcavadora sobre orugas equipada con martillo hidráulico para una trituración secundaria in situ. Este proceso es fundamental para facilitar el transporte y asegurar una granulometría adecuada para las siguientes etapas.

3.5.3. Carga a zaranda

La carga del material a la zaranda se realiza mediante una cargadora frontal equipada con balde de 3 m³, alimentando camiones de tres ejes (3x4), preparados para trasladar el material hacia la unidad de clasificación.

3.5.4. Zarandeo (clasificación de finos)

La piedra caliza es alimentada a una zaranda con luz de 15 cm, fabricada en acero aleado con tungsteno, similar al que se utiliza en vías férreas. Esta estructura, resistente al impacto y desgaste, permite eliminar los materiales de granulometría muy fina, los cuales son inadecuados para el proceso de calcinación debido a su rápida descomposición y su baja eficiencia térmica.

El objetivo de esta operación es asegurar una granulometría homogénea del material a ser transportado, mejorando el rendimiento del horno y aumentando la calidad de calcinación en operaciones posteriores. Es importante destacar que la roca caliza presenta una estructura frágil [26], por lo que durante su manipulación y transporte es común que se produzcan fracturas que generen partículas finas. Por este motivo, se busca que el material que ingrese a planta contenga la menor cantidad posible de finos, ya que estos no son aptos para el proceso de calcinación y representan una pérdida de eficiencia operativa.

3.5.5. Acopio

Finalizada la clasificación, la piedra caliza es acopiada a cielo abierto en zonas delimitadas. Al tratarse de un mineral no higroscópico ni reactivo con el ambiente, no se requiere cobertura ni protección especial, lo cual simplifica la logística y reduce costos de infraestructura.

3.5.6. Carga a camión tolva y transporte a planta

El despacho del material hacia la planta de calcinación se realiza con camiones tolva de 28 toneladas de capacidad, cargados mediante cargadoras frontales de 3 m³ de balde. Este tramo logístico será contratado, permitiendo optimizar recursos y garantizar un abastecimiento constante.

La distancia entre el yacimiento y la planta, ubicada en el Parque Industrial de San Antonio de los Cobres, es de 167 km, lo que representa un tiempo estimado de 3 horas por viaje. Esta

proximidad relativa permite mantener una cadena de suministro eficiente y a priori, económicamente viable.

3.6. OPERACIONES DENTRO DE LA PLANTA DE CALCINACIÓN

La planta de calcinación se encuentra diseñada para una capacidad operativa de 200 toneladas de cal viva por día, lo que requiere una planificación detallada de las operaciones internas, desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto final. La disposición en planta aprovecha la topografía natural del terreno, permitiendo utilizar la gravedad en varias etapas del proceso para reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia operativa.

Todas las características técnicas de los equipos mencionados en esta sección fueron extraídas de la página la empresa TEC MAQ [27], especializada en soluciones para la industria. Asimismo, la empresa Maerz ubicada en Suiza fabrica hornos rotativos a medida, de acuerdo con las especificaciones de capacidad y condiciones térmicas requeridas por el proceso de calcinación.

3.6.1. Recepción y acopio

El material extraído es descargado en la parte superior de la planta, cayendo por gravedad hacia una tolva de recepción especialmente dimensionada para contener una carga completa de camión tolva (28 t). Esta tolva alimenta directamente la trituradora primaria, garantizando una operación continua. Adicionalmente, se cuenta con una zona de acopio de materia prima en planta para disponer de un stock de seguridad en caso de interrupciones en el suministro desde el yacimiento.

3.6.2. Trituración primaria

El primer equipo de reducción es una trituradora de mandíbulas modelo TM-8060, con una boca de 800 x 400 mm. Esta unidad cuenta con mandíbulas reversibles de acero al manganeso y un eje reforzado en acero Cr-Ni-Mo SAE 4340 con tratamiento térmico. La unidad es accionada por un motor eléctrico de 100 HP, y su diseño incluye asistencia hidráulica para la regulación de la mandíbula móvil. El producto obtenido posee una granulometría de salida aproximada de 40 cm.

3.6.3. Transporte a zaranda vibratoria

El material triturado se traslada mediante una cinta transportadora modelo TB-7605 P, de 760 mm de ancho por 5 m de longitud, hacia una zaranda vibratoria modelo ZL-603 T. Esta zaranda cuenta con 3 niveles de selección (40 mm, 20 mm y 4 mm), fabricados en acero SAE 1070, y opera con una inclinación de 15°.

Los finos no se descartan, sino que se utilizan para formar un piso sobre el cual se deposita el acopio de stock de seguridad, funcionando como una base que evita el contacto directo con el suelo natural. Además, de aquellos casos en donde la descarga de materia prima de la primera operación no se realiza directamente en la tolva, sino que se efectúa sobre superficie abierta para su posterior recolección con cargadoras frontales, este piso de finos evita la contaminación de la materia prima con tierra u otros materiales indeseados, preservando la pureza del insumo previo a la calcinación, tanto para su acopio como la futura manipulación.

3.6.4. Trituración secundaria

La reducción adicional se realiza con una trituradora de mandíbulas modelo TM-10030, de boca 1000 x 300 mm, también equipada con mandíbulas de acero austenítico al 14% de Mn (manganeso) y componentes reforzados. La máquina es accionada por un motor de 100 HP y posee asistencia hidráulica. El producto obtenido tiene una granulometría aproximada de 30 cm.

3.6.5. Silo de producto intermedio y alimentación al horno

El material es transportado a un silo intermedio de 300 m³ (8 m de diámetro por 10 m de altura), construido en acero reforzado, con brida inferior para la dosificación controlada. Desde este punto, tornillos sin fin alimentan los elevadores de cangilones, que trasladan el material al sistema de ingreso del horno.

3.6.6. Proceso de calcinación

El proceso de calcinación se realiza en un horno rotatorio de 20 m de largo y 3 m de diámetro, con un caudal de procesamiento de 8 toneladas por hora de carbonato de calcio. El horno opera con una inclinación de 2° y una velocidad de rotación de 0,75 m/s, permitiendo que el material complete su recorrido en aproximadamente una hora. La temperatura de operación

alcanza los 1.100 °C, alimentado por gas natural con un consumo de 11.000 m³/día -información brindada por la empresa-.

El material ingresa por el extremo opuesto al quemador. Una cámara de expansión de 6 metros de longitud, ubicada en el extremo de ingreso del horno, permite liberar el polvo generado en esta etapa a través de una chimenea, mejorando la eficiencia ambiental y reduciendo el riesgo de contaminación del material. A continuación, el material ingresa al horno rotatorio propiamente dicho, donde se lleva a cabo el proceso de calcinación [28 y 29].

Durante el trayecto, el carbonato de calcio (CaCO₃) se descompone térmicamente para liberar dióxido de carbono (CO₂) y generar óxido de calcio (CaO).

3.6.7. Transporte y enfriamiento del producto

A la salida del horno, el material alcanza temperaturas cercanas a los 300 °C, por lo que no debe entrar en contacto con la atmósfera, ya que la exposición a la humedad ambiental podría reducir su calidad. El transporte y enfriamiento del material se realiza mediante sistemas herméticos de tornillo sin fin, que operan a baja velocidad. Estos equipos permiten disipar progresivamente el calor residual, reduciendo la temperatura del producto sin necesidad de incorporar aire ambiente.

Posteriormente, el material es elevado mediante un elevador de cangilones, que lo conduce a un segundo tornillo sin fin encargado de depositar el óxido de calcio en los distintos silos de producto final, según los requerimientos operativos y la disponibilidad de almacenamiento.

3.6.8. Clasificación y almacenamiento del producto final

En los silos de producto final, el material ya presenta una granulometría objetivo de 3 a 5 mm. Desde allí, un tornillo sin fin alimenta un sistema de elevadores de cangilones que conduce el óxido de calcio a una zaranda de placas intercambiables, diseñada para facilitar el cambio de matriz en un tiempo estimado de 30 minutos. Esta etapa de clasificación final tiene como objetivo garantizar un estricto control de la granulometría del producto de despacho.

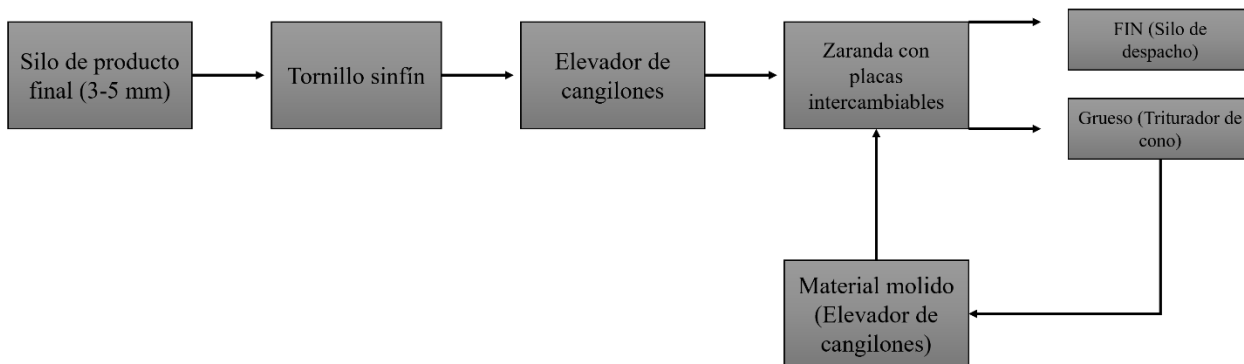
Los materiales finos, que cumplen con las especificaciones comerciales, son dirigidos directamente al silo de despacho, donde serán cargados en camiones. Por otro lado, los materiales gruesos son desviados hacia una trituradora de cono, donde se reduce nuevamente su tamaño.

Posteriormente, el material triturado se reincorpora por vía inferior al sistema de cangilones inicial, ingresando nuevamente a la zaranda para una nueva clasificación. Esta recirculación asegura que todo el producto despachado cumpla con los parámetros granulométricos requeridos, y evita sobrecargar la operación de molienda con material que ya se encuentra dentro del rango deseado, lo cual contribuye a mantener una alta eficiencia operativa.

Los silos de despacho están diseñados para preservar la calidad del producto final, impidiendo el contacto con la humedad ambiental y facilitando un despacho eficiente, seguro y continuo.

El diagrama de la Figura 17 muestra el recorrido del material desde el silo de producto final hasta el silo de despacho, incluyendo la clasificación granulométrica, la recirculación de los materiales gruesos mediante trituradora de cono, y el control del tamaño de partícula mediante zaranda de placas intercambiables. El sistema está diseñado para garantizar una granulometría final de 3 a 5 mm con alta eficiencia operativa. Se hace énfasis en este proceso en particular, debido a los distintos requisitos de granulometría solicitados por las empresas mineras.

Figura 17. Flujo de operación luego de la calcinación.



Fuente: Flujo de clasificación y despacho del producto final de cal viva. Elaboración propia.

3.7. SERVICIOS AUXILIARES

3.7.1. Suministro de energía eléctrica

Es uno de los pilares fundamentales para el funcionamiento de la planta de calcinación, ya que la mayoría de los equipos dependen de este recurso. Se instalará un sistema de alimentación trifásica de 380 V y 50 Hz, diseñado para garantizar la operación continua de las trituradoras primarias, secundarias y de los hornos de calcinación, equipos que representan los puntos de mayor consumo energético de 100 HP cada una, de las cintas transportadoras, zarandas vibratorias, elevadores de cangilones y tornillos sin fin.

La distribución se realizará mediante tableros eléctricos seccionales con grado de protección IP55, lo que asegura resistencia frente al polvo en suspensión y a la humedad presentes en el ambiente industrial, preservando la confiabilidad y vida útil de los componentes. Estos tableros contarán con contactores y protecciones térmicas que resguardarán a los motores y demás equipos ante posibles sobrecargas.

Asimismo, se dispondrá de un grupo electrógeno de respaldo con arranque automático, que permitirá mantener la operatividad de los sistemas críticos durante cortes de la red pública. Finalmente, se implementará un sistema de puesta a tierra integral, mediante jabalinas distribuidas en cada subestación, a fin de garantizar la seguridad de los operarios y la protección de los equipos eléctricos frente a descargas o fallas.

3.7.2. Suministro de gas natural

El gas natural constituye el insumo energético principal en el proceso de calcinación, con un consumo estimado de 11.000 m³ diarios -información brindada por Nioi SA-, para garantizar la operación continua de los hornos. Para ello, la planta contará con una conexión directa al gasoducto regional disponible en el área industrial, lo que asegura un abastecimiento confiable y en volumen suficiente para la demanda prevista.

El sistema incorporará una estación reguladora de presión, destinada a adecuar los niveles de presión de entrada a las condiciones específicas de los hornos, asegurando estabilidad en la combustión y eficiencia en el proceso. Complementariamente, se dispondrá de caudalímetros y equipos de registro continuo, que permitirán monitorear en tiempo real el consumo y generar datos para la gestión operativa.

Finalmente, se implementarán medidas de seguridad integrales, entre las que se incluyen válvulas de seccionamiento, sensores de detección de fugas y alarmas visuales y auditivas. Estas acciones tienen como objetivo proteger tanto a los operarios como a las instalaciones, minimizando los riesgos asociados al manejo de un combustible de alto poder calorífico.

3.7.3. Agua industrial

Si bien el proceso de calcinación no demanda agua como insumo directo, se prevén consumos secundarios que resultan indispensables para el funcionamiento general de la planta. Entre ellos se destacan la limpieza de pisos y estructuras, la refrigeración puntual de ciertos rodamientos o equipos eléctricos, y el abastecimiento de servicios sanitarios y de cocina para el personal.

El sistema de abastecimiento se proyecta a partir de fuentes locales disponibles en el parque industrial, contemplando los volúmenes necesarios para cubrir un consumo estimado acorde a la cantidad de operarios y a las tareas de mantenimiento rutinarias. Para garantizar la disponibilidad, se instalará un tanque elevado o cisterna con capacidad mínima de 20.000 litros, conectado a bombas de impulsión y una red interna de distribución con llaves de corte estratégicamente ubicadas.

En cuanto al destino de las descargas, se prevé su incorporación a la red de desagües industriales del parque, con el tratamiento correspondiente para evitar impactos negativos en el entorno. Finalmente, en el estudio legal se desarrollará el apartado denominado “Permisos de agua y suelo”, donde se detallarán las obligaciones normativas, asegurando el cumplimiento del marco regulatorio vigente y la habilitación de las operaciones.

3.7.4. Sistema de ventilación y extracción de polvo

La manipulación de piedra caliza en sus diferentes etapas de procesamiento genera emisiones de polvo que deben ser controladas para preservar la seguridad laboral y minimizar los impactos ambientales. Para ello se instalará un sistema de extracción localizada en los equipos más críticos, incluyendo campanas en zarandas, trituradoras y puntos de transferencia.

El aire cargado de partículas será conducido a filtros de mangas con limpieza automática, los cuales garantizan una retención eficiente de material particulado y evitan la acumulación en los conductos. Estos estarán conectados a ventiladores centrífugos que permitirán evacuar el aire viciado hacia una chimenea, asegurando un flujo controlado y dirigido.

En el caso del horno de calcinación, se contará con una cámara de expansión de 6 metros de altura, diseñada para favorecer la decantación del polvo inicial. El remanente será liberado a través de una chimenea vertical, cumpliendo con los parámetros técnicos y legales aplicables en materia de emisiones atmosféricas.

Finalmente, cabe destacar que en el estudio ambiental se abordarán estos aspectos con mayor detalle, incorporando medidas de control, monitoreo y planes de mitigación que garanticen el cumplimiento de la normativa vigente.

3.7.5. Red contra incendios

La planta contará con un sistema integral de seguridad diseñado para prevenir y controlar riesgos de incendio, cumpliendo con las normas mínimas de seguridad industrial. En las zonas críticas se instalarán hidrantes y mangueras cada 30 metros, lo que permitirá una rápida respuesta en caso de emergencia.

Adicionalmente, se dispondrán extintores portátiles de clase A, B y C, ubicados estratégicamente en el área de hornos, tableros eléctricos y oficinas administrativas. Estos equipos garantizan la cobertura frente a diferentes tipos de fuego y aseguran una intervención inmediata.

El sistema se complementará con dispositivos de detección de humo y temperatura, conectados a sirenas y alarmas visuales que faciliten la evacuación del personal. Asimismo, se implementará un plan de capacitación continua con simulacros periódicos, orientados a que los operarios adquieran habilidades prácticas de respuesta ante emergencias, tal como exige la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo.

3.7.6. Servicios sanitarios y de uso común

Con el objetivo de garantizar condiciones de trabajo adecuadas para los 40 operarios proyectados, la planta contará con un bloque de servicios sanitarios y espacios de uso común. Estos ambientes están diseñados conforme a la normativa vigente de higiene y seguridad, priorizando la comodidad y el bienestar del personal.

Se dispondrán de vestuarios equipados con duchas y lockers individuales, así como de sanitarios diferenciados por género, asegurando el cumplimiento de los estándares básicos de infraestructura laboral. Además, la planta contará con un comedor industrial y una cocina equipada, destinados a cubrir las necesidades alimentarias durante la jornada.

El sector administrativo incluirá oficinas y una sala de control con visibilidad directa hacia la planta, conectada al sistema de monitoreo. Esto permitirá un seguimiento en tiempo real de las operaciones, contribuyendo a la eficiencia productiva y a la seguridad en las instalaciones.

3.7.7. Sistema de comunicaciones

El correcto funcionamiento de la planta requiere de un sistema de comunicaciones eficiente que asegure la coordinación entre operarios y la integración de la información operativa. Para ello, se instalará una red interna de comunicación por radio VHF/UHF destinada al personal en planta, lo que permitirá una respuesta rápida ante cualquier eventualidad.

A nivel tecnológico, se proyecta la implementación de internet industrial, mediante fibra óptica o conexión satelital, que garantice la transmisión de datos en tiempo real y el enlace con

los sistemas de gestión corporativa. Esto permitirá consolidar información de producción, mantenimiento y seguridad de manera centralizada.

Finalmente, se prevé la posibilidad de incorporar un sistema SCADA o ERP, orientado al monitoreo continuo de la producción, el estado de los equipos y los consumos energéticos. Esta integración digital favorecerá la eficiencia operativa y el control estratégico del emprendimiento.

3.7.8. Sistema de control y monitoreo

Con el fin de garantizar la seguridad y eficiencia operativa, la planta contará con un sistema de automatización basado en controladores lógicos programables (PLC). Estos equipos estarán vinculados a sensores de temperatura, presión y caudal instalados en los hornos, motores y líneas de gas, lo que permitirá un control preciso de las variables críticas del proceso.

La supervisión local se realizará mediante pantallas de control en los tableros de planta, desde donde se podrán visualizar en tiempo real los parámetros de funcionamiento. Además, el sistema estará asociado a un conjunto de alarmas que se activarán ante fallos eléctricos, sobrecalentamientos o presiones fuera de rango, minimizando riesgos y tiempos de inactividad.

Complementariamente, se evaluará la implementación de un software de mantenimiento predictivo, sustentado en el análisis de vibraciones, temperatura y consumo energético de los equipos. Esta herramienta permitirá anticipar posibles fallas, optimizar la disponibilidad de los activos y reducir los costos de operación a largo plazo.

3.8. DISEÑO DE PLANTA

Se plantea una etapa inicial de operación para 200 toneladas diarias, lo cual permite optimizar la inversión inicial, mantener un modelo operativo eficiente y dejar abierta la posibilidad de escalar la capacidad en futuras etapas.

San Antonio de los Cobres presenta ventajas logísticas y técnicas fundamentales frente a la alternativa de emplazar la planta en el propio yacimiento. Entre los factores determinantes, se destaca:

- Disponibilidad de gas natural: en San Antonio de los Cobres el gasoducto se encuentra a 300 metros del predio industrial, mientras que en Tolar Grande se requeriría una extensión

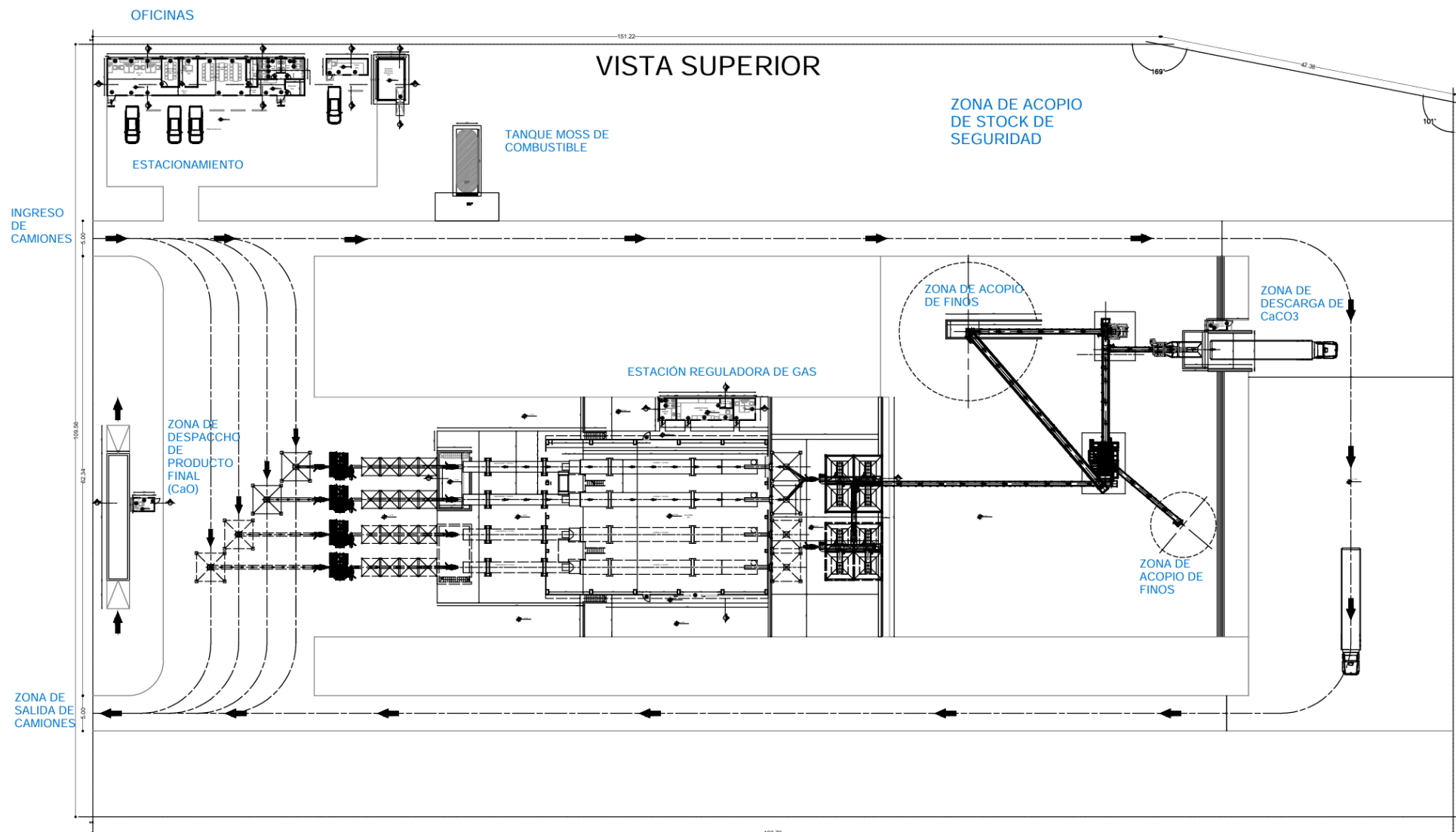
de aproximadamente 2 km. Esta diferencia impacta directamente en los costos de conexión, seguridad y mantenimiento de las instalaciones auxiliares.

- Acceso a energía eléctrica trifásica: el parque industrial cuenta con suministro eléctrico apto para uso industrial, evitando así la necesidad de implementar sistemas aislados o costosos tendidos de media tensión hasta una zona remota.
- Cercanía a la mano de obra, al estar próximos al núcleo urbano de San Antonio de los Cobres, se evita la necesidad de montar un campamento para operarios o planificar su traslado desde zonas remotas. Esto permite contar con trabajadores locales, quienes podrán desempeñarse cerca de sus hogares, reduciendo tiempos de traslado y mejorando la calidad de vida laboral.
- Mejor acceso a servicios médicos y apoyo comunitario, al estar próximos a una localidad establecida, se dispone de infraestructura básica sanitaria y servicios médicos, lo cual contribuye a garantizar la seguridad y atención del personal ante cualquier eventualidad.

El esquema de planta, desarrollado en función de esta localización, optimiza la distribución de espacios y equipos utilizando la topografía del terreno a favor, como puede observarse en los planos adjuntos en la Figura 18 y 19. La disposición de tolvas, cintas transportadoras y silos permite un flujo gravitacional eficiente del material, minimizando consumo energético y aumentando la fiabilidad operativa.

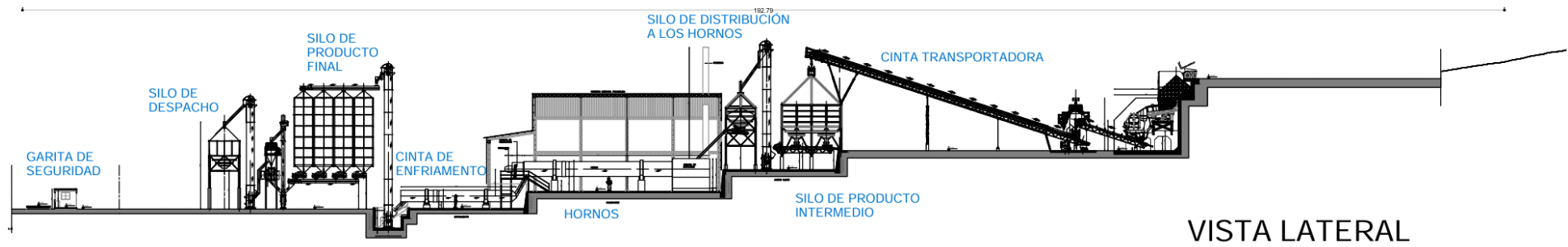
En conjunto, la elección de San Antonio de los Cobres no solo garantiza una operación técnicamente viable, sino también, en principio, económicamente más conveniente al reducir las inversiones necesarias en infraestructura auxiliar, lo cual constituye un factor clave en la sostenibilidad del proyecto.

Figura 18. Vista superior de la planta de calcinación.



Fuente: Grupo Nioi S.A., con modificaciones propias.

Figura 19. Vista lateral de la planta de calcinación.



Fuente: Grupo Nioi S.A., con modificaciones propias.

3.9. ORGANIGRAMA INDUSTRIAL

La estructura organizacional responde a la necesidad de mantener un esquema de producción continua (24/7), con funciones de soporte técnico, administrativo y de gestión que garanticen el cumplimiento normativo y el funcionamiento eficiente de la planta. Se han diseñado los rosters considerando las condiciones geográficas del lugar, las distancias respecto a Salta Capital y los requerimientos legales vigentes en cuanto a higiene, seguridad y descanso del personal.

3.9.1. Gerencia y Mandos Medios

- Gerente de planta (1) – Roster 5x2
- Jefe de planta (1) – Roster 5x2
- Jefe de mantenimiento (1) – Roster 5x2
- Jefe de laboratorio (1) – Roster 5x2

Estos puestos clave cumplen funciones estratégicas, de coordinación y supervisión. Trabajan de lunes a viernes, con residencia temporal en San Antonio de los Cobres y fines de semana en Salta Capital. Esta modalidad permite una gestión eficiente sin necesidad de duplicar posiciones.

3.9.2. Higiene y Seguridad (HyS)

- Jefe de HyS (1) – Roster 2x28
- Técnicos de HyS (2) – Roster 15x15

La presencia del Lic. en HyS está normada por legislación, permitiendo asistencia una vez al mes. Los dos técnicos trabajan en esquema 15x15 para garantizar presencia continua y cumplimiento de protocolos, supervisión de tareas críticas, y respuesta ante emergencias.

3.9.3. Área Administrativa

- Administrativo/Pañolero (2) – Roster 15x15

Esta posición gestiona materiales, documentación y operaciones administrativas. Dos personas en esquema 15x15 aseguran cobertura diaria, con rotación equitativa y sin necesidad de sobrecarga horaria.

3.9.4. Producción

- Horneros (4) – Roster 6x2
- Operadores de molienda (2) – Roster 6x2
- Operador de despacho/Balancero (1) – Roster 6x2
- Maquinista/Chofer (1) – Roster 6x2

Estas posiciones requieren cobertura de 24/7, ya que la planta funciona de forma continua. El esquema 6x2 es una alternativa válida para garantizar descansos adecuados según legislación, permitiendo rotación y continuidad sin afectar la producción. Los horneros, por ejemplo, se dividen en 4 personas para cubrir tres turnos diarios con un operador de respaldo.

3.9.5. Mantenimiento

- Encargado de mantenimiento (1) – Roster 6x2
- Auxiliares de mantenimiento (4) – Roster 6x2

La continuidad operativa exige mantenimiento correctivo y preventivo todos los días. Por eso, el personal técnico debe estar disponible en todos los turnos. El esquema 6x2 permite cubrir todos los días sin duplicar excesivamente la dotación.

3.9.6. Laboratorio

- Analista de laboratorio (1) – Roster 15x15
- Auxiliares de laboratorio (4) – Roster 6x2

El laboratorio es clave en el control de calidad, especialmente en procesos mineros o de producción de materiales. Se requiere presencia permanente para toma de muestras, análisis y

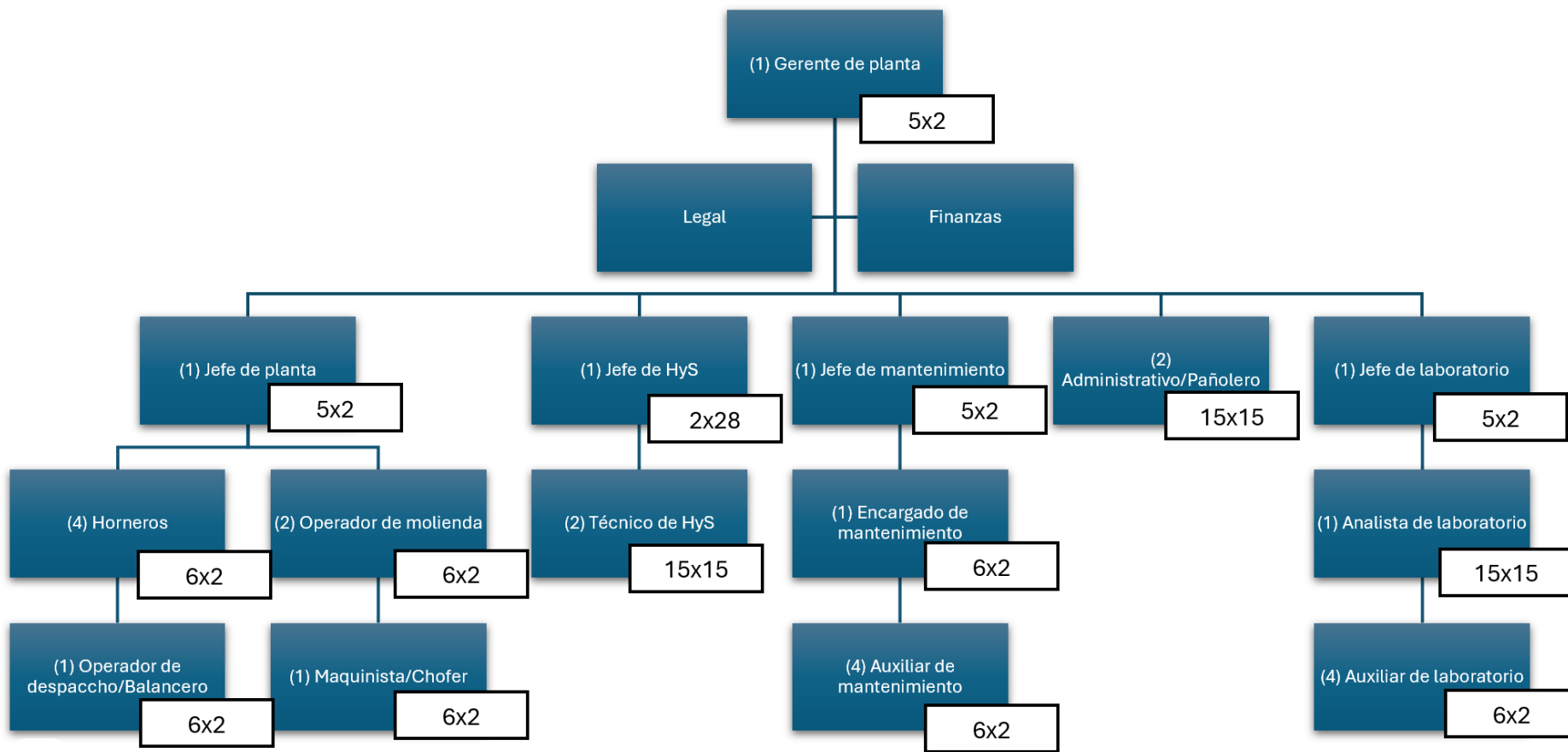
control de variables críticas. El esquema de 6x2 para auxiliares garantiza esa permanencia, mientras que el analista principal rota 15x15, asegurando respaldo técnico continuo.

3.9.7. Staff Externo

- Legal y Finanzas – Staff de apoyo (outsourcing). Estas áreas no se encuentran en planta de forma permanente, ya que sus tareas son centralizadas en oficinas administrativas en Salta. Se justifica la externalización por eficiencia de costos y baja frecuencia de intervención directa.

En la Figura 20 se puede observar el organigrama propuesto para la planta industrial a partir de lo desarrollado anteriormente, teniendo en cuenta aquellos puestos que deban estar operativos permanentemente.

Figura 20. Organigrama de la planta de calcinación.



Fuente: Elaboración propia.

3.10. CONCLUSIÓN

La dotación definida en este esquema permite una operación eficiente, continua y segura, sin sobredimensionar el personal y cumpliendo con la normativa laboral. Se aplican distintos rosters según la criticidad de cada función, asegurando descansos adecuados, turnos cubiertos todos los días del año y capacidad de respuesta ante eventualidades.

Este diseño también contempla las particularidades logísticas de San Antonio de los Cobres, permitiendo una rotación del personal técnico y operativo mediante esquemas como el 15x15, 6x2 y 2x28, que optimizan tanto los recursos como el bienestar del personal.

4. ESTUDIO LEGAL

El estudio legal constituye un componente esencial dentro del análisis de factibilidad de un proyecto minero-industrial, ya que garantiza que cada etapa de la extracción y calcinación de carbonato de calcio se realice en conformidad con la normativa vigente. Este apartado permite identificar de manera anticipada los requisitos jurídicos que condicionan la instalación y operación de la planta en la provincia de Salta.

Para ello, se ha elaborado un recorrido ordenado por los principales trámites y autorizaciones que la legislación nacional y provincial establece como obligatorios. Cada uno de ellos responde a una necesidad específica: desde la obtención de la concesión minera, hasta los permisos ambientales, habilitaciones municipales, autorizaciones de uso de recursos y mecanismos de participación ciudadana.

El desarrollo de este estudio se realizó de forma sistemática, dedicando un apartado a cada requisito legal y detallando su fundamentación normativa. De este modo, se ofrece una visión integral de las obligaciones que la empresa calera debe cumplir.

4.1. CONCESIÓN MINERA

La concesión minera representa el punto de partida para habilitar legalmente la extracción de carbonato de calcio en la provincia de Salta. Se trata de un derecho otorgado por la autoridad minera provincial, que faculta al solicitante a explorar y explotar un área determinada bajo las condiciones previstas en la normativa vigente.

El procedimiento exige presentar una solicitud formal ante la Dirección de Minería de Salta. En ella deben incluirse la delimitación precisa del área solicitada, los planos geológicos correspondientes y un plan de trabajos que justifique la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Una vez ingresada la documentación, la autoridad competente evalúa la solicitud y emite una resolución. En caso de resultar favorable, se otorga la concesión que habilita al titular a realizar actividades extractivas en el territorio definido, quedando sujeto a los controles periódicos de la autoridad minera.

Este proceso se enmarca en el Código de Minería de la Nación y en la Ley 24.585/1995, Título XIII, que introdujo el procedimiento de evaluación de impacto ambiental como requisito esencial para autorizar proyectos de exploración y explotación minera.

4.2. INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental inicial (EIA-I) es un requisito obligatorio para toda actividad minera en Argentina, establecido en la Ley 24.585 de Protección Ambiental para la Actividad Minera [30] y su Decreto Reglamentario 1342/97. Este estudio tiene por objetivo identificar, evaluar y prevenir los impactos ambientales derivados de la explotación y procesamiento de recursos minerales.

En proyectos de mayor alcance, como la instalación de una planta de calcinación de carbonato de calcio, se exige además la presentación del Estudio de Impacto Ambiental complementario (EIA-C), de acuerdo con lo dispuesto por la Resolución 130/09 de la Secretaría de Minería de Salta. Dicho documento amplía la información inicial, garantizando que el desarrollo industrial se adecue a los principios de sustentabilidad y gestión responsable de los recursos.

Uno de los componentes principales es la caracterización de la flora y fauna del área de influencia. Según la normativa ambiental, este diagnóstico es esencial para evaluar los posibles efectos de la explotación minera sobre la biodiversidad local y definir medidas de conservación y monitoreo continuo.

Otro eje fundamental es el estudio de los recursos hídricos, que debe contemplar tanto la disponibilidad como la calidad del agua. La Ley 24.585 exige que se detallen las fuentes de captación, los volúmenes de consumo en los procesos industriales y las acciones de protección para evitar la contaminación de napas y cursos superficiales.

Asimismo, el EIA debe incluir la descripción técnica de los procesos de extracción y calcinación, identificando las emisiones gaseosas, los residuos sólidos y los efluentes líquidos generados. El Decreto 1342/97 establece que estos datos deben acompañarse de un plan de gestión integral de residuos, con énfasis en la reducción y disposición segura de los mismos.

El documento también exige la presentación de un plan de mitigación de emisiones atmosféricas, en el cual se detallen medidas de control para partículas, gases derivados de la

calcinación y dióxido de carbono. Estas acciones buscan cumplir con los estándares nacionales y provinciales en materia de calidad del aire y salud ambiental.

Finalmente, debe incorporarse un plan de minado y rehabilitación de canteras, que describa las fases de explotación, los métodos de cierre progresivo y las estrategias de restauración del suelo. La Ley 24.585 obliga a que todo proyecto contemple planes de cierre ambiental desde la etapa de diseño, asegurando la recuperación de áreas intervenidas y la protección de las comunidades cercanas.

4.3. PERMISO DE AGUA Y SUELO

La autorización para el uso de agua es un requisito indispensable en proyectos industriales de gran escala, ya que regula la captación y consumo de recursos hídricos. En la provincia de Salta, este trámite se gestiona ante la Autoridad de Aguas, conforme a lo establecido en el Decreto 3376/99. Dicho marco normativo determina que toda actividad productiva que requiera aprovechar aguas superficiales o subterráneas debe contar con un permiso específico de uso.

Para la operación de la cantera y de la planta de calcinación, es necesario presentar una solicitud detallando las fuentes de abastecimiento previstas, los volúmenes de consumo y el destino de las descargas. La normativa exige además acreditar que las extracciones no comprometen la sustentabilidad del recurso ni los derechos de terceros usuarios, asegurando una explotación equilibrada.

En paralelo, se requiere la habilitación para el cambio de uso del suelo en la zona rural destinada a la instalación de la planta. Este permiso garantiza la compatibilidad del proyecto con la planificación territorial y con la normativa de ordenamiento local. Implica la adecuación de las actividades a los planes de desarrollo urbano-rural vigentes y a las condiciones de seguridad ambiental.

Asimismo, la modificación del uso de suelo abarca la apertura y mejora de rutas de acceso hacia la cantera y la planta. Este aspecto se encuentra regulado por la autoridad provincial y municipal, ya que impacta directamente en la conectividad, el tránsito y la seguridad vial. Su aprobación es clave para asegurar que las obras de infraestructura asociadas al proyecto se ejecuten de manera controlada y respetando la normativa vigente.

4.4. LICENCIA DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

La licencia municipal constituye la autorización básica para iniciar la construcción y operación de la planta de calcinación dentro del parque industrial de San Antonio de los Cobres. Su tramitación se realiza ante la Municipalidad local, en el marco de las ordenanzas urbanísticas y de edificación que regulan el uso del suelo y la habilitación de obras industriales.

Para su otorgamiento es requisito presentar los planos de las instalaciones y la memoria descriptiva del proyecto, en la que se detalle la distribución de áreas productivas, administrativas y de servicios. Este documento permite a la autoridad municipal evaluar la adecuación de la obra a las normativas de seguridad, higiene y urbanismo.

Otro aspecto esencial es la presentación del certificado de factibilidad de servicios, que debe acreditar la disponibilidad de agua, electricidad y accesibilidad vial para la planta. Este certificado asegura que la infraestructura básica necesaria para el funcionamiento industrial se encuentre garantizada antes de la construcción y puesta en marcha.

La licencia de instalación y operación no solo habilita la construcción de la planta, sino que también condiciona el inicio de actividades productivas al cumplimiento de normas locales en materia de seguridad edilicia, impacto comunitario y compatibilidad con la planificación territorial.

4.5. AUTORIZACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

La autorización para emisiones atmosféricas es un requisito esencial en toda actividad industrial con procesos de combustión, como la calcinación de carbonato de calcio. En la provincia de Salta, el permiso debe tramitarse ante la Secretaría de Ambiente, en cumplimiento de la Ley General del Ambiente (Ley 25.675/2002) [31] y de las normativas ambientales provinciales específicas.

Este permiso establece los límites de emisión permitidos para partículas y gases derivados del proceso productivo, tales como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono. Su objetivo principal es garantizar que la operación industrial se desarrolle en un marco de protección de la calidad del aire y de la salud de las comunidades cercanas.

El trámite exige la presentación de un plan de monitoreo ambiental continuo, en el cual se detalle la metodología de medición de partículas en suspensión, la frecuencia de muestreo de gases

y los parámetros de control utilizados. Dicho plan debe incluir además un programa de mantenimiento de equipos de mitigación, como filtros, ciclones o precipitadores electrostáticos.

Finalmente, la normativa obliga a implementar un sistema de reporte periódico a la autoridad provincial. Este informe debe reflejar los resultados de las mediciones y las acciones correctivas adoptadas. De esta forma, se asegura un control ambiental preventivo y un cumplimiento permanente de los estándares de calidad.

4.6. CONSULTA Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

La consulta y participación comunitaria constituye un eje central en la evaluación ambiental de proyectos mineros, ya que asegura la inclusión de las comunidades en la toma de decisiones. En Argentina, este proceso se encuentra respaldado por el Acuerdo de Escazú, incorporado a la legislación nacional mediante la Ley 27.566/2021 [32], que establece el derecho de acceso a la información ambiental, la participación pública y la justicia en asuntos ambientales.

En el marco del proyecto de extracción y calcinación de carbonato de calcio, se requiere la organización de audiencias públicas y talleres informativos en las localidades de Tolar Grande y San Antonio de los Cobres. Estas instancias deben garantizar la difusión clara de los alcances del proyecto, los impactos potenciales y las medidas de mitigación propuestas, respetando los principios de transparencia y acceso equitativo a la información.

El proceso debe contemplar mecanismos formales de recepción de observaciones y reclamos, de manera que las inquietudes de la comunidad sean registradas y respondidas oportunamente. Esta práctica no solo cumple con las obligaciones legales, sino que también fortalece la aceptación social y la legitimidad del emprendimiento minero.

Finalmente, es necesario documentar las consultas a través de actas oficiales, en las que consten las intervenciones de los participantes y las respuestas de la empresa. Estos registros son parte de los requisitos que deben elevarse a la autoridad ambiental para la aprobación del proyecto, en concordancia con las disposiciones del Acuerdo de Escazú.

4.7. PLANIFICACIÓN Y AUDITORÍAS INTERNAS

La planificación legal del proyecto debe estructurarse a través de un cronograma detallado que vincule cada trámite con sus plazos máximos de gestión. Esta herramienta permite ordenar los

procesos administrativos, evitar superposiciones y asegurar que los permisos y licencias se encuentren vigentes al momento de iniciar la operación industrial.

El cronograma debe contemplar todas las etapas legales: concesión minera, estudios de impacto ambiental, permisos de agua y suelo, habilitaciones municipales, autorizaciones ambientales y certificaciones voluntarias. La secuencia temporal facilita identificar las dependencias entre trámites y los períodos críticos de aprobación.

Asimismo, resulta necesario implementar un sistema de auditoría interna legal, consistente en revisiones periódicas de los requisitos normativos aplicables. Estas auditorías permiten verificar el cumplimiento efectivo, anticipar vencimientos y detectar posibles incumplimientos que puedan derivar en sanciones o demoras administrativas.

4.8. INFORME FINAL Y SEGUIMIENTO

La etapa final del proceso legal implica la elaboración de un Informe de Cumplimiento Legal, en el que se integren todas las autorizaciones, permisos y licencias obtenidas. Este documento consolida la trazabilidad normativa del proyecto y constituye la base para acreditar ante los organismos de control que la empresa cumple con el marco regulatorio vigente.

El informe debe recopilar de manera ordenada las resoluciones administrativas, los certificados de habilitación y las actas correspondientes a instancias de participación comunitaria. Esta consolidación permite disponer de un registro único y verificable, fundamental tanto para auditorías internas como para fiscalizaciones externas.

Asimismo, es necesario establecer un repositorio actualizado de documentación legal, en formato físico y digital, que concentre los antecedentes del proyecto. Este sistema garantiza la disponibilidad de información para consultas rápidas y facilita la transparencia en la gestión de la empresa frente a autoridades, comunidades y clientes.

Por último, se recomienda designar un responsable interno de cumplimiento normativo, encargado de coordinar la actualización de requisitos legales y la relación con las autoridades competentes. De esta forma, se asegura la continuidad del cumplimiento regulatorio y se minimiza el riesgo de contingencias legales a lo largo de la vida útil del emprendimiento.

5. ESTUDIO AMBIENTAL

El estudio ambiental tiene como finalidad identificar, evaluar y gestionar los impactos derivados de las operaciones de calcinación de carbonato de calcio en la planta proyectada en San Antonio de los Cobres. A través de este análisis se establecen los tratamientos necesarios, los focos de impacto a controlar, los valores de referencia admitidos por la normativa vigente y los sistemas de monitoreo que deben aplicarse.

El objetivo principal es identificar los focos de impacto más relevantes derivados de las operaciones de trituración, transporte, calcinación y almacenamiento, con los requerimientos legales establecidos en la Ley General del Ambiente (Ley 25.675) y en la Ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera (Ley 24.585). Esto permite asegurar que la operación se ajuste a estándares ambientales y a principios de sustentabilidad.

El estudio se estructura en función de los principales vectores ambientales: calidad del aire, suelo, residuos y factores antrópicos como ruido y vibraciones. En cada caso se determinan los puntos de emisión o generación, los valores límites de referencia fijados por la normativa y los sistemas de tratamiento y control aplicables.

De esta manera, se busca no solo cumplir con las obligaciones legales, sino también implementar un modelo de gestión ambiental proactivo, que reduzca los riesgos de impacto, promueva la eficiencia en el uso de recursos y asegure la aceptación social del proyecto a lo largo de su vida útil.

5.1. CONTROL Y TRATAMIENTO DE GASES DE COMBUSTIÓN

Durante la etapa de calcinación del carbonato de calcio se produce de manera inevitable la liberación de dióxido de carbono (CO₂), producto directo de la descomposición química.



De la estequiometría se desprende que, por cada tonelada de CaCO₃ calcinado, se liberan aproximadamente 0,44 t de CO₂ como producto inevitable del proceso. En consecuencia, la capacidad de diseño de la planta - 400 t/día de CaCO - generará del orden de 176 t /día de CO₂, asociados exclusivamente a la descomposición química [33].

A estas emisiones se adicionan las derivadas de la combustión del gas natural en los hornos. De acuerdo con los rangos de consumo energético típicos de hornos rotativos modernos (3,5–4,5 GJ/t CaO), se estima un aporte adicional de aproximadamente 45–55 t/día de CO₂ [34]. De esta manera, las emisiones totales del proceso se ubican en un rango de 220 - 230 t /día de CO₂ bajo condiciones operativas eficientes.

En la normativa argentina y provincial vigente, no se establecen límites de chimenea específicos para CO₂, dado que este gas se gestiona en el marco de los compromisos climáticos nacionales y no como contaminante crítico. Los parámetros sujetos a control regulatorio son el material particulado, NO_x, CO y SO_x. En cuanto a los gases de efecto invernadero (GEI), el enfoque se centra en su cuantificación y gestión mediante inventarios corporativos y en la adopción de medidas de mitigación [35 y 36]

Por lo tanto, el proyecto prevé implementar un inventario anual de GEI (alcances 1 y 2) y la evaluación de medidas de reducción progresiva - como mejoras en la eficiencia térmica del horno, optimización del uso de gas natural y, en fases futuras, la incorporación de tecnologías de captura o valorización de CO₂ -, en coherencia con los lineamientos nacionales de acción climática y las mejores prácticas internacionales.

A ello se suman emisiones menores de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), asociados a la combustión del gas natural en los hornos. Si bien este combustible es considerado una alternativa limpia, su control sigue siendo necesario en el marco de la normativa ambiental vigente [37].

La primera medida de mitigación consiste en la utilización de gas natural como fuente energética, lo que permite reducir significativamente las emisiones de SO_x y partículas en comparación con otros combustibles fósiles. Este criterio se encuentra alineado con las políticas nacionales de transición hacia energías más limpias, reconocidas en la Resolución SE 102/2011 de la Secretaría de Energía.

El diseño del horno contempla una cámara de expansión y una chimenea vertical, cuya función es estabilizar el flujo de gases y reducir el arrastre de material particulado primario. Complementariamente, se proyecta la instalación de un sistema de filtración posterior, compuesto por filtros de mangas de limpieza automática, capaces de retener hasta un 99% de las partículas finas emitidas en la combustión.

De manera opcional, se prevé a futuro la incorporación de tecnologías de captura y valorización de CO₂, mediante procesos de carbonatación mineral o acuerdos con empresas de reutilización industrial del gas. Esta estrategia responde a tendencias internacionales de mitigación de gases de efecto invernadero y se enmarca en prácticas de economía circular.

El sistema de control se completa con el monitoreo continuo de emisiones (CEMS) en chimeneas, mediante sensores para partículas y CO₂, y muestreos periódicos para CO y NO_x. Los datos obtenidos deben registrarse y presentarse en informes regulares ante la Secretaría de Ambiente de Salta, conforme a lo establecido en la Resolución 145/2011. De esta forma, se garantiza un control preventivo y transparente del desempeño ambiental del proceso.

5.2. REDUCCIÓN Y CONTROL DEL MATERIAL PARTICULADO

El material particulado constituye uno de los principales focos de impacto ambiental en la industria de la cal, debido a su potencial efecto sobre la salud ocupacional y la calidad del aire en las zonas cercanas. Su control resulta prioritario tanto por exigencia normativa como por responsabilidad social y ambiental de la empresa.

Las fuentes críticas de emisión de polvo se concentran en la trituración primaria y secundaria, el transporte en cintas y zarandas, así como en la descarga de tolvas y carga de camiones. Estas operaciones, al manipular materiales fragmentados, generan partículas finas susceptibles de dispersión atmosférica y deben ser objeto de control localizado.

Las medidas de mitigación comienzan con la instalación de sistemas de captación localizada, mediante campanas de extracción en puntos críticos conectadas a ventiladores centrífugos. Los flujos de aire se conducen hacia ciclones separadores y filtros de mangas, equipos recomendados por la Norma IRAM 80.058 para el control de emisiones de material particulado.

En paralelo, el diseño cerrado y hermético de los puntos de transferencia —tolvas, silos y cintas encapsuladas— reduce de manera significativa la liberación de polvo al ambiente. Asimismo, los finos recuperados se reutilizan como base en zonas de acopio, evitando su dispersión por acción del viento y generando un aprovechamiento interno del material.

Para controlar las fuentes fugitivas, se incorpora un plan de humectación dirigida de caminos internos, aplicando aspersión periódica con especial énfasis en días de viento.

5.3. GESTIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La operación de la planta y sus actividades auxiliares generan diversos tipos de residuos que deben ser gestionados de manera diferenciada. Entre ellos se encuentran el polvo de cal y finos no comercializables, los residuos metálicos derivados de tareas de mantenimiento y los residuos peligrosos como aceites usados, trapos contaminados o filtros de equipos.

La primera medida consiste en la clasificación en origen, mediante la segregación de cada tipo de residuo en recipientes señalizados y diferenciados por color, conforme a las normas de seguridad y a lo establecido en la Ley Nacional 24.051 de Residuos Peligrosos. Esta práctica permite un manejo más seguro y una disposición adecuada de cada corriente generada.

Dentro del predio, los residuos se almacenarán en una zona de acopio segura y techada, equipada con pisos impermeabilizados y canaletas para la recolección de lixiviados. El almacenamiento temporal no podrá exceder los seis meses, de acuerdo con la normativa ambiental vigente, y quedará sujeto a inspecciones de la autoridad competente.

Para la disposición final, los residuos industriales y peligrosos deberán ser retirados por empresas habilitadas y registradas, garantizando su transporte seguro y su tratamiento en plantas autorizadas.

Finalmente, la normativa obliga a llevar un registro documental estricto, mediante el libro de residuos con firma profesional habilitada, así como la presentación de declaraciones juradas periódicas ante el Ministerio de Producción y Desarrollo Sustentable de Salta. Este sistema asegura la trazabilidad de cada corriente residual y el cumplimiento legal del emprendimiento.

5.4. GESTIÓN Y CONTROL DE RUIDOS

Las operaciones de trituración, molienda, transporte de materiales y funcionamiento de hornos generan niveles de ruido que deben ser gestionados para garantizar la salud ocupacional y prevenir molestias en el entorno. Si bien la planta se localiza en el Parque Industrial de San Antonio de los Cobres, en un sector alejado y opuesto al núcleo urbano, resulta igualmente necesario establecer medidas de mitigación y control.

El marco normativo de referencia se encuentra en la Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (Ley 19.587) y en la Resolución SRT 295/2003, que establece un límite de exposición

laboral de 85 dB durante 8 horas diarias. Para el ambiente externo, se adoptan los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que recomiendan no superar los 55 dB diurnos y 45 dB nocturnos en áreas residenciales.

Las medidas de mitigación incluyen el uso de encerramientos acústicos en trituradoras y zarandas, instalación de silenciadores en ventiladores y conductos de aire, y mantenimiento periódico de equipos móviles e industriales. Además, se recomienda la pavimentación o estabilización de caminos internos para reducir ruidos por vibraciones en el transporte de cargas.

Desde la perspectiva de salud ocupacional, se implementará un plan de protección auditiva individual, que contemple la provisión de protectores tipo copa o tapones, junto con capacitaciones en buenas prácticas. A esto se suma la obligación de realizar mediciones periódicas de niveles sonoros en los distintos puestos de trabajo, conforme a lo estipulado en la Resolución SRT 85/2012.

La ubicación estratégica del predio —en el extremo del Parque Industrial y en sentido opuesto al pueblo— actúa como una barrera natural de distancia, reduciendo la propagación del ruido hacia las comunidades cercanas. No obstante, el monitoreo perimetral se mantendrá como medida preventiva para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental.

5.5. EFLUENTES LÍQUIDOS

El proceso productivo proyectado no requiere un consumo significativo de agua ni genera efluentes líquidos de carácter industrial, dado que las operaciones de trituración, calcinación y almacenamiento se desarrollan en condiciones secas.

Los únicos efluentes líquidos previstos corresponden a los servicios sanitarios y al uso habitual del personal de planta. Estos serán derivados al sistema cloacal correspondiente, asegurando su tratamiento conforme a la normativa sanitaria vigente y evitando cualquier riesgo de contaminación del suelo o de las aguas subterráneas.

De esta manera, se garantiza que la operación no represente impactos negativos asociados a descargas líquidas, manteniendo un esquema de gestión ambiental alineado con los principios de prevención y protección integral del recurso hídrico.

5.6. CONSIDERACIONES ADICIONALES Y PLAN DE MEJORA CONTINUA

Como consideración adicional, se proyecta la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en los lineamientos de la ISO 14001 [38]. Este incluirá capacitaciones semestrales para el personal, procedimientos operativos estandarizados para emisiones y residuos, auditorías internas anuales y un manual de contingencias ambientales ante derrames, incendios o liberaciones accidentales.

El plan de mejora continua contempla también el monitoreo permanente de la calidad del aire mediante estaciones perimetrales, así como la creación de canales de comunicación comunitaria y la publicación periódica de informes ambientales. De esta forma, se garantiza no solo el cumplimiento normativo, sino también la generación de confianza y legitimidad social en torno al emprendimiento.

En síntesis, el estudio de ingeniería ambiental confirma la viabilidad del proyecto bajo un esquema de gestión responsable, donde la integración de tecnologías de control, planes de monitoreo y mecanismos de participación ciudadana permiten asegurar la sustentabilidad ambiental, social y económica de la planta en el largo plazo.

6. ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

El presente estudio tiene por finalidad analizar la factibilidad económica-financiera del proyecto de instalación de una planta productora de cal viva. Considerando que se trata de un insumo con presencia consolidada en el mercado, y cuyos precios de venta se sitúan entre los 250 y 400 USD por tonelada, se plantea una estrategia de inserción competitiva que permita captar participación de mercado sin comprometer la rentabilidad del emprendimiento.

En primer lugar, se aborda la estimación de los ingresos proyectados en función de la capacidad productiva de la planta, dado que a partir de este nivel de producción se derivan y calculan los costos directamente relacionados con la operación.

Luego, se desarrollará la estimación de los costos directos, indirectos y administrativos, comerciales asociados a la operación, así como la inversión inicial requerida para la adquisición e instalación de los equipos, incluyendo su correspondiente análisis de amortización.

Con base en esta información, se elabora el flujo de fondos proyectado, sobre el cual se aplican indicadores de evaluación económica como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), a fin de determinar la conveniencia del proyecto.

Finalmente, se analizan posibles alternativas de financiamiento para su implementación y el flujo de fondos del inversionista como así también sus indicadores de evaluación económica.

6.1. INVERSIÓN FIJA TOTAL

La inversión total corresponde al conjunto de recursos económicos necesarios para poner en marcha la planta de calcinación, abarcando desde la adquisición de equipos productivos hasta la provisión de mobiliario, herramientas de seguridad e instalaciones auxiliares. Este concepto incluye tanto los activos tangibles indispensables para la operación como un margen destinado a imprevistos, garantizando la solidez financiera del emprendimiento.

En el caso del presente proyecto, la inversión total estimada asciende a USD 5.602.303, valor que contempla los activos fijos y un 20 % adicional para contingencias. Dentro de esta estructura, los componentes más relevantes corresponden a los equipos de proceso, con una inversión de USD 4.634.242.

Dentro de este rubro, los ítems más significativos en términos económicos y operativos corresponden a la construcción de la planta (USD 1.582.000) y al tendido de gas (USD 1.050.000), ya que ambos constituyen la base de la infraestructura productiva y energética del proyecto. A ello se suma la puesta en marcha (USD 140.000), necesaria para asegurar la correcta instalación y calibración de todos los equipos.

Por su parte, los hornos de calcinación representan un componente esencial, con una inversión de USD 100.000, al ser el núcleo del proceso productivo. En conjunto con las cintas transportadoras (USD 84.000) y los tornillos sin fin (USD 80.000), definen la continuidad del flujo de materiales y, en consecuencia, la eficiencia operativa de la planta. Finalmente, se destacan las cargadoras frontales (USD 56.000) y los silos intermedios (USD 43.250), que permiten una gestión adecuada de los materiales, contribuyendo a la flexibilidad y seguridad del proceso.

Una vez identificados los equipos requeridos, se procedió a calcular el costo de importarlos hasta Salta, Argentina. Este cálculo incluye los valores FOB, los costos de flete y seguro, así como los impuestos y tasas aplicables en aduana. En la Tabla 4, se detalla el desglose de estos costos, ofreciendo una visión clara del valor final de la importación. Se debe tener en cuenta que los ítems importados van desde el número 1, que se ve en la Tabla 3, hasta el número 19, ya que el resto son proveedores locales.

Tabla 3. Equipos: cantidad y costos.

ÍTEM	Inversión en Producción	Cantidad	UNIDAD	P. UNIT. USD	Total
1	Trituradora de mandíbula	1	Unidad	USD 22.000	USD 22.000
2	Trituradora 2	1	Unidad	USD 21.000	USD 21.000
3	Cintas transportadoras	7	Unidad	USD 12.000	USD 84.000
4	Tamiz	1	Unidad	USD 17.000	USD 17.000
5	Hornos	2	Unidad	USD 50.000	USD 100.000
6	Tornillos sin fin - Transporte	4	Unidad	USD 20.000	USD 80.000
7	Elevador de cangilones - Transporte	3	Unidad	USD 7.000	USD 21.000
8	Trituradora de cono	1	Unidad	USD 20.000	USD 20.000
9	Zaranda final	1	Unidad	USD 5.000	USD 5.000
10	Silos de producto intermedio	1	Unidad	USD 43.250	USD 43.250
11	Silos de despacho	1	Unidad	USD 35.000	USD 35.000
12	Ventiladores centrífugos	3	Unidad	USD 630	USD 1.890
13	Campanas de extracción de polvos	5	Unidad	USD 1.565	USD 7.825
14	Ciclón	1	Unidad	USD 2.250	USD 2.250
15	Filtros de mangas	1	Unidad	USD 4.900	USD 4.900
16	PLC	1	Unidad	USD 20.500	USD 20.500
17	Cargadoras frontales	2	Unidad	USD 28.000	USD 56.000
18	Tanque MOSS	1	Unidad	USD 5.000	USD 5.000
19	Planta reguladora de gas	1	Unidad	USD 8.300	USD 8.300
20	Tendido de gas	300	Metros	USD 3.500	USD 1.050.000
21	Camionetas	4	Unidad	USD 55.519	USD 222.076
22	Construcción Planta	2000	Metros cuadrados	USD 791	USD 1.582.000
23	Puesta en marcha	1	Unidad	USD 140.000	USD 140.000
TOTALES					USD 554.915

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Costos de importación.

CALCULO DEL COSTO DE IMPORTACIÓN (Valores en Dolares)		
VALOR CIF (Costo FOB + Flete + Seguro)		
Valor FOB	USD 554.915	
Flete	USD 11.400	1x20Ft container
Valor CFR	USD 566.315	
Valor seguro internacional	USD 5.663	1% de CFR
Valor CIF	USD 571.978	
DERECHO DE IMPORTACIÓN		
Derecho de importación	USD 200.192	35% de CIF
Tasa de estadística	USD 2.860	0,5% de CIF
BASE IVA (Base imponible + Derechos + Tasa estadística)		
Base imponible	USD 571.978	Valor CIF
Derecho de importación	USD 200.192	
Tasa de estadística	USD 2.860	
Base IVA	USD 775.030	
ALÍCUOTAS GENERALES		
Base imponible	USD 571.978	
Derecho de importación	USD 200.192	
Tasa de estadística	USD 2.860	
Base IVA	USD 775.030	
IVA	USD 162.756	21%
IVA Adicional	USD 155.006	20%
Impuesto a las Ganancias	USD 46.502	6%
Ingresos Brutos	USD 23.251	3%
Tasa de oficialización de aduana	USD 10	
Tasa de digitalización de aduana	USD 28	
PAGO EN ADUANA		
Derecho de importación	USD 200.192	
Tasa de estadística	USD 2.860	
IVA	USD 162.756	
IVA Adicional	USD 155.006	
Impuesto a las Ganancias	USD 46.502	
Ingresos Brutos	USD 23.251	
Tasa de oficialización de aduana	USD 10	
Tasa de digitalización de aduana	USD 28	
Total a pagar en Aduana	USD 590.605	
VALOR TOTAL DE IMPORTACIÓN		
Valor CIF	USD 571.978	
Total a pagar en Aduana	USD 590.605	
Transporte Bs. As. - Salta	USD 20.000	
Otros*	USD 457.583	80% de CIF
Total en dólares	USD 1.640.166	
Valor del dólar oficial	USD 1.360	07/06/2025
Total en pesos argentinos	\$ 2.230.625.909,43	

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de las Tablas 3 y 4 se desprende que, si bien el valor de los equipos en origen no resulta elevado en términos relativos, los costos asociados a la importación generan un incremento significativo en la inversión final. A los precios FOB de los bienes se suman gastos de flete internacional, seguro, derechos de importación, impuestos y tasas aduaneras, los cuales representan una proporción considerable del desembolso total.

En este sentido, se observa que el monto a pagar en concepto de tributos e impuestos aduaneros supera ampliamente el valor de los equipos adquiridos, configurándose como el principal factor que encarece la operación. De esta manera, la diferencia entre el valor FOB y el costo total de los equipos puestos en el país evidencia que el encarecimiento no radica en el precio de la maquinaria en sí, sino en la estructura impositiva y logística vinculada al proceso de importación.

A continuación, la Tabla 5 detalla la inversión necesaria en mobiliario y equipamiento de oficinas, contemplando los ítems principales requeridos para el correcto funcionamiento administrativo y operativo del proyecto, por un total de 27.949 USD, destinado a oficinas y espacios de servicio.

Tabla 5. Mobiliarios: cantidad y costos.

MOBILIARIO Y EQUIPAMIENTO			
Ítem	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Mesas	6	\$ 166.000	\$ 996.000
Escritorio	6	\$ 92.000	\$ 552.000
Taburetes	6	\$ 73.500	\$ 441.000
Sofá	3	\$ 350.000	\$ 1.050.000
Sillón en L	2	\$ 612.000	\$ 1.224.000
Sillón oficina	6	\$ 60.000	\$ 360.000
PC de escritorio	7	\$ 922.000	\$ 6.454.000
TV Smart	2	\$ 720.000	\$ 1.440.000
Aire acondicionado	9	\$ 710.000	\$ 6.390.000
Cocina	1	\$ 470.000	\$ 470.000
Heladera	2	\$ 690.000	\$ 1.380.000
Microondas	1	\$ 467.000	\$ 467.000
Impresora Multifunción	4	\$ 488.000	\$ 1.952.000
Computadoras portátiles	15	\$ 989.000	\$ 14.835.000
TOTAL EN \$			\$ 38.011.000
VALOR DÓLAR			\$ 1.360
TOTAL EN USD			USD 27.949

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente Tabla presenta la inversión destinada a herramientas y elementos de seguridad, fundamentales para garantizar condiciones adecuadas de trabajo y el cumplimiento de las normativas vigentes en materia de higiene y seguridad laboral.

Tabla 6. Herramientas y seguridad.

HERRAMIENTAS Y SEGURIDAD			
Ítem	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Matafuegos de 5 Kg. Clase ABC con Sello IRAM	10	\$ 87.500	\$ 875.000
Gabinete para Matafuego	10	\$ 26.000	\$ 260.000
Cartelería de seguridad	10	\$ 7.000	\$ 70.000
Iluminación de emergencia	10	\$ 11.000	\$ 110.000
Cascos	27	\$ 50.000	\$ 1.350.000
Guantes	27	\$ 4.000	\$ 108.000
Botines de Seguridad	27	\$ 80.000	\$ 2.160.000
Faja Lumbar	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Protectores auditivos	27	\$ 82.000	\$ 2.214.000
Ropa de trabajo	27	\$ 50.000	\$ 1.350.000
TOTAL EN \$			\$ 8.697.000
VALOR DÓLAR			\$ 1.360
TOTAL EN USD			USD 6.395

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, la inversión total no solo representa la base económica para iniciar la operación, sino que también refleja la importancia de equilibrar tecnología de proceso, infraestructura de apoyo y medidas de seguridad, asegurando la viabilidad técnica y legal del emprendimiento. En la Tabla 7 se puede observar que los mayores costos incurren en la adquisición de maquinarias, que representan la parte más significativa de la inversión en activos tangibles. El resto de los rubros, como mobiliario y equipamiento de oficina y herramientas y seguridad, implican montos menores en comparación, aunque igualmente necesarios para garantizar tanto el correcto funcionamiento administrativo como el cumplimiento de las condiciones de seguridad laboral. De esta manera, el total de la inversión en activos tangibles asciende a USD 4.668.586.

Tabla 7. Inversión en activos tangibles.

ACTIVOS TANGIBLES	
RUBRO	PRECIO USD
Maquinaria	USD 4.634.242
Mobiliarios y equipamiento	USD 27.949
Herramientas y seguridad	USD 6.395
TOTAL	USD 4.668.586

Fuente: Elaboración propia.

La inversión fija total del proyecto está compuesta por los activos tangibles necesarios para su puesta en marcha y correcto funcionamiento, alcanzando un valor de USD 4.668.586. Este monto incluye la adquisición de equipos, mobiliario, herramientas e instalaciones previamente detalladas, que constituyen la base material indispensable para desarrollar las actividades productivas y administrativas.

Adicionalmente, se ha considerado un rubro de imprevistos equivalente al 20% del subtotal, como se mencionó anteriormente, lo que representa USD 933.717. Este concepto tiene como finalidad cubrir posibles variaciones de precios, ajustes técnicos o gastos no contemplados inicialmente, asegurando de esta manera una mayor solidez financiera y capacidad de respuesta ante contingencias.

En consecuencia, la inversión fija total estimada para el proyecto asciende a USD 5.602.303, como se muestra en la Tabla 8, reflejando de manera integral el capital requerido para garantizar su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

Tabla 8. Inversión fija total.

INVERSIÓN FIJA TOTAL	
Activos Tangibles	USD 4.668.586
SUBTOTAL	USD 4.668.586
Imprevistos (20%)	USD 933.717
TOTAL	USD 5.602.303

Fuente: Elaboración propia.

6.2. DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIONES

Las amortizaciones y depreciaciones constituyen un mecanismo contable que permite distribuir en el tiempo el costo de los activos fijos adquiridos para la planta. Este procedimiento refleja la pérdida de valor que experimentan los bienes a medida que transcurre su vida útil, ya sea por desgaste físico, obsolescencia tecnológica o uso intensivo dentro del proceso productivo.

En el presente proyecto, se ha considerado la depreciación de los equipos de proceso, el mobiliario, las herramientas de seguridad y demás activos tangibles. Los cálculos correspondientes se encuentran detallados en el cuadro de amortizaciones, donde se establece el valor de reposición a lo largo de los años de operación previstos.

De esta manera, las amortizaciones no representan una erogación de efectivo inmediata, pero sí impactan en los estados financieros del emprendimiento, al formar parte de los costos operativos. Su inclusión en el análisis económico asegura una estimación más realista de la rentabilidad del proyecto, contemplando la reposición futura de los bienes críticos que sostienen la producción de óxido de calcio.

Tabla 9. Depreciaciones y amortizaciones.

DEPRECIACION Y AMORTIZACION												
ACTIVOS	Periodo vida útil	Valor del activo	PERIODOS									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maquinaria e insumos	10	USD 4.634.242,1	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2	USD 463.424,2
Mobiliarios y equipamiento	10	USD 27.949,3	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9	USD 2.794,9
Herramientas y seguridad	5	USD 6.394,9	USD 1.279,0	USD 1.279,0	USD 1.279,0	USD 1.279,0	USD 1.279,0					
TOTAL			USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1

Fuente: Elaboración propia.

6.3. INGRESOS OPERATIVOS

La estimación de los ingresos del proyecto se encuentra directamente vinculada al nivel de uso de la capacidad productiva de la planta. En este sentido, se ha considerado un esquema de crecimiento progresivo en la operación, asociado a la curva de aprendizaje y la consolidación en el mercado.

Durante el primer año de operación, se proyecta alcanzar un nivel de utilización equivalente al 50% de la capacidad instalada, contemplando que en esta etapa inicial el proceso de producción se verá condicionado por la adaptación de los equipos, la formación del personal y la consolidación de las primeras relaciones comerciales.

A partir del segundo año y hasta el séptimo año, se prevé un incremento en la utilización de la capacidad productiva hasta un 70%, reflejando una mayor estabilidad operativa, la madurez de los procedimientos internos y el fortalecimiento de la posición competitiva en el mercado.

En el octavo, noveno y décimo año, la operación alcanzará un nivel de 100% de la capacidad instalada, reflejando un desempeño pleno de la planta, en el cual las curvas de eficiencia y aprendizaje permiten sostener los volúmenes de producción.

En cuanto al precio de venta, se ha considerado un valor inicial de 160 USD por tonelada de cal viva en el primer año de operación, para una inserción en el mercado, estableciendo un incremento del 10% anual en todos los períodos siguientes. Este ajuste refleja tanto la evolución esperada del mercado como la necesidad de preservar la rentabilidad frente a la inflación.

Cabe destacar que, si bien en determinados períodos podría alcanzarse un nivel de operación superior al estimado, se ha optado por desarrollar el estudio económico-financiero considerando el peor escenario posible. Esta decisión responde a un criterio de prudencia, con el fin de evitar sobreestimaciones en los ingresos proyectados y garantizar que los indicadores de rentabilidad resulten representativos incluso bajo condiciones conservadoras.

Tabla 10. Ingresos por ventas.

INGRESOS POR VENTAS										
RUBRO	PERIODOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Unidades vendidas (t)	36.000	50.400	50.400	50.400	50.400	50.400	50.400	72.000	72.000	72.000
Precio de la unidad USD	160,0	176,0	193,6	213,0	234,3	257,7	283,4	311,8	343,0	377,3
TOTAL USD	5.760.000	8.870.40	9.757.44	10.733.18	11.806.50	12.987.15	14.285.87	22.449.22	24.694.14	27.163.55

Fuente: Elaboración propia.

6.4. CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS

Para evaluar integralmente la viabilidad económico-financiera del proyecto, se realiza la identificación y clasificación de los costos correspondientes a las dos etapas principales del proceso productivo: la extracción de la piedra caliza en Tolar Grande y la posterior producción de cal viva en la planta ubicada en San Antonio de los Cobres.

La clasificación se organiza en costos variables, cuya magnitud depende directamente del volumen de producción, y costos fijos, que permanecen relativamente constantes en el corto plazo. Esta distinción resulta fundamental para la elaboración del flujo de fondos proyectado y para el análisis de indicadores económicos.

6.4.1. Costos directos de fabricación

Los costos de fabricación directos comprenden aquellos gastos que pueden asociarse de manera inequívoca a la producción de cal viva, tanto desde el punto de vista de los insumos físicos como del recurso humano directamente involucrado en el proceso. Dentro de esta categoría se contemplan principalmente los costos de materia prima y la mano de obra directa [39].

La materia prima principal en este proyecto es la piedra caliza, la cual se obtiene del yacimiento “Silvana Daisy”, ubicado en la zona de Tolar Grande. Su transformación en óxido de calcio (CaO) ocurre en la planta industrial situada en San Antonio de los Cobres. El proceso de aprovisionamiento incluye dos etapas críticas que son contratadas y presentan comportamiento variable en función del volumen de producción:

A) Materia Prima

Extracción: La extracción de la roca caliza se realizará mediante servicios de voladura contratados a empresas especializadas. El costo estimado por tonelada extraída es de 1,38 USD/t [40], valor que se considera competitivo para el contexto geográfico y operativo del proyecto.

Transporte: El traslado del material desde el yacimiento hasta la planta de calcinación se efectuará mediante camiones tolva contratados. Cada viaje tiene un costo unitario de 936,17 USD y permite transportar aproximadamente 28 toneladas de piedra caliza.

Tabla 11. Costos de materia prima.

	Costo unitario x tonelada	Consumo mensual (cantidad)	Costo mensual en USD	Costo anual en USD
Extracción	USD 1,4	12000,00	USD 16.560,0	USD 198.720,0
Transporte de Tolar Grande a San Antonio de los Cobres	USD 936,2	450,00	USD 421.276,5	USD 5.055.318,0
Total	USD 5.254.038,0			

Fuente: Elaboración propia.

B) Mano de obra directa

La mano de obra directa está conformada por el personal asignado a funciones productivas esenciales dentro de la planta de calcinación. Este grupo incluye a los operarios de producción en hornos y molienda, personal de mantenimiento, y los equipos de calidad y laboratorio, cuya presencia es indispensable para garantizar la continuidad operativa y la calidad del producto final.

Dado que estas actividades se encuentran directamente relacionadas con el volumen de producción diaria (200 toneladas de cal viva de capacidad instalada), y requieren una cobertura operativa permanente bajo régimen de turnos rotativos, su clasificación como costo directo está plenamente justificada.

En conjunto, los costos de fabricación directos representan una proporción significativa del costo operativo total del proyecto, con una alta dependencia de variables de producción como el volumen de materia prima movilizada y la eficiencia logística entre Tolar Grande y San Antonio de los Cobres.

A partir del análisis detallado de los insumos productivos, se elaboró el siguiente cuadro que resume los costos de fabricación directos proyectados para los diez períodos del horizonte de evaluación. Este cuadro refleja la evolución esperada de los costos a lo largo del tiempo, en función del incremento progresivo de los costos anuales de un 10%.

Se debe tener en cuenta que los costos de materia prima aumentan de manera que aumenta el nivel de producción, tal como se detalla anteriormente en los ingresos operativos. La capacidad instalada de la planta se alcanza en el año número 8 del proyecto. Por otra parte, la mano de obra directa aumenta un 10% anual, considerando una inflación de igual magnitud, teniendo en cuenta que el personal para producir en el año 1, con un nivel de producción del 50% de la capacidad instalada, es igual que el necesario para producir al 100% de la capacidad instalada a partir del año 8.

Tabla 12. Costos directos de fabricación.

CONCEPTO	PERIODOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Materia Prima	USD 2.627.019,0	USD 3.677.826,6	USD 3.677.826,6	USD 3.677.826,6	USD 3.677.826,6	USD 3.677.826,6	USD 3.677.826,6	USD 5.254.038,0	USD 5.254.038,0	USD 5.254.038,0
Mano de obra directa	USD 458.620,5	USD 504.482,6	USD 554.930,8	USD 610.423,9	USD 671.466,3	USD 738.612,9	USD 812.474,2	USD 893.721,6	USD 983.093,8	USD 1.081.403,1
TOTAL	USD 3.085.639,5	USD 4.182.309,2	USD 4.232.757,4	USD 4.288.250,5	USD 4.349.292,9	USD 4.416.439,5	USD 4.490.300,8	USD 6.147.759,6	USD 6.237.131,8	USD 6.335.441,1

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2. Costos indirectos de fabricación

Dentro de la estructura de costos del proyecto, se identifican como costos de fabricación indirectos aquellos que, si bien están asociados al funcionamiento y operación de la planta de calcinación, no pueden vincularse de forma directa a una unidad específica de producción. Estos costos son esenciales para sostener las condiciones operativas de la planta y garantizar su rendimiento técnico, logístico y sanitario [39].

En primer lugar, se incluyen los costos de insumos y servicios operativos, tales como:

- Gas natural: necesario para alimentar el proceso de calcinación en los hornos rotatorios.
- Electricidad: utilizada en el funcionamiento de las trituradoras, zarandas, transportadores y equipos auxiliares.
- Agua industrial: destinada a tareas de limpieza, refrigeración puntual y uso sanitario.
- Conectividad y comunicaciones: cubriendo los gastos asociados al servicio de internet y red interna, fundamentales para la operación y el monitoreo en planta.

Estos servicios representan un costo continuo a lo largo del año y son insumos críticos para la operatividad de la planta, aunque no varían directamente con la cantidad de toneladas producidas. Por este motivo, su clasificación como costos indirectos de fabricación resulta técnicamente adecuada.

En segundo lugar, se consideran los servicios contratados de soporte operativo que, si bien no intervienen directamente en el proceso productivo, resultan imprescindibles para su habilitación, gestión y control:

- Servicios legales y contables: apoyo normativo y financiero que permite la operatoria formal del proyecto.
- Departamento de higiene y seguridad: para garantizar el cumplimiento de la legislación vigente y la protección del personal.
- Servicios de limpieza industrial: esenciales para mantener condiciones operativas adecuadas y evitar acumulación de polvo o materiales residuales que puedan afectar la eficiencia del proceso.

La decisión de contratar estas funciones responde a criterios de eficiencia operativa y flexibilidad organizacional, ya que evita la necesidad de mantener personal propio en áreas que no requieren presencia permanente o especializada en cal.

En resumen, los costos de fabricación indirectos contemplan tanto consumos físicos necesarios para el funcionamiento técnico de la planta como servicios profesionales de apoyo, y son parte fundamental para garantizar la continuidad operativa, el cumplimiento normativo y la seguridad en el entorno industrial de San Antonio de los Cobres.

Tabla 13. Costos de fabricación indirectos.

CONCEPTO	PERIODO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mantenimiento	USD 150.000,0	USD 165.000,0	USD 181.500,0	USD 199.650,0	USD 219.615,0	USD 241.576,5	USD 265.734,2	USD 292.307,6	USD 321.538,3	USD 353.692,2
Materiales Indirectos	USD 150.000,0	USD 165.000,0	USD 181.500,0	USD 199.650,0	USD 219.615,0	USD 241.576,5	USD 265.734,2	USD 292.307,6	USD 321.538,3	USD 353.692,2
Mano de obra de administración	USD 68.850,0	USD 75.735,0	USD 83.308,5	USD 91.639,4	USD 100.803,3	USD 110.883,6	USD 121.972,0	USD 134.169,2	USD 147.586,1	USD 162.344,7
Mano de Obra Indirecta	USD 68.850,0	USD 75.735,0	USD 83.308,5	USD 91.639,4	USD 100.803,3	USD 110.883,6	USD 121.972,0	USD 134.169,2	USD 147.586,1	USD 162.344,7
Alquiler	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0	USD 0,0
Internet WI FI	USD 600,0	USD 660,0	USD 726,0	USD 798,6	USD 878,5	USD 966,3	USD 1.062,9	USD 1.169,2	USD 1.286,2	USD 1.414,8
Energía Eléctrica	USD 224.866,2	USD 247.352,8	USD 272.088,1	USD 299.296,9	USD 329.226,6	USD 362.149,2	USD 398.364,2	USD 438.200,6	USD 482.020,6	USD 530.222,7
Agua	USD 3.865,2	USD 4.251,7	USD 4.676,9	USD 5.144,6	USD 5.659,0	USD 6.224,9	USD 6.847,4	USD 7.532,2	USD 8.285,4	USD 9.113,9
GAS	USD 528.840,0	USD 581.724,0	USD 639.896,4	USD 703.886,0	USD 774.274,6	USD 851.702,1	USD 936.872,3	USD 1.030.559,6	USD 1.133.615,5	USD 1.246.977,1
Costos generales indirectos	USD 229.331,4	USD 252.264,5	USD 277.491,0	USD 305.240,1	USD 335.764,1	USD 369.340,5	USD 406.274,5	USD 446.902,0	USD 491.592,2	USD 540.751,4
TOTAL	USD 448.181,4	USD 492.999,5	USD 542.299,5	USD 596.529,4	USD 656.182,4	USD 721.800,6	USD 793.980,7	USD 873.378,7	USD 960.716,6	USD 1.056.788,3

Fuente: Elaboración propia.

6.4.3. Costos administrativos y comerciales

Representan aquellos gastos asociados al funcionamiento institucional del proyecto y a las actividades destinadas a facilitar la comercialización del producto, sin tener una relación directa con el proceso productivo.

Dado el enfoque operativo adoptado, se ha decidido externalizar la mayor parte de las funciones del área comercial, incluyendo la gestión de ventas, logística de distribución y atención al cliente. Esto permite reducir la estructura interna de personal y concentrar los recursos en actividades de producción y control de calidad.

En consecuencia, dentro de esta categoría solo se contemplan los siguientes costos:

a) Sueldo del personal administrativo

Se prevé la incorporación de un administrativo/pañolero, cuya función principal será el control de stock, registro de insumos, seguimiento de documentación y soporte básico de gestión dentro de la planta. Este puesto opera bajo modalidad de turnos rotativos y constituye el único recurso humano permanente asignado a tareas administrativas internas.

b) Costos de publicidad

Con el objetivo de posicionar la empresa en el mercado y generar reconocimiento de marca entre los principales actores del sector minero, se destinan recursos específicos a acciones de promoción y visibilidad comercial, tales como participación en ferias industriales, desarrollo de piezas gráficas, contacto con clientes potenciales y presencia institucional en medios digitales especializados.

El resto de las tareas de comercialización serán provistas por servicios externos, mediante acuerdos con representantes y gestores comerciales con experiencia en el rubro de abastecimiento minero. Esta estrategia busca garantizar un acceso profesionalizado al mercado sin sobredimensionar la estructura interna.

Tabla 14. Costos administrativos y comerciales.

CONCEPTO	GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y VENTAS									
	PERIODO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MO Comercialización	USD 43.134,0	USD 47.447,4	USD 52.192,1	USD 57.411,4	USD 63.152,5	USD 69.467,7	USD 76.414,5	USD 84.056,0	USD 92.461,6	USD 101.707,7
Publicidad	USD 24.000,0	USD 26.400,0	USD 29.040,0	USD 31.944,0	USD 35.138,4	USD 38.652,2	USD 42.517,5	USD 46.769,2	USD 51.446,1	USD 56.590,7
Gastos de Ventas	USD 67.134,0	USD 73.847,4	USD 81.232,1	USD 89.355,4	USD 98.290,9	USD 108.120,0	USD 118.932,0	USD 130.825,2	USD 143.907,7	USD 158.298,5
Materiales y útiles de oficina	USD 43.134,0	USD 47.447,4	USD 52.192,1	USD 57.411,4	USD 63.152,5	USD 69.467,7	USD 76.414,5	USD 84.056,0	USD 92.461,6	USD 101.707,7
Capacitación	USD 24.000,0	USD 26.400,0	USD 29.040,0	USD 31.944,0	USD 35.138,4	USD 38.652,2	USD 42.517,5	USD 46.769,2	USD 51.446,1	USD 56.590,7
Gastos generales	USD 67.134,0	USD 73.847,4	USD 81.232,1	USD 89.355,4	USD 98.290,9	USD 108.120,0	USD 118.932,0	USD 130.825,2	USD 143.907,7	USD 158.298,5
TOTAL	USD 112.134,0	USD 123.347,4	USD 135.682,1	USD 149.250,4	USD 164.175,4	USD 180.592,9	USD 198.652,2	USD 218.517,4	USD 240.369,2	USD 264.406,1

Fuente: Elaboración propia.

6.5. CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo corresponde a los recursos financieros necesarios para cubrir las obligaciones corrientes del proyecto y garantizar la continuidad operativa de la planta durante sus primeras etapas. Este concepto incluye los fondos destinados al pago de salarios, servicios, materias auxiliares, transporte y otros gastos que no forman parte de la inversión fija, pero que resultan indispensables para el funcionamiento cotidiano del emprendimiento.

En el caso de este proyecto, se ha realizado una estimación del capital de trabajo considerando los requerimientos iniciales de operación y mantenimiento. Dichos valores se encuentran detallados en la Tabla 15, donde se especifican los principales rubros contemplados y los montos asignados a cada uno de ellos.

El capital de trabajo no constituye un gasto definitivo, sino un financiamiento temporal que permite sostener las operaciones hasta alcanzar un flujo de ingresos estable. Su correcta planificación es esencial para asegurar que la planta pueda cubrir sus compromisos inmediatos, evitando interrupciones en la producción de óxido de calcio y garantizando la viabilidad financiera del emprendimiento.

Tabla 15. Capital de trabajo.

CAPITAL DEL TRABAJO	
Rubro	Periodo 1
	Costo anual
Materia Prima	USD 2.627.019,0
Mano de Obra Directa	USD 458.620,5
Insumos	USD 0,0
Mantenimiento	USD 150.000,0
Mano de Obra Indirecta	USD 68.850,0
Alquiler	USD 0,0
Internet WI FI	USD 600,0
Energía Eléctrica	USD 224.866,2
Agua	USD 3.865,2
Gas	USD 528.840,0
Mano de obra comercialización	USD 43.134,0
Publicidad	USD 24.000,0
Material y útiles de oficina	USD 15.000,0
Capacitación	USD 30.000,0
Costo Total Anual	USD 4.174.794,9

	1° Etapa
Costo Total Anual	USD 4.174.794,9
Costo Diario	USD 11.437,8
Capital de Trabajo (2 meses, 60 días)	USD 686.267,7
CAPITAL DE TRABAJO	USD 686.267,7

Fuente: Elaboración propia.

6.6. FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO

El análisis financiero del proyecto se estructuró en base a un flujo de fondos proyectado a 10 años, contemplando los ingresos y egresos asociados a la extracción y operación de la planta de producción de cal viva, desde su puesta en marcha hasta su consolidación productiva.

La estructura del flujo de fondos incluye las siguientes categorías principales:

- A) Los ingresos se basan en la venta con un precio inicial de 160 USD/t y un aumento anual del 10%. La producción seguirá una curva de utilización progresiva: 50% en el primer año, 70% del segundo al séptimo, 100% en los años ocho, nueve y diez. Este esquema responde a la curva de aprendizaje y se considera bajo un escenario conservador para evitar sobreestimaciones.
- B) Costos de fabricación directos, costos de fabricación indirectos y costos administrativos y de venta, los cuales han sido detallados en secciones anteriores.
- C) La inversión fija inicial, correspondiente a los activos productivos necesarios para la instalación y operación de la planta, también ya descrita previamente.
- D) Se incorpora la amortización contable de los activos productivos incluidos en la inversión fija, con el objetivo de reflejar la depreciación económica de los bienes de capital en el horizonte de análisis.

Esta estructura permite evaluar la viabilidad económica del proyecto y servirá como base para el cálculo de los principales indicadores financieros, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recupero de la inversión.

Tabla 16. Flujo de fondos del proyecto.

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		USD 5.760.000,0	USD 8.870.400,0	USD 9.757.440,0	USD 10.733.184,0	USD 11.806.502,4	USD 12.987.152,6	USD 14.285.867,9	USD 22.449.221,0	USD 24.694.143,1	USD 27.163.557,4
COSTOS DE FAB. DIRECTOS		-USD 3.085.639,5	-USD 4.182.309,2	-USD 4.232.757,4	-USD 4.288.250,5	-USD 4.349.292,9	-USD 4.416.439,5	-USD 4.490.300,8	-USD 6.147.759,6	-USD 6.237.131,8	-USD 6.335.441,1
COSTOS DE FAB. INDIRECTOS		-USD 448.181,4	-USD 492.999,5	-USD 542.299,5	-USD 596.529,4	-USD 656.182,4	-USD 721.800,6	-USD 793.980,7	-USD 873.378,7	-USD 960.716,6	-USD 1.056.788,3
GASTOS DE ADM. Y VENTAS		-USD 112.134,0	-USD 123.347,4	-USD 135.682,1	-USD 149.250,4	-USD 164.175,4	-USD 180.592,9	-USD 198.652,2	-USD 218.517,4	-USD 240.369,2	-USD 264.406,1
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO		USD 1.646.547,0	USD 3.604.245,8	USD 4.379.202,9	USD 5.231.655,6	USD 6.169.353,7	USD 7.202.100,5	USD 8.336.715,1	USD 14.743.346,1	USD 16.789.706,4	USD 19.040.702,8
IMPUESTO 35%		-USD 576.291,5	-USD 1.261.486,0	-USD 1.532.721,0	-USD 1.831.079,5	-USD 2.159.273,8	-USD 2.520.735,2	-USD 2.917.850,3	-USD 5.160.171,1	-USD 5.876.397,2	-USD 6.664.246,0

UTILIDAD NETA		USD 1.070.255,6	USD 2.342.759,8	USD 2.846.481,9	USD 3.400.576,2	USD 4.010.079,9	USD 4.681.365,3	USD 5.418.864,8	USD 9.583.175,0	USD 10.913.309,2	USD 12.376.456,8
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1
INVERSION INICIAL	-USD 5.602.303,5										
CAPITAL DE TRABAJO	-USD 686.267,7										
RECUPERO DE CAPITAL DE TRABAJO											-USD 686.267,7
VALOR DE DESECHO											-USD 10.957.157,4
FLUJO DE CAJA	-USD 6.288.571,1	USD 1.537.753,7	USD 2.810.257,9	USD 3.313.980,0	USD 3.868.074,3	USD 4.477.578,0	USD 5.147.584,4	USD 5.885.084,0	USD 10.049.394,1	USD 11.379.528,3	USD 12.842.675,9
FLUJO ACUMULADO	-USD 6.288.571,1	-USD 4.750.817,5	-USD 1.940.559,6	USD 1.373.420,4	USD 5.241.494,7	USD 9.719.072,7	USD 14.866.657,1	USD 20.751.741,1	USD 30.801.135,2	USD 42.180.663,5	USD 55.023.339,4

Fuente: Elaboración propia.

6.6.1. Indicadores de rentabilidad

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto y su capacidad de generar valor a lo largo del tiempo, se calcularon dos indicadores fundamentales: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores permiten estimar la rentabilidad esperada del proyecto en relación con la inversión inicial y los flujos de fondos futuros proyectados.

El cálculo se realizó, utilizando como tasa de descuento una Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) del 35 % anual, valor que representa el costo de oportunidad del capital considerando el riesgo propio de un emprendimiento industrial en un entorno geográfico exigente como el de la Puna salteña.

A partir del flujo de fondos elaborado, que contempla ingresos por venta de cal viva y egresos por costos operativos, inversión inicial, amortizaciones y mantenimiento, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de USD 3.786.721,2. Este resultado indica que el proyecto, luego de recuperar toda la inversión y descontar sus flujos a valor presente, generará un excedente económico neto superior a los cuatro millones de dólares. En términos financieros, un VAN positivo de esta magnitud no sólo valida la viabilidad del proyecto, sino que confirma su capacidad de generar valor real para los inversores.

En complemento, se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR), que resultó ser de 50 % anual. Este indicador refleja la tasa de rentabilidad implícita en el proyecto, es decir, la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos con el de los egresos. Una TIR de este nivel, significativamente superior a la TMAR, demuestra una alta eficiencia del capital invertido y una recuperación acelerada de la inversión.

En resumen, tanto el VAN como la TIR respaldan sólidamente la conveniencia económica del proyecto. La magnitud de los retornos esperados permite asumir con solvencia los riesgos operativos y de mercado, especialmente teniendo en cuenta la creciente demanda de cal viva en el sector minero y las ventajas logísticas que ofrece la localización estratégica en San Antonio de los Cobres.

Tabla 17. Indicadores de Rentabilidad del proyecto.

Indicador	Valor
Riesgo País	678
Equivale	0,0678
Tasa de interés plazo fijo Banco Nación	0,435
TMAR	35%
VAN	USD 3.786.712,2
TIR	50%

Fuente: elaboración propia

6.6.2. Fuentes de financiamiento

El esquema de financiamiento del proyecto contempla una estructura mixta, compuesta por fondos propios y capital proveniente de terceros. En términos proporcionales, el 75 % del total de la inversión será aportado por los socios del proyecto, mientras que el 25 % restante se financiará mediante un préstamo otorgado por el Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE).

El crédito gestionado ante el BICE presenta un monto de USD 1.400.575,9, otorgado bajo un sistema de amortización francés, con un período de gracia de 12 meses y una tasa efectiva anual del 138 %. Esta modalidad permite postergar los pagos de capital durante el primer año, coincidiendo con la etapa de instalación y puesta en marcha de la planta, y facilita la recuperación inicial del flujo de fondos operativos antes de afrontar el servicio de deuda.

La combinación de recursos propios y financiamiento a través del BICE permite equilibrar el riesgo financiero del proyecto, optimizar el uso del capital disponible y garantizar la disponibilidad de fondos suficientes para cubrir la inversión inicial en activos productivos.

6.7. FLUJO DE FONDOS DEL INVERSIONISTA

Además del flujo de fondos total del proyecto, se elaboró un flujo de fondos específico para el inversionista, con el objetivo de analizar la rentabilidad sobre los aportes de capital propios, excluyendo los efectos del financiamiento externo. Este enfoque permite evaluar el desempeño financiero desde la perspectiva de quienes aportan directamente los fondos sin recurrir a deuda.

El flujo del inversionista contempla únicamente los ingresos netos generados por el proyecto que le corresponden al inversor, descontando las amortizaciones y pagos de intereses del crédito, así como cualquier otro egreso que no sea asumido directamente por los socios. También incluye el desembolso inicial de capital propio (75 % de la inversión total) y, en el último año, el valor residual de los activos como ingreso final.

Este flujo permite calcular indicadores de rentabilidad ajustados a la participación de los inversores en el capital, como el VAN y la TIR del inversionista, que reflejan la ganancia esperada exclusivamente sobre su aporte.

Dado que el proyecto utiliza financiamiento apalancado, el flujo de fondos del inversionista presenta una rentabilidad aún más elevada que la del proyecto en su conjunto, gracias al efecto positivo del financiamiento sobre el retorno del capital propio.

Tabla 18. Flujo de fondos del inversionista.

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS		USD 5.760.000,0	USD 8.870.400,0	USD 9.757.440,0	USD 10.733.184,0	USD 11.806.502,4	USD 12.987.152,6	USD 14.285.867,9	USD 22.449.221,0	USD 24.694.143,1	USD 27.163.557,4
COSTOS DE FAB. DIRECTOS		-USD 3.085.639,5	-USD 4.182.309,2	-USD 4.232.757,4	-USD 4.288.250,5	-USD 4.349.292,9	-USD 4.416.439,5	-USD 4.490.300,8	-USD 6.147.759,6	-USD 6.237.131,8	-USD 6.335.441,1
COSTOS DE FAB. INDIRECTOS		-USD 448.181,4	-USD 492.999,5	-USD 542.299,5	-USD 596.529,4	-USD 656.182,4	-USD 721.800,6	-USD 793.980,7	-USD 873.378,7	-USD 960.716,6	-USD 1.056.788,3
GASTOS DE ADM. Y VENTAS		-USD 112.134,0	-USD 123.347,4	-USD 135.682,1	-USD 149.250,4	-USD 164.175,4	-USD 180.592,9	-USD 198.652,2	-USD 218.517,4	-USD 240.369,2	-USD 264.406,1
INTERES CREDITO			-USD 128.386,1	-USD 114.502,9	-USD 99.347,1	-USD 82.802,0	-USD 64.740,2	-USD 45.022,8	-USD 23.498,0		
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 467.498,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1	-USD 466.219,1
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO		USD 1.646.547,0	USD 3.475.859,7	USD 4.264.699,9	USD 5.132.308,5	USD 6.086.551,7	USD 7.137.360,3	USD 8.291.692,3	USD 14.719.848,1	USD 16.789.706,4	USD 19.040.702,8
IMPUESTO 35%		-USD 576.291,5	-USD 1.216.550,9	-USD 1.492.645,0	-USD 1.796.308,0	-USD 2.130.293,1	-USD 2.498.076,1	-USD 2.902.092,3	-USD 5.151.946,8	-USD 5.876.397,2	-USD 6.664.246,0

UTILIDAD NETA		USD 1.070.255,6	USD 2.259.308,8	USD 2.772.055,0	USD 3.336.000,6	USD 3.956.258,6	USD 4.639.284,2	USD 5.389.600,0	USD 9.567.901,3	USD 10.913.309,2	USD 12.376.456,8
DEPRECIACION Y AMORTIZACION		USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 467.498,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1	USD 466.219,1
INVERSION INICIAL	-USD 4.201.727,6										
CAPITAL DE TRABAJO	-USD 686.267,7										
CREDITO	USD 1.400.575,9										
AMORTIZACIÓN CREDITO			-USD 151.453,2	-USD 165.336,4	-USD 180.492,2	-USD 197.037,3	-USD 215.099,1	-USD 234.816,5	-USD 256.341,3		
VALOR DE DESECHO											-USD 8.078.809,1
FLUJO DE CAJA	-USD 3.487.419,4	USD 1.537.753,7	USD 2.575.353,7	USD 3.074.216,7	USD 3.623.006,5	USD 4.226.719,4	USD 4.890.404,2	USD 5.621.002,6	USD 9.777.779,1	USD 11.379.528,3	USD 4.686.670,3
FLUJO ACUMULADO	-USD 3.487.419,4	-USD 1.949.665,7	USD 625.688,0	USD 3.699.904,7	USD 7.322.911,2	USD 11.549.630,6	USD 16.440.034,8	USD 22.061.037,4	USD 31.838.816,5	USD 43.218.344,8	USD 47.905.015,1

Fuente: Elaboración propia.

La TIR del inversionista resulta superior a la TIR del proyecto porque una parte de la inversión se financia con deuda. Al aportar menos capital propio, y siempre que el rendimiento del proyecto sea mayor que la tasa de la deuda, los flujos netos después de intereses representan un retorno porcentual mayor sobre el capital del accionista.

En el análisis de rentabilidad del proyecto se consideraron diversos indicadores que permiten evaluar la conveniencia de la inversión. En primer lugar, la tasa de financiamiento otorgada por el BICE se estimó en 138%, lo que refleja el costo relativo del crédito frente a las demás fuentes de financiamiento. En cuanto a la estructura de capital, se definió una participación del 25 % por parte del inversor y un 75 % de aporte propio, configurando así una combinación equilibrada entre capital externo e interno. Asimismo, se estableció una Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR) del 35 %, utilizada como referencia para contrastar la viabilidad del proyecto.

A partir de estas variables se determinó una tasa de corte de capital del 61 %, que constituye el umbral de rentabilidad mínima requerido. Los resultados del flujo de fondos arrojan un Valor Actual Neto (VAN) positivo de USD 1.047.090,3, lo cual evidencia que el proyecto genera beneficios adicionales sobre el costo de oportunidad del capital. Complementariamente, la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó un 74 %, superando ampliamente tanto la TMAR como la tasa de corte, lo que confirma la atractiva rentabilidad de la inversión.

La interrelación entre los indicadores muestra que, pese al costo financiero asociado al crédito, la estructura de capital elegida y los flujos proyectados permiten obtener una rentabilidad superior a los parámetros exigidos. En consecuencia, el proyecto se presenta como financieramente viable, con capacidad de generar valor en el largo plazo y con un nivel de retorno atractivo para los inversores involucrados.

Tabla 19. Indicadores de rentabilidad del inversionista.

INDICADOR	VALOR
Tasa BICE crédito	1,38
Parte Inversor	0,25
TMAR	0,35
Parte propia	0,75
Tasa Corte Capital	61%
VAN	USD 1.047.090,3
TIR	74%

Fuente: Elaboración propia.

6.8. CONCLUSIÓN

El análisis realizado permite concluir que el proyecto de instalación de una planta productora de cal viva en San Antonio de los Cobres presenta viabilidad económica y financiera, a partir de un escenario neutro en cuanto al nivel de utilización de la capacidad productiva. La estrategia de ventas, basada en un crecimiento progresivo hasta alcanzar la plena operación de la planta y en un precio inicial de 160 USD por tonelada con un ajuste anual del 10%, asegura la generación de ingresos crecientes en el mediano y largo plazo.

Los resultados del análisis financiero muestran una coherencia entre los principales indicadores de rentabilidad. El Valor Actual Neto (VAN) positivo confirma que los flujos de ingresos generados por la planta superan los egresos y recuperan la inversión inicial a lo largo del horizonte del proyecto. La Tasa Interna de Retorno (TIR), al ubicarse por encima del costo de oportunidad, evidencia que la inversión resulta más atractiva que alternativas financieras de similar riesgo, justificando su ejecución.

7. CONCLUSIONES

El presente proyecto permitió cumplir con el objetivo general de evaluar la factibilidad técnica, económica, legal y ambiental de instalar una planta de producción de óxido de calcio (CaO) en la provincia de Salta, con el fin de abastecer la demanda creciente de la industria del litio en el NOA. El análisis integral desarrollado a lo largo del trabajo evidencia que se trata de una iniciativa viable, capaz de generar beneficios económicos y sociales, al mismo tiempo que se inserta dentro de un marco ambiental regulado y sostenible.

En primer lugar, el estudio del contexto productivo y de mercado confirmó que la expansión de los proyectos de litio incrementará de manera sostenida la demanda de CaO, lo que abre una oportunidad concreta para la inserción de un nuevo actor en la región. Las proyecciones de consumo muestran un escenario favorable, asegurando la colocación del producto en un mercado en crecimiento y con ventajas logísticas frente a competidores establecidos en otras provincias.

Desde el punto de vista técnico, se determinó que una capacidad instalada de 200 toneladas diarias es suficiente para cubrir la porción de mercado prevista. La selección de hornos rotativos alimentados con gas natural, junto con los servicios auxiliares de energía y agua, asegura un proceso eficiente y confiable, adaptable a futuros incrementos de producción.

El análisis de la disponibilidad de insumos críticos demostró que la provincia cuenta con importantes yacimientos de piedra caliza de buena calidad, suficientes para abastecer la planta en el largo plazo. Del mismo modo, se verificó la factibilidad de provisión de gas natural y de agua industrial, factores clave para sostener la operación continua. La localización estratégica elegida permite acceder a estos recursos y al mismo tiempo facilita la distribución del producto a las principales áreas de consumo.

En el aspecto legal y ambiental, se verificó que el proyecto cumple con la normativa vigente, contemplando la concesión minera, los permisos de uso de agua y suelo, las licencias de operación y los planes de impacto ambiental. Asimismo, se proyecta la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental bajo norma ISO 14001, que incluirá planes de mitigación de emisiones, gestión de residuos y monitoreo de calidad ambiental, fortaleciendo la licencia social para operar.

La evaluación económica y financiera evidenció que, si bien la inversión inicial es significativa, los resultados proyectados resultan altamente atractivos. Los indicadores calculados —con un Valor Actual Neto positivo, una Tasa Interna de Retorno superior al costo de capital y un periodo de repago en el cuarto año— validan la conveniencia del proyecto desde el punto de vista del inversor. Estos resultados demuestran que la iniciativa no solo es técnicamente factible, sino también rentable y sostenible en el tiempo.

El impacto social y regional asociado a la puesta en marcha de la planta también constituye un aspecto relevante. La generación de empleo directo e indirecto, el impulso a proveedores locales, el fortalecimiento de la cadena de valor minera e industrial y la dinamización de la economía regional son beneficios esperados que trascienden lo estrictamente financiero. La planta de cal puede convertirse en un actor clave en la consolidación de un polo de desarrollo industrial vinculado al litio en Salta.

Es importante destacar que la elaboración de este trabajo permitió integrar y aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Industrial. El proceso de formulación, análisis y evaluación de un proyecto de inversión de esta envergadura implicó la articulación de saberes técnicos, económicos, de gestión, ambientales y legales, consolidando las competencias profesionales necesarias para abordar problemas complejos en contextos reales. De esta manera, el proyecto no solo aporta una propuesta concreta de valor para la región, sino que también representa una instancia de cierre académico y de validación de la formación recibida.

Finalmente, se concluye que la instalación de una planta de óxido de calcio en la provincia de Salta resulta técnica, económica, legal y ambientalmente viable. El proyecto constituye una oportunidad estratégica para acompañar el crecimiento de la industria del litio en el NOA, generar impactos positivos en la economía regional y materializar, al mismo tiempo, la integración de los aprendizajes propios de la Ingeniería Industrial.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Consejo Federal de Inversiones. (s.f.). Estrategias logísticas de la cadena de valor de la cal en Cuyo. Recuperado de https://cfi.org.ar/assets/docs/estrategias_logisticas/CUY-Cal-CFI.pdf
- [2]. Carbolite Gero. (s.f.). *Calcination applications*. Recuperado de <https://www.carbolite-gero.com/applications/heating-applications/calcination/>
- [3]. Ministerio de Economía (Argentina), Secretaría de Minería. (2023). Catálogo de mapas y publicaciones SEGEMAR. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segemar_catalogo_mapas_publicaciones_2023_v1.pdf
- [4]. Calidra. (s.f.). Óxido de calcio pulverizado. Recuperado de <https://calidra.com.co/productos/oxid-oxido-de-calcio-pulverizado/>
- [5]. Yale School of the Environment. (2019). *Lithium mining: Water impacts in the Andes*. Recuperado de <https://e360.yale.edu/features/lithium-mining-water-andes-argentina>
- [6]. La Nación. (2025, 3 de marzo). Litio en Argentina: el motor de la nueva fiebre minera y qué falta para despegar. Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/economia/litio-en-argentina-el-motor-de-la-nueva-fiebre-minera-y-que-falta-para-despegar-nid03032025/>
- [7]. Swissinfo. (2022, 5 de noviembre). Argentina promueve una OPEP del triángulo del litio con Bolivia y Chile. Recuperado de: <https://www.swissinfo.ch/spa/argentina-promueve-una-opep-del-tri%C3%A1ngulo-del-litio-con-bolivia-y-chile/47995564>
- [8]. Secretaría de Minería de la Nación. (2021, diciembre). Litio y su potencial para el desarrollo minero argentino. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/litio_y_su_potencial_para_el_desarrollo_minero_argentino._vf._2021-1.pdf
- [9]. Litio Argentina. (s.f.). ¿Cuántas toneladas de litio se producen en Argentina? Recuperado de <https://litioargentina.com/produccion/cuantas-toneladas-de-litio-se-producen-en-argentina/>
- [10]. DEF. (2025). Argentina: qué pasará con la producción de litio en 2025, según las últimas proyecciones. Recuperado de <https://defonline.com.ar/energia-mineria/argentina-que-pasara-con-la-produccion-de-litio-en-2025-segun-las-ultimas-proyecciones/>
- [11]. Calera San Juan. (s.f.). Página oficial. Recuperado de <https://www.calerassanjuan.com/>
- [12]. American Society for Testing and Materials. (s.f.). *About ASTM International*. Recuperado de <https://la.astm.org/es/about/>

- [13]. Calera Albors. (s.f.). Página oficial. Recuperado de <http://www.calalbors.com.ar/>
- [14]. World Bank. (2023). *Worldwide Governance Indicators (WGI): Political stability and absence of violence/terrorism*. Recuperado de <https://tradingeconomics.com/argentina/political-stability-and-absence-of-violence-terrorism-percentile-rank-upper-bound-of-90percent-confidence-interval-wb-data.html>
- [15]. Gobierno de Salta. (2025, 6 de mayo). Decreto 244/25: Régimen Promocional Temporario para concesiones mineras. Recuperado de <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=0dbae9a5-f00f-40df-bac9-024e0fc35cc7>
- [16]. Provincia de Salta. (2022). Ley 8302/2022. Cámara de Diputados de Salta. Recuperado de https://www.diputadosalta.gob.ar/digesto_leyes/8963/download_file
- [17]. Argentina. (1995). Ley 24.585: Protección Ambiental para la Actividad Minera. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24585-30096/texto>
- [18]. Provincia de Salta. (1999). Ley 7070/99 de Protección del Medio Ambiente y Decreto Reglamentario 3097/00. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/agencia/normativa-ambiental-salta>
- [19]. Cámara Argentina de Empresas Mineras. (2024, diciembre). Demanda de insumos químicos en la minería de litio de Argentina. Recuperado de <https://caem.com.ar/wp-content/uploads/2024/12/12-12-24-Presentacion-Insumos-Quimicos-CAEM-Taging-CIPyQ.pdf>
- [20]. Informes de Expertos. (2025). Mercado global de cal viva 2025-2034. Recuperado de <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-cal-viva>
- [21]. International Energy Agency. (2024, julio). *Gas Market Report – Q3 2024*. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/gas-market-report-q3-2024>
- [22]. European Commission. (s.f.). *Low-carbon industrial production through CCUS (H2020)*. Recuperado de: https://cordis.europa.eu/programme/id/H2020_LC-SC3-NZE-5-2019-2020/en
- [23]. Provincia de Salta. (2000). Decreto 3097/00 Reglamenta la Ley 7070. Recuperado de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/producciones_sostenibles/legislacion/provincial/_archivos//000001-Agroquimicos/000017-Salta/309700-decreto%203097-00%20reglamenta%20ley%207070%20salta.pdf
- [24]. Carbolite Gero. (s.f.). *Calcination applications*. Recuperado de <https://www.carbolite-gero.com/applications/heating-applications/calcination/>

- [25]. Camusso, F. (2020). Explotación de canteras a cielo abierto. Instituto Argentino de Petróleo y Gas.
- [26]. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. (2021). Mineral Processing Handbook. SME.
- [27]. TEC MAQ. (s.f.). Equipos para la industria minera. Recuperado de <https://www.tecmaqsrl.com/html/>
- [28]. Maerz Ofenbau AG. (s.f.). Lime kilns. Recuperado de <https://www.maerz.com/lime-kilns>
- [29]. Boynton, R. S. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone. Wiley-Interscience.
- [30]. Argentina. (1995). Ley 24.585: Protección Ambiental para la Actividad Minera. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24585-45327>
- [31]. Argentina. (2002). Ley 25.675: Ley General del Ambiente. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25675-8176>
- [32]. Argentina. (2020). Ley 27.566: Acuerdo de Escazú. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27566-345253>
- [33]. U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Subpart U – Miscellaneous Carbonates Technical Support Document. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-02/documents/subpart-u-td_miscellaneouscarbarnates.pdf
- [34]. Wikipedia. (2025). Lime kiln. En Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Lime_kiln
- [35]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. (s. f.). Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. Gobierno de Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/Desarrollo-Sostenible-y-Gesti%C3%B3n-Clim%C3%A1tica/plan-nacional-de-adaptacion-y-mitigacion>
- [36]. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2019). Tercer Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (BUR3). UNFCCC. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/92814035_Argentina-BUR3-1-INFORME%20NACIONAL%20DE%20INVENTARIO%20DE%20GEI%20DE%20LA%20REPUBLICA%20ARGENTINA.pdf

- [37]. Secretaría de Energía de la Nación. (2011). Resolución SE 102/2011: Promoción del uso de gas natural como combustible limpio.
- [38]. International Organization for Standardization. (s.f.). ISO 14001 Environmental Management & ISO 45001 Occupational Health and Safety. Recuperado de <https://www.iso.org>
- [39]. Universidad de Machala. (2019). Estimación de los costos de explotación minera. Recuperado de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14419/1/Cap.6%20Estimaci%C3%B3n%20de%20los%20costos%20de%20explotaci%C3%B3n%20minera.pdf>
- [40]. Scribd. (2020). Precios de explosivos actualizados 2020. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/491340757/PRECIOS-DE-EXPLOSIVOS-ACTUALIZADO-2020-1>