



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA INDUSTRIA DEL SALITRE Y YODO EN  
CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JORGE CARLOS ROBERTO HILDEBRANDT BANSE

PROFESOR GUÍA:

PATRICIO CAMPOS POBLETE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ADOLFO OCHOA LLANGATO  
CARLOS URZUA VARELO

SANTIAGO DE CHILE  
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TITULO DE: Ingeniero Civil  
POR: Jorge Carlos Roberto Hildebrandt Banse  
PROFESOR GUIA: Patricio Campos Poblete

## ANALISIS TECNICO ECONOMICO DE LA INDUSTRIA DEL SALITRE Y YODO EN CHILE

El presente trabajo de título trata de la industria chilena del Yodo y colateralmente del Nitrato, área en la que el autor participó desde mediados del año 2010 hasta mediados del 2011 como encargado de todas las obras de construcción, y de mediados del 2011 hasta fines del 2017 como Gerente de Operaciones, a cargo de todas las actividades relacionadas con una faena productiva a escala industrial, desde los servicios básicos hasta la obtención del producto final (Yodo) listo para ser despachado al cliente.

Este trabajo se orienta principalmente a lo relacionado con costos de inversión y operaciones, materias que no se encuentran habitualmente en la literatura y cuyo propósito es aportar a las nuevas generaciones que vienen incorporándose a este mercado a comprender en forma más amplia en qué consisten todas ellas y las variables más importantes e influyentes en el costo final del producto, las que finalmente habrá que controlar para hacer viable la estabilidad y permanencia de una empresa en el mercado.

Es preciso considerar que Chile es el mayor productor mundial de estos minerales naturales no metálicos, con una participación en el Yodo del orden del 55 al 60 % del mercado, seguido de Japón con un 30 a 35% y el saldo entre 5 y 10% repartido en no más de 8 países. Adicionalmente, como es sabido, el Yodo y sus sales son esenciales para la medicina, agricultura, industria en general y laboratorios. Los Nitratos o Salitre son utilizados en el mundo como fertilizantes de especialidad y usos industriales.

En lo principal se presentan:

1. Aspectos generales respecto de la ubicación de la Industria, la geología de las zonas en cuestión y la importancia de la exploración, la característica del Yodo y Nitrato y sus usos en mundo.
2. Descripción de los distintos procesos de la Industria
3. Detalle de la producción mundial y la nacional
4. Los Precios de mercado del Yodo y Nitrato de Potasio
5. Parámetros de rendimiento de los insumos en los diversos procesos
6. Estimación del valor de una propiedad minera
7. Costos desagregados de Inversión y Operación
8. Las proyecciones de producción y precios para los próximos 10 años
9. El análisis de rentabilidad de la Industria, la estabilidad de esta y parte de su historia.
10. Los riesgos asociados al negocio

## DEDICATORIA

Considerando el momento del inicio y conclusión de este trabajo, ya habiendo transcurrido toda una vida laboral y familiar, dedico este trabajo a toda mi familia con todo mi cariño, respeto y amor a mi querida esposa Adriana por su noble compañía y a mis hijas Barbara, Trinidad y Constanza , a mis Padres Hernán y Marianne, quienes con gran esfuerzo y amor nos formaron, a mis hermanos y hermana por nuestra solida hermandad, a mis Padrinos Erwin y Rosmarie quienes fueron mis segundos Padres cumpliendo a cabalidad el compromiso contraído, y a sus hijos e hijas, mis segundos hermanos por su amistad incondicional, a mis Suegros Mario y Adriana, quienes estuvieron siempre a nuestro lado apoyándonos, a mis cuñadas, cuñados, concuñados y concuñadas con quienes siempre hemos tenido una extraordinaria relación. No puedo de dejar de mencionar y también dedicarle este trabajo a nuestra querida “Menita” Filomena Vázquez, quien estuvo a nuestro lado entregándonos todo su cariño y deleitándonos con su exquisita comida hogareña, desde que nacimos hasta cuando se fue junto a nuestros Padres.

## AGRADECIMIENTOS

Habiendo transcurrido toda una vida, primero como estudiante y luego como profesional, son muchísimas las personas que merecen ser agradecidas por su contribución en el crecimiento de mi persona, algo difícil de plasmar aquí con todo detalle, pero sin duda todas ellas están consideradas.

Agradezco especialmente el apoyo permanente durante este proceso de titulación al Profesor Guía, Don Patricio Campos Poblete, Ingeniero Civil en Minas; a Don Adolfo Ochoa Llangato, Ingeniero Civil y Profesor Co – Guía y a Don Carlos Urzua Valero, Ingeniero Civil, tercer integrante de la comisión.

Al Sr Decano de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Don Francisco Martínez Concha y al Sr. Director del Departamento de Ingeniería Civil, Sr Ricardo Herrera Mardones por haber autorizado mi reincorporación como alumno regular y por ende titularme de Ingeniero Civil.

Al Señor Secretario de Estudio Don Alfredo Lucas Guzmán.; a la Srta. Fabiola Borne Osorio, Secretaria Docente Departamento de Ingeniería Civil y a la Sra. María Elena Muñoz Ramírez, encargada de titulación, todos ellos por el apoyo en todo el proceso administrativo desde la reincorporación y durante todo el periodo de desarrollo del trabajo.

A los Presidentes, Directores y Gerentes de Empresas por haber confiado en mi trabajo y haber contribuido a mi crecimiento profesional y como persona dentro de estas, para lo cual quiero hacer especial mención a Enrique Loehnert Coster, Erwin Reich Dünner, Roberto Klotz Wiese y Ricardo Weber Fonck de Empresas Tecsa; Carlos De Urruticoechea Sartorius, Patricio Campos Poblete, Juan José Besa Prieto y William Leung Chiu de Algorta Norte; Juan Carlos Rodríguez Ramírez de R&R Construcciones Ltda.; Dante Bacigalupo Marió de Empresa PACTA; Fernando Bórquez Carvajal de Núcleo Paisajismo.

A todo el Personal de Oficina de las empresas señaladas y a los Trabajadores y Subalternos con los cuales trabaje, un especial reconocimiento a su trabajo y apoyo, así como también a los Contratistas y Profesionales con los cuales me relacione tanto del área privada como pública.

Un especial agradecimiento a todo el profesorado de todas las Instituciones por las cuales pasé, agradecido del conocimiento que me impartieron, así como los valores y principios de forma complementaria a los ya recibido en el seno de mi hogar.

Un reconocimiento especial a mi amigo Héctor Strobl Rojas por todo su apoyo incondicional brindado a lo largo de los años desde la adolescencia hasta el día de hoy y a mi compañero de curso de la Tesis Carlos Pérez Rabanal por su excelente disposición para apoyarme con algún software.

## Tabla de Contenido

Descripción	Página
1.- Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos del presente trabajo de título	1
1.3 Alcances	1
2.- Antecedentes	2
2.1 Ubicación	2
2.2 Clima	3
2.3 Geología general	3
2.3.1 Introducción	3
2.3.2 Origen de los depósitos de Nitratos y Yodo en Chile	4
2.3.3 Formas de “la Mena” denominada localmente “Caliche”	6
2.3.4 Mineralogía de los Yacimientos de Caliche	8
2.4 Características fisicoquímicas del Yodo, Nitrato de Sodio y Potasio	10
2.5 Evaluación del Yacimiento	12
2.5.1 Muestreo	12
2.5.2 Densidad de muestreo	14
2.5.3 Descripción de la Malla de Sondaje	15
2.5.4 Clasificación de las reservas y recursos	15
2.5.5 Cálculo de la Ley de Corte	17
2.6 Método de explotación mina	18
2.6.1 Introducción	19
2.6.2 Remoción y extracción del Caliche	19
2.6.3 Construcción de pila	29
2.7 Método de extracción de Salitre y Yodo	35
2.7.1 Proceso de Lixiviación en minería no metálica	35
2.7.1.1 Recursos generales para la Lixiviación	37
2.7.2 Curvas de extracción del mineral en el tiempo y otras	39
2.7.3 Plantas de Proceso	44
2.7.3.1 Planta Concentradora (Planta Química)	44
2.7.3.2 Planta Refinadora (Planta de Fusión)	48
2.7.3.3 Planta de Nitratos	52
2.7.4 Áreas de Servicio	55
2.8 Productos Comerciales	58
2.9 Mercado mundial del Salitre y Yodo	67
2.9.1 Países productores y sus producciones	67
2.9.2 Países consumidores y sus consumos	70
2.9.3 Precios internacionales	71
2.9.4 Análisis del mercado mundial en los últimos 10 años	72
3.- Descripción de la industria chilena del Salitre y del Yodo	76
3.1 Productores actuales	76
3.2 Estado de la producción anual	76
3.3 Nuevos proyectos productivos	79

4.- Descripción de un proyecto típico en Chile	79
4.1 Definición de un proyecto típico	79
4.2 Inversiones iniciales de un proyecto típico	81
4.3 Costos de operación de un proyecto típico	84
4.4 Análisis financiero y de rentabilidad	89
5.- Análisis estratégico de la industria del Salitre y Yodo en Chile	94
5.1 Desde el punto de vista de la demanda, oferta y precio del Yodo	95
5.2 Desde el punto de vista de la demanda, oferta y precio de los Nitratos de Sodio y Potasio	101
6. Conclusiones y recomendaciones	104
7. Bibliografía	108

## Índice de Tablas

Descripción	Página
<b>Tablas para la generación de información, producción, control de rendimientos y KPI</b>	
2.6.2 Fase I Levantamiento Topográfico	20
2.6.2 Fase II Limpieza superficie	20
2.6.2 Fase III a Remoción mediante Tronadura	22
2.6.2 Fase III b Remoción mediante Terrain Lever	26
2.6.2 Fase IV Extracción de Mineral y Transporte a Pilas	27
2.6.3 Construcción de Pila Fases I-II-II-IV-V y VII	33
2.6.3 Construcción de Pila Fase VI Carga de Caliche	34
2.7.1 Lixiviación	39
2.7.3.1 Planta Concentradora	46
2.7.3.2 Planta Refinadora	50
KPI para el análisis del costo operacional	85
<b>Tablas técnicas y de producciones, precios, costos, financiamiento y rentabilidad</b>	
Mineralógica de los Yacimientos de Caliche	8-9
Composición química del Caliche	10
Características fisicoquímicas del Yodo y el Nitrato	11
Control de producción planta Concentradora y Refinadora	51
Control general de rendimientos y producción de Yodo	52
Especificaciones de calidad del Yodo	58
Algunos derivados del Yodo de tipo orgánico e inorgánico y sus usos	59
Principales países productores de Yodo año 2019 y sus reservas	67
Producciones estimadas por países a nivel mundial de Yodo 1990 -2019	68
Principales empresas productoras de Nitratos Naturales y Sintéticos	69
Principales Países a los cuales Chile exporta Yodo y Nitrato	70
Producciones de Yodo y Nitrato por parte de Chile	72
Capacidad instalada de empresa chilenas productoras de Yodo y Nitratos	76
Precios y exportación de Yodo en chilenos	76
Precios y exportación de Nitratos chilenos	76
Nuevos proyectos productivos	79
Determinación de la producción anual de Yodo comercializable	79
Determinación de la producción anual de Nitrato comercializable	80
Estimación de la producción anual precios e ingresos netos	80
Estimación de inversiones para la producción de Yodo y Nitratos	83
Estimación de la dotación de personal por área para Yodo y Nitratos	84
Desarrollo de costos unitarios de producción de Yodo y Nitratos	86
Resumen costos operacionales estimados por unidad de producción	86
Costos estimados distribuidos por Rubro	87
Costos operacionales como proyecto independiente de Yodo y Nitrato	87

Costos operacionales como proyecto conjunto de Yodo y Nitrato	87
Flujo de caja del Proyecto	90-92
Cálculo del TIR y otros para distintos precios de los productos	93
Producción y tendencias por periodos desde 1990 al 2019	100
Producción y tendencias por periodos desde 1990 al 2029	101

## Índice de Ilustraciones

<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>Ilustraciones</b>	
Ubicación depósitos de Nitratos y Yodo.	2-3
Características morfológicas de los Yacimientos Salitreros	6
Malla de Sondaje	15
Diagrama de flujo de mina – lixiviación – Plantas	18
<b>Fotos</b>	
Caliche Color y Dureza	10-11
Tronadura	21
Rebaje mineral mediante Terrain Leveler	24
Extracción mineral tronado y mineral rebajado por Terrain Leveler	27
Preparación de Subbase y construcción de Base	31
Carguío de Pila, Bases y Drenes	32-33
Pozas de recolección de soluciones y sistema riego Corona de Pila	35-36
Cabezal Torre de Prilado de Yodo y envasado	49
<b>Gráficos</b>	
Fases de evaluación de un proyecto minero	12
Concentración promedio de Yodo de un conjunto de 100 pilas	37
Gráfico 1 Razón de Lixiviación [m <sup>3</sup> de riego /ton Caliche cargado]	40
Gráfico 2 y 3 Extracción de Yodo en el tiempo (concentraciones y producciones)	40
Gráfico 4 Extracción de Yodo en el tiempo en porcentaje	41
Grafica 5 Razón de Lixiviación [% de riego mensual /ton Caliche cargado]	42
Gráfica 6 Razón de Lixiviación [% de riego acumulado /ton Caliche cargado]	42
Grafica 7 Porcentaje de extracción acumulada de I <sub>2</sub> versus M <sub>3</sub> de agua acumulados /Tonelada de Caliche (razón de lixiviación)	42
Producciones de exportación y precio de Chile y producciones en el Mundo	73
Exportación de Nitratos chilenos	77
Precios unitarios de Nitratos chilenos	78
Ley de Corte del Yodo con Beneficio =0 para este proyecto	88
Proyecciones de producción de Yodo en Chile y el Mundo	97
Exportación de Nitrato en Chile	102
Precios de exportación de Nitratos en Chile	102
Esquema proceso Planta Química o Concentradora de Yodo	44
Esquema proceso Planta Refinadora o Fusión de Yodo	48
Esquema proceso general de Concentración de Nitratos	52
Esquema proceso de Cristalización del Nitrato por vacío	53
Esquema proceso de Prilado del Nitrato	55

## 1.- Introducción

### 1.1 Objetivos del Presente Trabajo de Título

#### a) Objetivo General

Realizar un análisis estratégico crítico a la industria chilena de Yodo y Nitratos, considerando las características de los minerales, sus recursos y los procesos industriales actualmente en uso, basado en la experiencia laboral obtenida durante los años 2010 al 2017 como gerente de operaciones en la industria.

#### b) Objetivos Específicos

1.2 Los objetivos específicos de este trabajo de título son:

- i) Descripción de un proyecto productivo de Yodo típico, mostrando sus costos de producción y las inversiones necesarias; y considerando las leyes del mineral que se han prospectado a la fecha y las que se espera en el futuro.
- ii) Análisis de los aspectos más relevantes de la actividad de extracción de Yodo; como las recuperaciones metalúrgicas, selectividad, de los métodos de extracción del Caliche, la dilución de las leyes del mineral a extraer, los métodos de explotación minera, los procesos alternativos de lixiviación de los minerales no metálicos, particularmente el Yodo y Nitratos.

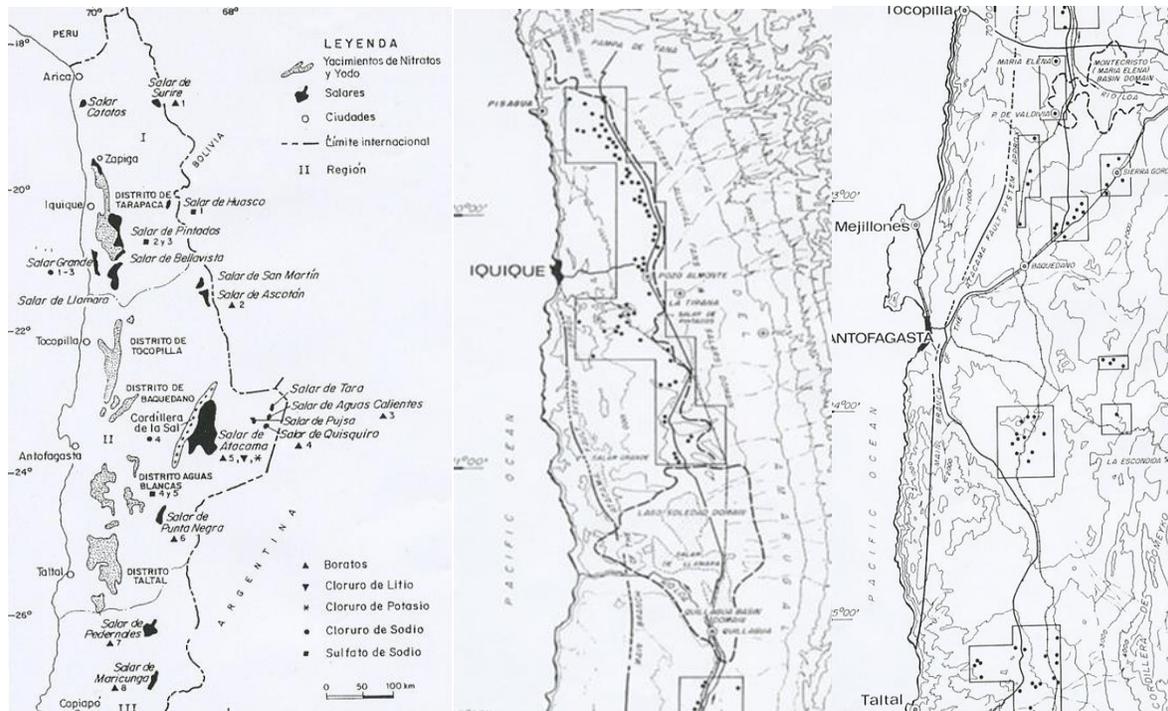
### 1.3 Alcances del Trabajo de Título

- a) Describir y destacar la importancia de las principales variables que afectan los resultados, tanto técnicos como económicos y financieros, de los proyectos productivos hasta el momento aplicados en Chile.
- b) Análisis del mercado mundial del Yodo y Nitratos, en el cual está inserta la industria chilena del Salitre y Yodo.
- c) Análisis de las principales variables que influyen en el negocio de producción y venta de Yodo y Nitratos.
- d) Análisis de los principales impactos o externalidades negativas de la producción de Salitres y Yodo.
- e) Revisión y presentación de los costos de producción y las inversiones involucradas.

## 2.-ANTECEDENTES

### 2.1 Ubicación

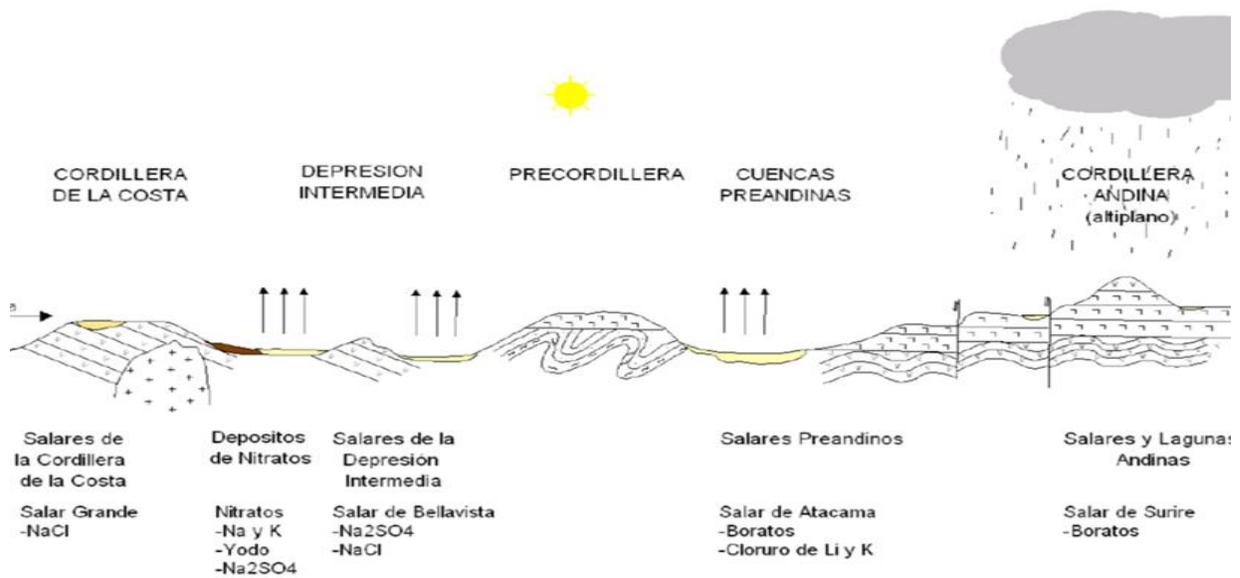
Los depósitos de Nitratos en Chile se ubican entre la región de Tarapacá y Antofagasta, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, entre Zapiga y Taltal, cubriendo una extensión del orden de 700 km, (más de 13.000 km<sup>2</sup>). Esto se ilustra en los siguientes planos esquemáticos, el primero señala la ubicación de los Yacimientos de Nitratos y Yodo y los otros dos, la ubicación geográfica de las Oficinas Salitreras históricas y actuales.



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

En el norte de Tocopilla los yacimientos se ubican al oriente de la Cordillera de la Costa, al sur de Tocopilla se encuentran en depresiones de la cordillera de la costa no conectadas con el valle longitudinal y otros al pie de la Cordillera de los Andes y en alturas de 2.000 m.s.n.m., de allí en adelante, el valle longitudinal desaparece convirtiéndose en una serie de valles anchos e irregulares distribuidos en las serranías (son espacios de terrenos cruzados por montañas y sierras) entre ambas cordilleras.

A continuación, se muestra un corte transversal de Norte Chileno en la zona de los salares donde se indican la ubicación de las fuentes de los principales yacimientos de minerales no metálicos y que se explotan comercialmente.



Fuente: P.C. Geostatística #215 Andrés Beluzan Ing. Civil Minas

## 2.2 Clima

El clima en el norte de Chile, en las regiones Salitreras corresponde a un clima desértico, con la presencia frecuente de camanchaca, incluso en las partes altas de la cordillera de los Andes, las precipitaciones son muy escasas salvo en la época del Invierno Boliviano que suelen ocurrir algunas precipitaciones fuertes pero de muy pocas horas distribuidas en un par de días, incorporando agua a los salares existentes, cauces de ríos, napas y bofedales que alimentan la flora y fauna de las zonas precordilleranas, causando muchas veces avalanchas de agua y barro que llegan al valle central cortando caminos y aislando poblados. Estas aguas rápidamente se infiltran en las napas y surgen como napas subterráneas, particularmente en la zona del tamarugal, apreciándose el aumento de caudal del río Loa.

## 2.3 Geología general

### 2.3.1 Introducción

Considerando que esta materia es muy importante pero extensa, solo se entregarán antecedentes generales y de forma simplificada y que se relacionan con los posibles orígenes de las fuentes de Nitrato y de Yodo, su forma y su mineralogía.

Es importante destacar que el SALITRE es el nombre con el cual se referían históricamente la mezcla de Nitrato de Sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) con Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ), este en sus inicios se encontraba en forma natural en la superficie de la pampa, siendo la pampa Salitrera chilena la mayor fuente a nivel mundial de compuestos nitrogenados naturales y el conjunto de sales y otros minerales mezclados con material inerte conformando una estructura de suelo de 0,5 a 6 m de espesor denominada Caliche. El Nitrato de Potasio fue el primero que se explotó a comienzos del siglo XIX, continuando con la explotación de las pampas con Nitrato de Sodio ubicadas al sur de las primeras, una vez agotado el primero.

### 2.3.2 Origen de los depósitos de Nitratos y Yodo en Chile

Hay muchas teorías y dispares entre ellas, ello porque se han hecho muchos análisis mineralógicos y químicos pero muy pocos estudios petrográficos y geoquímicos, que, según los especialistas en estas materias, son imprescindibles para conocer los procesos de precipitación que han dado origen a los yacimientos.

La tabla siguiente presenta un resumen de las principales teorías sobre el origen de los depósitos de Nitrato y sus comentarios.

RESUMEN TEORÍAS			
	TEORÍA	RESUMEN	COMENTARIOS
ORIGEN MARINO	SPRAY MARINO	Espuma marina que contiene sales como Amonio, Nitratos, Yodo Transporte Eólico (precipitación por Camanchaca)	Se necesitaría un largo periodo de tiempo
	TEORÍA DE LAS ALGAS (NOELLNER-SIEVEKING)	Existencia del Mar Algas Marinas Mar Interior (lagunas agua salada) Falta de afluentes y Lluvias Putrefacción de Algas, formación de AMONIO Interacción del Amoniaco con NaCl y el CaCO3 Formación de Nitratos Concentración	No existe Evidencia del mar (fósiles marinos) Déficit de Bromo, ácido fosfórico Necesarias enormes masas Orgánicas No explica yacimientos en altura (Tal Tal, Maricunga)
	TEORÍA DEL GUANO (FORBES-OCHSENIUS)	Existencia del Mar Mar Interior (lagunas agua salada) Depositación Capas de Guano de Avez (Eólica) Nitrificación Formación de Nitratos	No existe Evidencia del mar Ausencia de Fosfatos Yacimientos en altura Volúmenes de Guano inferiores Necesarias enormes masas Orgánicas
ORGANICA	TEORÍA BACTERIAS NITRIFICANTES	Clima húmedo Formación numerosos lagos (rios de los Andes) Vegetación de Estepa (algas, líquenes) Bacterias Nitrificantes Formación de Nitratos Lixiviación Concentración	No existe evidencia de vegetación significativa Necesarias enormes masas Orgánicas
ORIGEN INORGANICO	TEORÍA ORIGEN VOLCÁNICO (Exhalaciones Volcánicas)	Nubes de ácido nítrico de origen volcánico Reacción con feldespato de las rocas y suelos (Descomposición) Formación de Nitratos	Gases Nitrosos Menores
	TEORÍA ORIGEN ATMOSFÉRICO (PISSIS Y SUNDT)	Atmosfera ( ácido nítrico, ácido nítrico y amoniaco) Reacción con feldespato de las rocas y suelos (Descomposición) Formación de Nitrato de Sodio Acción acelerada por la tensión eléctrica de las Camanchacas	Las Concentraciones promedio de NOx, HNO3, NO3; en la Atmósfera son muy bajas.
	TEORÍAS GENÉTICA DE ORIGEN VOLCÁNICO (G. Chong)	Intensa actividad volcánica (NOx, NH4, N2) Clima húmedo, actividad geotermal Transporte por Agua Concentración y Depositación en rocas Enriquecimiento por capilaridad, removilización, erosión	No está claro como se fijó el Nitrógeno en Nitratos Concentraciones de Amonio en gases volcánicos son bajas.
	DESCARGAS ELÉCTRICAS (NUBES DE CAMANCHACA)	Descargas eléctricas (Altas temperaturas formarían Nox)	Descargas eléctricas menores Cantidades de Nitrato formados serían menores

Fuente: Antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

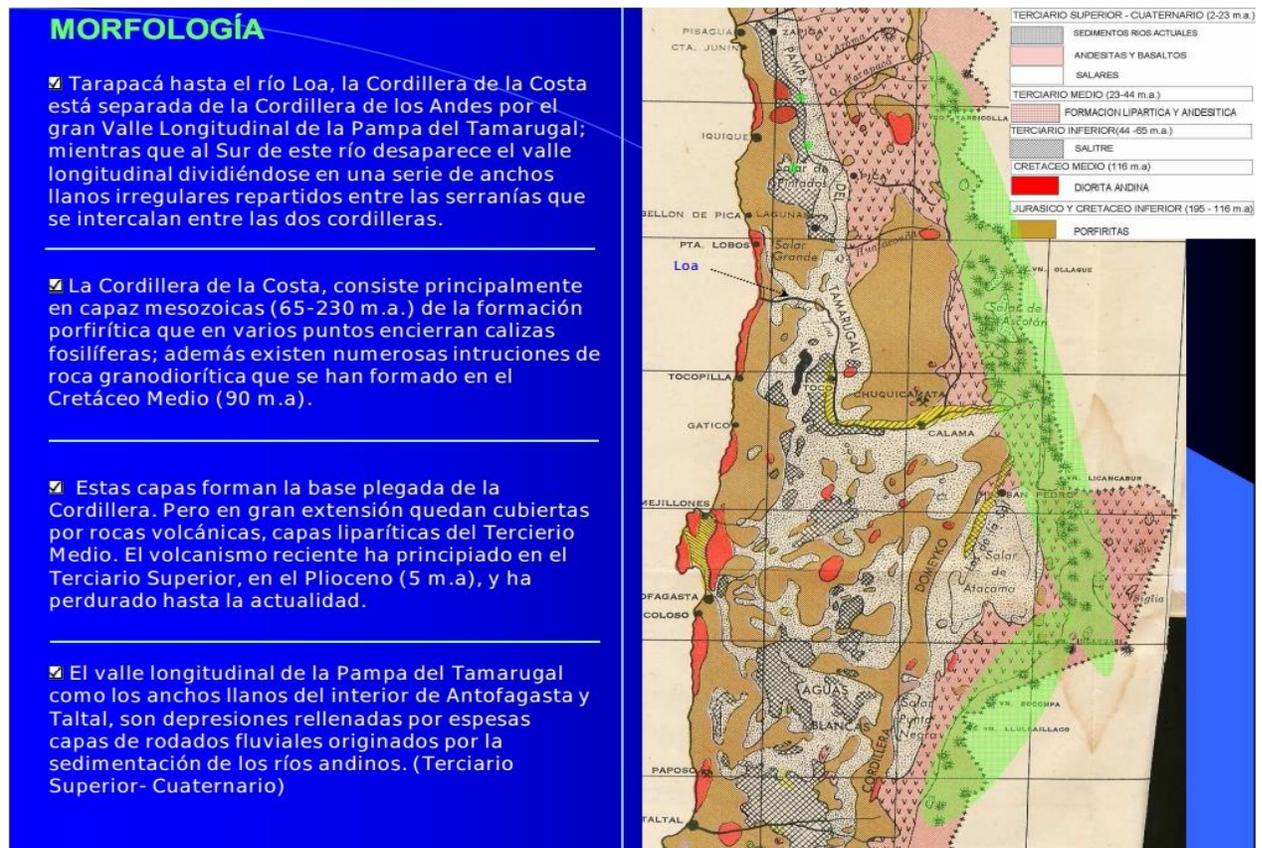
El siguiente cuadro muestra un resumen con la historia geológica de la zona y un plano geológico para ayudar a visualizar de mejor forma lo que allí se expone.

HISTORIA GEOLÓGICA DE LA REGION SALITRERA (G. Chong)					
ERA	Periodo	Epoca	Edad	Descripción	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Actualidad	0,01	Continúa la Sedimentación, Clima Seco.	
		Pleistoceno	0,01-2,5	Etapas glaciales. Pequeños ventisqueros Principio del relleno de los anchos valles	
				Volcanismo menos activo. Clima Seco	
	TERCIARIO	Superior	Plioceno	2,5-12	El Volcanismo aportó nuevos materiales (aguas subterráneas), E. Sulfatos Salares, Ab. Aluviales, Destrucción depósitos, Geomorfología actual, Inicio Corriente Humbolt, Cuencas Salinas Altiplano, Hundimiento Pampa del Tamarugal, Clima Seco, Cuencas Salinas Altiplano.
			Mioceno	12-26	Nueva Fase Tectónica, Aumenta la actividad volcánica, Levantamiento Andes, Sistemas lacustres (Lago soledad, María Elena), Erosión Depósitos Valle Central Formación Altiplano, Valle Central Endorreico, Continúa la Sedimentación
		Medio	Oligoceno	26-38	Sistemas Lacustres (Salar Atacama), Destrucción algunos depósitos de Nitrato Levantamiento Andes, Intensa Erosión, Rodados, Emplazamiento Pórfidos Cu Volcánismo menos activo, Clima húmedo, Actividad Geotermal, Concentración
			Eoceno	38-54	E. Depósitos de Nitrato (Conc. y Dep. Sales Nitrogenadas en Rocas Permeables)
		Inferior	Paleoceno	54-65	Intensa Actividad Volcánica, Clima húmedo, Actividad Geotermal
			CRETACEO	Cretaceo Superior	65-90
		Cretaceo Medio		90-116	Capas calizas con fósiles marinos.
Cretaceo Inferior	116-136	Rocas Volcánicas de composición Intermedia Algunos Afloramientos con fósiles marinos			
	Jurásico	136-195		Capaz calizas con abundantes fósiles marinos, Volcánismo	
Triásico	195-225	Secuencias Marinas y Continentales, Serie Volcánica Importante			
PALEOZOICO	Pérmico	225-280	Secuencias Marinas y Continentales afectadas por un bajo grado de Metamorfismo.		
	Carbonífero	280-345			
	Devónico	345-395			

Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

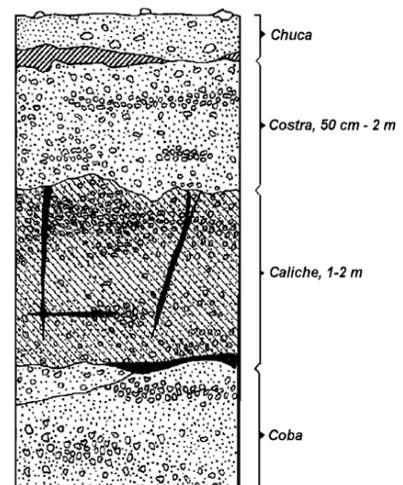
- Amarillo : Presencia de Mares  
 Rojo : Presencia de fuertes actividades volcánicas hasta el día de hoy  
 Azul : Presencia de clima seco hasta el día de hoy

## Características morfológicas de la zona de los yacimientos de Nitrato, Yodo y otros.



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Victor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

**2.3.3 Formas de "la mena" denominada localmente "Caliche" al estrato económicamente más importante.** Los depósitos de Caliche se presentan principalmente como "yacimientos en roca" que se reconocen porque los minerales del Caliche rellenan sistemas de fracturas abierta pudiendo tener altas concentraciones de cloruro y Nitrato sódico (Caliche blanco) o "depósitos aluviales o sedimentarios" siendo estos los más frecuentes y están formados por un complejo de minerales salinos relleno por porosidades menores (milimétricas o menores) tanto de fracturas como sedimentarias, en material terrígenos (sedimentos formados y depositados en tierra) . Se le caracteriza, por el color pardo oscuro de la mena. Ambos tipos de mineralizaciones se pueden encontrar en las mismas áreas, es decir en el material terrígeno de los depósitos aluviales como en el sistema fisural de la roca que conforma el basamento.



Los minerales que aquí se encuentran como ser Nitratos, yodatos, sulfatos y cromatos, son muy raros de encontrar en la naturaleza y son los que en parte importante constituyen el "Caliche", el cual está constituido aproximadamente por un 35 a 45% de sales. El Caliche lo encontramos normalmente de forma de manto o estratos como se grafica en el esquema de la izquierda.

- a) **Chuca o Chusca (10-100 cm)** Capa superior de polvo suelto con microestructura similar a la piedra volcánica (piedra pómez) compleja de trabajar y requiere de mucha agua para compactarla, con contenidos de Nitrato menor al 2% y Yodo bajo 180 ppm y con alto contenido de sales tales como el sulfato de Sodio y de calcio, el cloruro de Sodio y carbonato de calcio.
- b) **Panqueque espesores del orden de 30 cm.**  
Es muy poco común, se forma en la parte inferior de la chusca y contiene sales de sulfato de calcio que le sirve de aglutinante y forma parte de la chusca, su contenido de Yodo está por debajo de las 100 ppm. Por ello no está graficada en la figura.
- c) **Costra (30-200 cm)**  
Conglomerado insoluble (arena, arcillas, piedras) cementado mediante sales del tipo cloruros y sulfatos, con un contenido de Nitratos inferior al 5% y Yodo menor a 150 ppm (espesores normales de 50 a 150 cm)
- d) **Caliche (50-600 cm)**  
Corresponde a la capa con contenido de minerales no metálicos como se indican en esquema anterior, pero de rangos que pueden fluctuar entre 6% y 25% de Nitratos y 280 ppm a 700 ppm de Yodo o más. Se presenta en forma de brecha o conglomerado con areniscas y andesitas, cementadas por diversas sales entre ellas los Nitratos, cloruros, sulfatos de Sodio, calcio, magnesio, Potasio y sales de Yodo. Materia prima de la elaboración del Salitre.

**El Caliche está compuesto de:**

Nitratos, Cloruros, Yodatos y Sulfatos de (Na, Mg, K, Ca) y Sulfato de Aluminio, estando el Nitrato, Cloruro y Sulfato de Sodio en casi todos los Caliches.

Hay otras sales de cierta importancia como ser, perclorato de Potasio, yodato de calcio y Yodocromato de Sodio.

Físicamente el Caliche presenta grandes variaciones en su composición química, y según su color se distinguen los siguientes tipos:

Caliche macizo *color Blanco*; Caliche azufrado *color Amarillo claro al Amarillo anaranjado y rojizo* que contiene cromatos y Yodocromatos; Caliche *rosado* que contiene sales de hierro; y el más común, el Caliche *achancacado color tierra producto de la arcilla que contiene*.

La densidad de los Caliches fluctúa entre 2,1 y 2,3 Ton/m<sup>3</sup>; una media de 2,2 ton/m<sup>3</sup>

Podemos diferenciarlos entre duros (*ahuesados, alozados, apiedrados*) y blandos (*arenosos, borrosos y terrosos*) en más solubles (*porosos y arenosos*) y menos solubles (*ahuesados, sulfatosos*)

- e) **Congelo y Coba (indefinido)** manto arenoso indefinido con contenidos de sales solubles. Cloruros y sulfatos mezclado con suelos arenosos suelto, piedras y arcillas.

### 2.3.4 Mineralogía de los yacimientos de Caliche

En la tabla siguiente se muestra en detalle los resultados de los análisis mineralógicos de los yacimientos de Caliche en Chile.

Allí se pueden observar en forma ordenada 5 grandes grupos que son las sales de Nitrato, de cloruros, de sulfatos, de boratos, de Yodo y otros minerales detectados en el Caliche. Como se observa, los minerales principalmente salinos, son del orden de 58, más otras 15 nuevas correspondiente al Yodo y que son Lautarita (uno de los más importantes) Bellingerite, Carlosruizite, Coccinita, Cuproidargyrita, Geoegeericksenite, Hectorfloresite, Iodargyrite, Iodcarnallite, Iodobromita, Marshite, Miershite, Salesite, Schwartzembergita, Seeligerite y Tocornalite.

Existen otras sales de Yodo aun no estudiadas por su complejidad, especialmente en condiciones ácidas.

El Yodo y el Nitrato son los que tienen las mejores condiciones de “equilibrio físico químico” para su extracción.

Al observar en detalle su estructura química, nos encontramos con más de 35 elementos de la tabla periódica, sin embargo, el análisis espectro gráfico indica más de 65, siendo los más abundantes (como elementos presentes) el Aluminio, Borato, Cromo, Manganeso, Mercurio y Potasio y en menor cantidad, Bario, Litio y Níquel.

Mineralogía de los Yacimiento de Caliche				
Sales de Nitrato	Composición Química	Sistema Cristalino	Dureza	Refracción
Darapskita	$\text{Na}_2\text{SO}_4\text{NaNO}_3\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	1.8 - 3.0	1.300 1.486 (0.096)
Humberstonita	$\text{K}_3\text{Na}_7\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_4(\text{NO}_3)_2\text{6H}_2\text{O}$	Hexagonal	2.0	1.436 1.474 (0.038)
Nitrato de Chile	$\text{NaNO}_3$	Hexagonal	1.5 - 2.0	1.337 1.585 (0.248)
Salpeter	$\text{KNO}_3$	Rómbico	1.5 - 2.0	1.335 1.505 (0.170)
Ungemachile	$\text{K}_3\text{Na}_5\text{Fe}(\text{SO}_4)_5(\text{NO}_3)_2\text{6H}_2\text{O}$		2.0	
Sales de Cloruro	Composición Química	Sistema Cristalino	Dureza	Refracción
Carnalita	$\text{KMgCl}_3\text{6H}_2\text{O}$	Rómbico	2.5	1.467 1.494 (0.027)
Halita	$\text{NaCl}$	Cúbico	2.5	1.541
Nantokita	$\text{CuCl}$	Cúbico		1.930
Perclorato de Potasio	$\text{KClO}_4$		2.0	
Silvita	$\text{KCl}$	Cúbico	2.0	1.490

Sales de Sulfato	Composición Química	Sistema Cristalino	Dureza	Refracción
Anhidrita	CaSO <sub>4</sub>	Rómbico	3.0 - 3.5	1.570 1.614 (0.044)
Aphthetalite	(Na,K) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Hexagonal	3.0	1.487 1.499 (0.021)?
Basanita	2CaSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	Hexagonal		1.550 1.570 (0.020)
Bloedita	Na <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	Q	3.0	1.481 1.483 (0.002)
Epsomita	MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	Rómbico	2.0 - 2.5	1.433 1.461 (0.028)
Glaubeita	Na <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Monoclínico	2.0 - 3.0	1.515 1.536 (0.021)
Hexahidrita	MgSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O	Monoclínico		1.426 1.458 (0.030)
Kieserita	MgSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	Monoclínico	3.5	1.523 1.586 (0.063)
Langbeinita	K <sub>2</sub> Mg <sub>7</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Cúbico	3.0 - 4.0	1.535
Loeweita	Na <sub>12</sub> Mg <sub>7</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>13</sub> 15H <sub>2</sub> O	Hexagonal	2.5 - 3.0	1.490 1.471 (0.019)
Mirabilita	Na <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )10H <sub>2</sub> O	Monoclínico	1.5 - 2.0	1.437
Polihalita	Na <sub>2</sub> Mg,Ca <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	Triclínico	2.5 - 3.0	1.548 1.562 (0.014)
Tenardita	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Rómbico	2.7	1.464 1.485 (0.021)
Vantofita	Na <sub>4</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	Monoclínico	4.0	1.485 1.489 (0.004)
Woodwardita	Cu <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )OH12H <sub>2</sub> O	Biaxial		1.565 1.552 (0.013)
yeso	CaSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	Monoclínico	1.5 - 2.0	1.521 1.530 (0.009)

Sales de Yodo	Composición Química	Sistema Cristalino	Dureza	Refracción
Bellingrite	Cu(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	Triclínico		
Brugena	Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O	Monoclínico	2.5	1.772 1.824 (0.052)
Carlosrulzite	K <sub>10</sub> Na <sub>10</sub> Mg <sub>10</sub> (SeO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub> (IO <sub>3</sub> ) <sub>12</sub> 12H <sub>2</sub> O	Trigonal	2.0 - 2.5	
Coccinita	HgI <sub>2</sub>	Tetragonal		
Cuproiodargyrita	(Ag,Cu)I			
Dietzerita	7Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 8CaCrO <sub>4</sub>	Monoclínico	2.0	1.820 1.885 (0.065)
Fuenzalidaita	K <sub>10</sub> Na <sub>10</sub> Mg <sub>10</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>12</sub> (IO <sub>3</sub> ) <sub>12</sub> 12H <sub>2</sub> O	Trigonal	2.5	
Geogerrickseite	NaCaMg[(CrO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (IO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ]12H <sub>2</sub> O	Biaxial	2.5	
Hectorflorecita	Na <sub>9</sub> IO <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>			
Iodargyrite	AgI	Hexagonal		
Iodcarnallite	KMg <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O			
Iodobromita	2AgCl2AgBrAgI	Biaxial		
Lautarita	Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Monoclínico	2.0 - 4.0	1.792 1.888 (0.096)
Marshite	CuI	Isométrico		
Mershite	4AgICuI		2.0 - 3.0	
Salesite	CuIO <sub>3</sub> (OH)	Ortorómbico		
Schwartzembergita	Pb <sub>6</sub> (IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub>	Ortorómbico		
Seeugerite	IO <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> Pb <sub>3</sub> O	Ortorómbico	2.5	
Tocomalita	(Ag,Hg)I		2.5 - 3.5	

Otros Compuestos	Composición Química	Sistema Cristalino	Dureza	Refracción
Lopezita	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>			
Albita	Na(AlSiO <sub>8</sub> )			
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub> )			
Cuarzo	SiO <sub>2</sub> n(x,y)			
Hematitas	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Metales	Zn, Hg, Cu, Li, Se, Fe, Co, Ni			

Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "La Industria del Salitre contada por el Yodo" 1811-2004 Patricio Díaz V

En la siguiente tabla se observa un análisis de varios yacimientos donde se puede ver la composición química de los elementos de mayor interés comercial y la variabilidad entre estos yacimientos.

Para este trabajo en particular, los elementos de interés comercial son el Yodo y el Nitrato de Potasio KNO<sub>3</sub>, sin embargo, este último, hoy día se logra mezclando Nitrato de Sodio (NaNO<sub>3</sub>) con Cloruro de Potasio (KCL) mediante un proceso determinado.

Tabla Composición Química Caliche de Muestras de Caliche															
María Elena (1-2-3) - Humberstone (4-5)- Pedro de Valdivia (6) - Oficina Victoria (7) - Pampa Yumbes (8) -Cosayach (Negreiros (9) - Cala Cala (10) - Soledad (11)) - Otros (12) WITHHEAD (1920) en CHONG (1991)															

Nombre elemento	Elemento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	General 1	General 2
														%	%
Nitrato de Sodio	NaNO <sub>3</sub>	2,7	7-9	8,5	22,4	11,1	8,1	7,2	26,1	8,2			33,0	4,5-8,5	8,48
Sulfato de Sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10,9	12-16	16,4	4,6	3,6	8,7	16,1	7,9	19,9			2,8	8,0-20,0	
Cloruro de Sodio	NaCl	6,3	10-15	9,8	15,4	6,6	5,4	9,9	1,3	4,9			22,3	4,0-8,5	5,22
Potasio	K	0,5	0,4-10	0,6	1,0	0,3	0,6	0,9	0,4	0,9			-	0,25-1,5	0,486
Magnesio	Mg	0,4	0,2-0,8	0,7			0,2	1,1	0,3	0,8			-	0,05-1,4	0,25
Calcio	Ca	1,5	0,4-2,3	2,3	1,7	1,0	1,2	1,6	1,0	2,4			-	0,75-4,20	2,71
	Solubilidad													50-160	
	SO <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>													1,7-4,7	
Yodo	I <sub>2</sub>													0,025-,055	0,0354
Perclorato de Potasio	KClO <sub>4</sub>													0,03-0,07	0,0344
Bórax	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>														0,45
Sulfato Total	Na <sub>2</sub> SO <sub>4T</sub>														17,3
Sulfato de Sódico Aprovechable	Na <sub>2</sub> SO <sub>4A<sub>p</sub></sub>														7,5
Agua	H <sub>2</sub> O														1,74
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /NaNO <sub>2</sub>	1,4	1,1	1,9	0,2	0,3	1,1	2,2	0,3	2,4			0,1		

General 1 año 2006	Información recopilada por la Universidad Arturo Prat. Dpto. Ingeniería, Apuntes curso Tecnología del Salitre y Yodo IN 623, Alejandro Puelles Ocaranza Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile
General 2	Información Universidad de Antofagasta/Ingrid Garcés M.
Tabla Muestreo año 2006	Información recopilada por la Universidad Arturo Prat, Dpto. Ingeniería, Apuntes curso Tecnología del Salitre y Yodo IN 623, Alejandro Puelles Ocaranza Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile

El Yodo se encuentra en la naturaleza en forma de yodatos y yoduros, en el agua de mar, en algas, salmueras subterráneas extraídas de pozos petrolíferos o de pozos de gas y, en el **Caliche en las pampas del norte chileno**, siendo este último del interés de este trabajo.

#### 2.4. Características Físicoquímicas del Yodo (I<sub>2</sub>), Nitrato de Sodio (NaNO<sub>3</sub>, Soda Niter) y Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>, Niter o Salpeter)

De izquierda a derecha, muestras de Caliches de donde se extraen estos elementos: Caliche Blanco, Caliche azufrado y Caliche banco y amarillo



En el cuadro siguiente se muestran las propiedades de los productos básicos a comercializar.

## Características Físicoquímicas del Yodo, Nitrato de Sodio y Potasio

Características	Unidades	Yodo	Nitrato de Sodio	Nitrato de Potasio
		Elemento único	Compuestos	
Símbolo, Fórmula		I	NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>
Grupo		Halógenos		
Densidad	[gr/cm <sup>3</sup> ]	4,93	2,26	2,11
Peso Molecular	U	126,90	84,99	101,10
Punto de Fusión	°C	113,7	308	334
Punto de Ebullición	°C	184	380	400
Volumen atómico	[cm <sup>3</sup> /mol]	25,72		
Masa Atómica	[gr/mol]	10,51		
Número atómico		53		
Electronegatividad		2,55		
Radio atómico	Å	: 2.16 (-), 0.50(7) (A)		
En estado sólido	Color	Gris metálico oscuro	Blanco o Gris, a veces con tintes rojo-café o amarillo	Blanco o Gris, a veces con tintes rojo-café o amarillo
En estado Gaseosos	Color	Violeta		
En Test de Flama			Amarillo	Violeta
Transparencia		No Transparente en estado sólido	Cristales transparentes	Cristales transparentes solo individualmente
Lustre			Vítreo	
Sistema Cristalino		Ortorrómico	Trigonal	Ortorrómico
Dureza			1,5-2	2
<b>Solubilidad en Agua</b>				
0°C	[gr/100gr]		73	13
25°C	[gr/100gr]	0,033		
100°C	[gr/100gr]		180	246
<b>Clasificación NPK</b>			16 0 0	15 0 44
N=>N	Nitrógeno		16%	15%
P=>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Oxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		0%	0%
K=>K <sub>2</sub> O	Oxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)		0%	44%
<b>Elementos Presente</b>				
N	nitrógeno		16,50%	13,90%
O	Oxígeno		56,50%	47,50%
Na	Sodio		27%	0%
K	Potasio		0%	38,60%

Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

De izquierda a derecha, estructuras de muy compactas a menos compactas



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

En el mismo orden, la primera compuesta por arena fina a gruesa con escaso clastos no mayores a 2mm y fuertemente cementada con Nitratos.

La segunda con una matriz muy arenosa, concentrándose el cemento salino en la matriz y bordes de los fragmentos y 30 a 40% de clastos mayores de 2 mm.

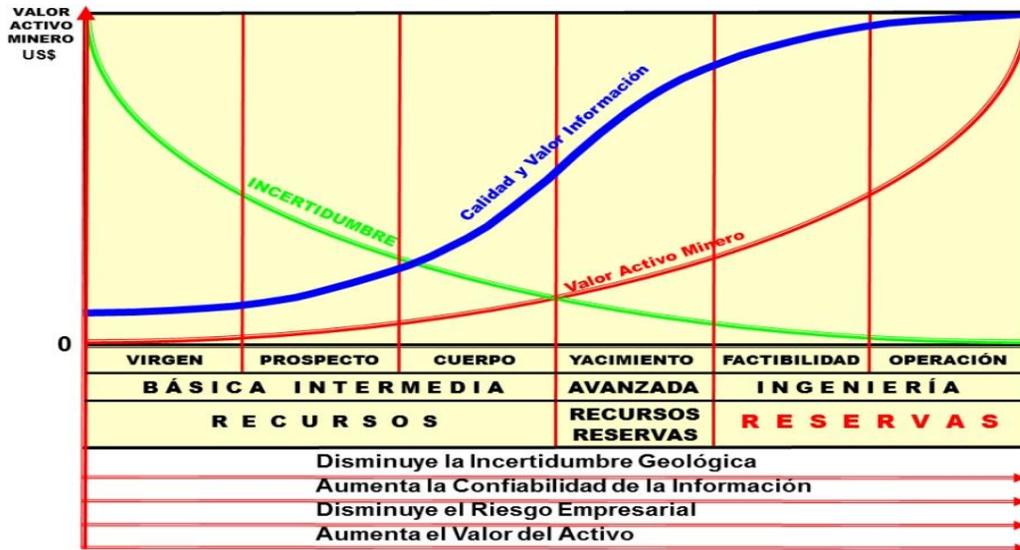
La tercera con 50 a 90% de clastos mayores de 2 mm hasta varios cm, con una matriz con bajo contenido de cemento salino concentrados en los bordes de los clastos.

## 2.5 Evaluación del Yacimiento

### 2.5.1 Muestreo

Es la primera etapa para desarrollar dentro del proceso de evaluación de un yacimiento, la que condicionará en gran medida la viabilidad del proyecto, es decir, su explotación.

La gráfica siguiente muestra a grandes rasgos las fases necesario a desarrollar para que se configuren las condiciones para declarar comercializable un proyecto minero u otro de similares características.



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento seminario de “Valorización de Propiedades Mineras” Miguel Viera Flores CEO METAPROJECT

#### Definiciones:

**El muestreo** es “una parte relativamente pequeña de un todo más grande que se toma con el objeto de estudiarla” y que forma “una parte de una población estadística cuyas propiedades se estudian para obtener información del conjunto total”

**La muestra** es “...una relativamente pequeña cantidad de material, tomada de acuerdo con un procedimiento sistemático, a partir de la cual se evalúan las características del conjunto que representa”

La combinación de ambas definiciones da a entender la importancia fundamental del proceso de muestreo que no es otra cosa que lograr **obtener información representativa y bajo estrictos procedimientos sistemáticos** del conjunto total, que es el yacimiento

Si bien son importantes los elementos y sistemas de muestreo que permitirán cumplir con el objetivo, es de vital importancia el equipo humano que se encargará de esto, no solo en materia de conocimientos, sino que, en la rigurosidad de la aplicación de los procedimientos, dado que la información que se obtenga y se procese será la determinante en la viabilidad comercial del proyecto. Cualquier desviación producto de un descuido, esta perderá la representatividad y perderá valor los procesos siguientes.

Si el muestreo no es representativo e indica que el yacimiento no tiene las leyes que permitan hacer comerciable el o los productos en estudio, se perdió un proyecto que pudo haber generado riquezas y fuentes de trabajo. Por el contrario, a la inversa, es aún más grave, porque las expectativas de fuentes de trabajo se desvanecieron producto del cierre de una industria que fue evaluada comercialmente rentable sobre la base de un estudio basal mal hecho, donde ya no se genera riqueza, por el contrario, hay un empobrecimiento.

Con el objeto de evitar o minimizar el efecto negativo de lo señalado anteriormente estos procesos por lo general se desarrollan en 3 fases o etapas que permitan determinar reservas probadas, probables y posibles. Estas son:

- a) **Exploración preliminar:** para determinar **recursos minerales posibles o inferidas** mediante sondeos en una malla de 400x400 metros para determinar la existencia de mantos calichosos.

En esta etapa se deberán determinar los distintos espesores del manto de Caliche para ser considerada en las siguientes etapas de exploración. Estas son:

- b) **Exploración de reconocimiento;** una vez determinadas las reservas posibles, se procede a realizar sondeos en una malla de 100x100m de modo de lograr mejorar el nivel de información en cuanto a leyes y espesores, obteniendo de este modo los recursos **indicados**.

En esta etapa o en la anterior se deberán hacer sondajes profundos para determinar la existencia de agua, en caso de haberla, su factibilidad de extraer, así como también iniciar los estudios correspondientes para elevar la solicitud de autorización de su uso para la operación minera.

- c) **Exploración de control durante la explotación del Caliche:** esta exploración se realiza con una malla de 33x33 m y permite dar una información muy confiable en cuanto a leyes y espesores y su distribución, asegurando de esta manera los sectores a explotar. Estas mediciones dan origen a **reservas probadas una vez aplicado un método de explotación y evaluada económicamente su aplicación**.

### **Formas de muestreo más usados en el Caliche**

**Los cateos** se realizan mediante un procedimiento consistente en una excavación vertical de 1x1x1,5 m de profundidad, en cuyas 4 caras verticales se hace un corte o canaleta del mismo largo de modo de reunir una muestra cada 50cm. Esto es viable para zonas Calicheras cuyos mantos son de muy bajo espesor, de lo contrarios hay que recurrir a sondajes por aire reverso con los cuales se puede llegar a 8 metros de profundidad sin mayores inconvenientes.

**Los sondajes** con aire reverso se realizan con equipos perforadores, mediante perforación de circulación reversa, con sistema de perforación DTH (martillo de fondo y /o con el sistema rotary (tricono) para zonas de mucha dureza, el sistema de aire reverso permite recuperar el material de la muestra (detritus), el material que llega a la superficie se recoge en un colector ciclónico donde decantan los fragmentos en una bolsa plástica para posterior estudio.

En el caso de los muestreos mediante sondajes o catas, este se va realizando cada 50 cm de profundidad de modo de ir estratificando el muestreo y después mediante algún software poder modelar los mantos y determinar la cantidad de material a obtener para distintas leyes de corte.

Fuera de la rigurosidad en el muestreo propiamente tal, del laboratorio y la digitación de la información, es importante tener presente que cada muestra debe ir acompañada de información general como ser, proyecto, número del sondeo, verticalidad, coordenadas, cota, fecha de inicio y término, descripción geológica (mapeo). Coordenadas y cota, deben estar referidos a un solo sistema de coordenadas.

En menor cantidad se realizan sondajes con recuperación de testigos, Se obtiene una correcta información mineralógica y geotécnica. El tratamiento de la recuperación y almacenaje del testigo debe ser extraordinariamente rigurosa considerando que este se va almacenando por partes en una caja especial para ello. La cantidad de Testigos generalmente se define en terreno según la apreciación del Geólogo o Ingeniero de mina especialista en esta materia. El testigo debe ser tomado sin agua de refrigeración para evitar la dilución de la muestra.



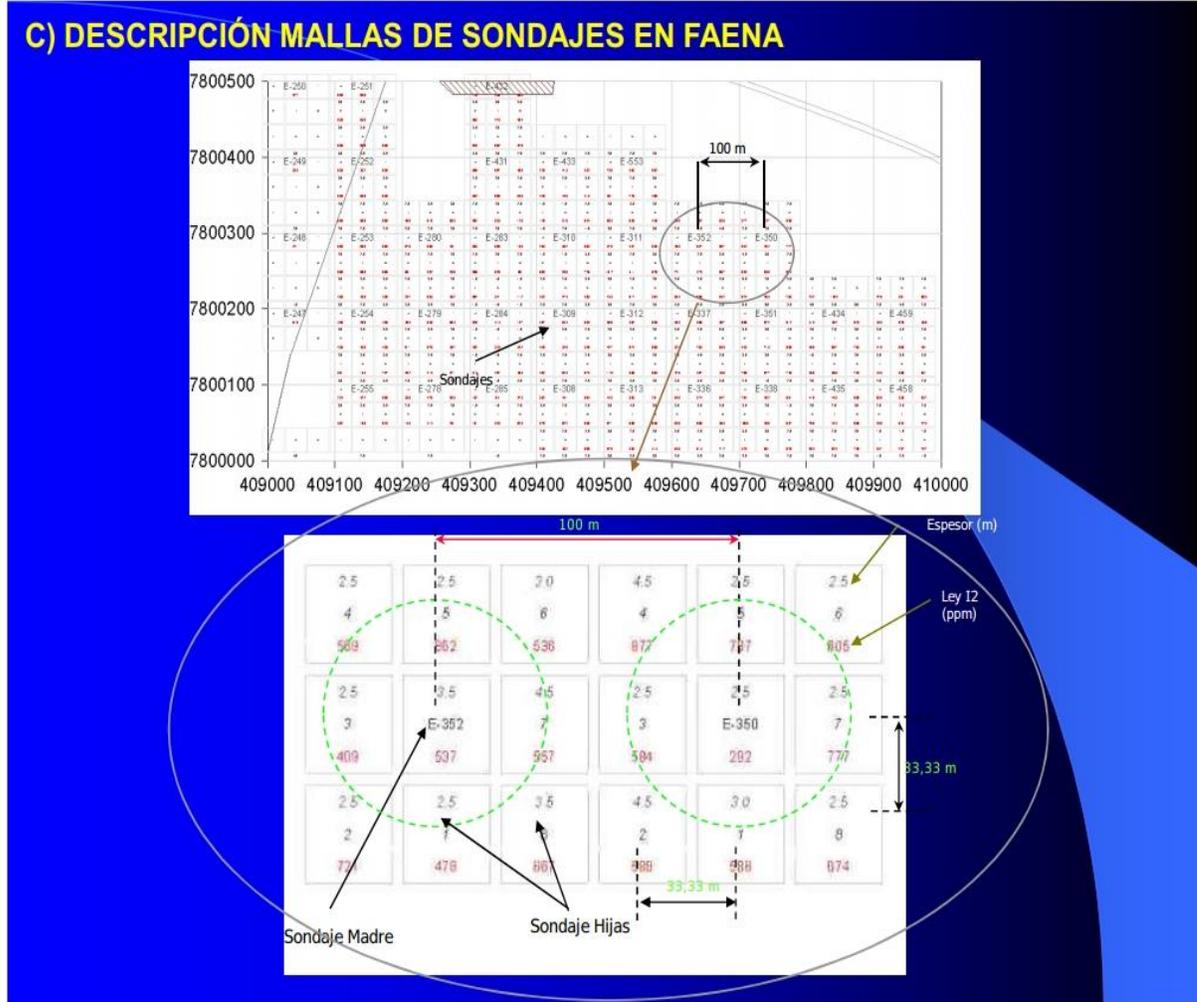
Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DE CALICHE" del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

### 2.5.2 Densidad de muestreo

La densidad de muestreo esta predefinida y casi normada para la prospección de Caliche y que corresponde a:

Exploración	Malla	Recursos	Reserva
Preliminar:	400x400 m	Inferidos	-
De reconocimiento:	100x100 m	Indicados	Probables
De control:	33x33 m y 50x50m	Medidos	Probadas

## 2.5.3 Descripción de la malla de sondaje



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento "MINERIA DEL CALICHE" del autor Victor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

## 2.5.4 Clasificación internacional de las reservas y recursos

**Recurso mineral** Un recurso mineral es una concentración o una ocurrencia de material natural, sólido o líquido, inorgánico u orgánico fosilizado en o sobre la corteza terrestre en forma y calidad tal, y en tal grado y calidad, que tiene posibilidades razonables para una extracción económica de un producto por medios mecánicos o mineralógicos. La localización, la cantidad, el grado o la calidad, las características geológicas y la continuidad de un recurso mineral son conocidos, estimados e interpretados por un proceso de evidencia y conocimiento geológico específico.

**Recurso inferido** Un recurso inferido es la parte de un recurso que ha sido determinado a partir de indicaciones geológicas y de una continuidad geológica supuesta, pero no verificada, donde las informaciones recogidas sobre este recurso con las técnicas adecuadas de exploración de puntos tales como afloramientos, calicatas, pozos y sondeos son limitadas o de calidad y confiabilidad reducidas, pero que permiten estimar el tonelaje/volumen, la calidad, el contenido mineral con un grado de certidumbre y un nivel de confianza bajos.

**Recurso indicado** Es la parte de un recurso mineral que ha sido objeto de exploraciones, muestreo y ensayos mediante las técnicas adecuadas en puntos tales como afloramientos, calicatas, pozos y sondeos, que están muy espaciados o situados a intervalos inapropiados para confirmar la continuidad geológica, pero están lo suficientemente próximos como para dejar de suponer tal continuidad. Además, la recolección de datos confiables permite estimar el tonelaje/volumen, las densidades, las dimensiones, la forma, las características físicas, la cantidad y el contenido mineral, con un nivel de confianza razonable, pero no con un alto grado de certidumbre.

**Recurso medido** Es la parte de un recurso que ha sido objeto de exploraciones, muestreos y ensayos con las técnicas adecuadas, en puntos tales como afloramientos, calicatas, pozos y sondeos, lo suficientemente próximos entre sí para confirmar la continuidad geológica y que proporcionan datos fiables y detallados que permiten estimar con alto grado de exactitud el tonelaje/volumen, la densidad, las dimensiones, la forma, las características físicas, la calidad y el contenido mineral. Esta categoría requiere un alto grado de confianza y de conocimiento de la geología y los controles del indicio.

**Reservas** Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado, incluida la dilución, y a partir de la cual se pueden recuperar, económicamente, minerales valiosos o útiles, bajo condiciones reales, asumidas al momento de la cuantificación. Aunque la cantidad a nivel global de un recurso mineral puede ser grande o inmensa, existe un límite de lo que se puede considerar como reserva (recurso explotable). Existe una gran cantidad de rocas con contenidos mínimos de un cierto mineral, y en comparación con ellos existen cantidades muy limitadas con contenidos altos. Las reservas dependen de un gran número de factores: ley media (concentración de interés minero del yacimiento), ley de corte (grado mínimo para extraer un mineral económicamente rentable) y de las condiciones técnicas, medioambientales y de mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación. Se complementa con el concepto de **recurso**, que es la cantidad total de mineral existente en la zona, incluido el que no podrá ser explotado por su baja concentración o ley. Las reservas minerales se dividen en probadas y probables. Los estimados de reservas minerales se toman a partir de los estimados de recursos con base en parámetros económicos, mineros, metalúrgicos, de mercado, medio ambientales, legales, sociales y gubernamentales.

**Reserva probable** Es la parte de un recurso medido o indicado que ha sido objeto de estudios técnicos y económicos suficientes a fin de mostrar que, en el momento del informe, estaba justificado explotarla en condiciones técnicas y económicas apropiadas.

**Reserva probada** Es la parte de un recurso medido que ha sido objeto de estudios técnicos y económicos detallados a fin de mostrar que, en el momento del informe, estaba justificado explotarla en condiciones técnicas y económicas precisas.

## 2.5.5 Cálculo de la ley de corte

La ley de corte corresponde a la ley más baja que puede tener un cuerpo mineralizado para ser extraído con beneficio económico. Todo material que contenga una ley por sobre la de corte es enviado a planta para ser procesado.

Ley de corte, grado mínimo para extraer un mineral económicamente rentable, es cuando los beneficios esperados de un proyecto minero son nulos, es decir, los ingresos son iguales a los gastos.

Ley media, es la concentración media de interés minero del yacimiento

Formulación matemática conceptual para un solo producto:

$$(T_{cal} * CU_{cal} + CT_{Otros}) * 1.000.000 = T_{cal} * L_C * (F_{Rend} * P_v - CU_{Lix} - R_{Lix} * CU_{Pq} - R_{Lix} * R_{Pq} * CU_{Ref})$$
$$L_C = (T_{cal} * CU_{cal} + CT_{Otros}) * 1.000.000 / T_{cal} * (F_{Rend} * P_v - CU_{Lix} - R_{Lix} * CU_{Pq} - R_{Lix} * R_{Pq} * CU_{Ref}) \text{ [ppm]}$$

“MINERIA DEL CALICHE” del autor Víctor Mohana Cifuentes (VMC/Planificación Mina) 2011 COSAYACH 2005

El resultado dependerá de la asignación de los costos de las unidades productivas (su pureza debe ser bien definida), de lo contrario los resultados pueden variar de forma importante.

$L_C$  = Ley de Corte  $I_2$  [ppm]

$T_{cal}$  = Ton Caliche cargado a Pilas [Ton Caliche]

$T_{Flix}$  = Ton Finos (Yodo) a extraer de la lixiviación [Ton]

$T_{Fpq}$  = Ton Finos (Yodo) a tratar en Planta Química [Ton]

$T_{Fref}$  = Ton Finos (Yodo) a tratar en Planta Refinación (proceso producto final) [Ton]

$R_{Lix}$  = Rendimiento lixiviación [%]

$R_{Pq}$  = Rendimiento Planta Química [%]

$R_{Ref}$  = Rendimiento Planta Refinación (proceso producto final) [%]

$F_{Rend}$  =  $R_{Lix} * R_{Pq} * R_{Ref}$  = Factor de Rendimiento del Proceso en su conjunto. [%]

$CU_{cal}$  = Costo unitario de extracción del Caliche [US\$/Ton Caliche]

$CU_{Lix}$  = Costo unitario de extracción del mineral en la lixiviación [US\$/Ton Yodo]

$CU_{Pq}$  = Costo unitario de extracción del mineral en la Planta Química [US\$/Ton Yodo]

$CU_{Ref}$  = Costo unitario de extracción del mineral en la Planta Refinación (proceso producto final) [US\$/Ton Yodo]

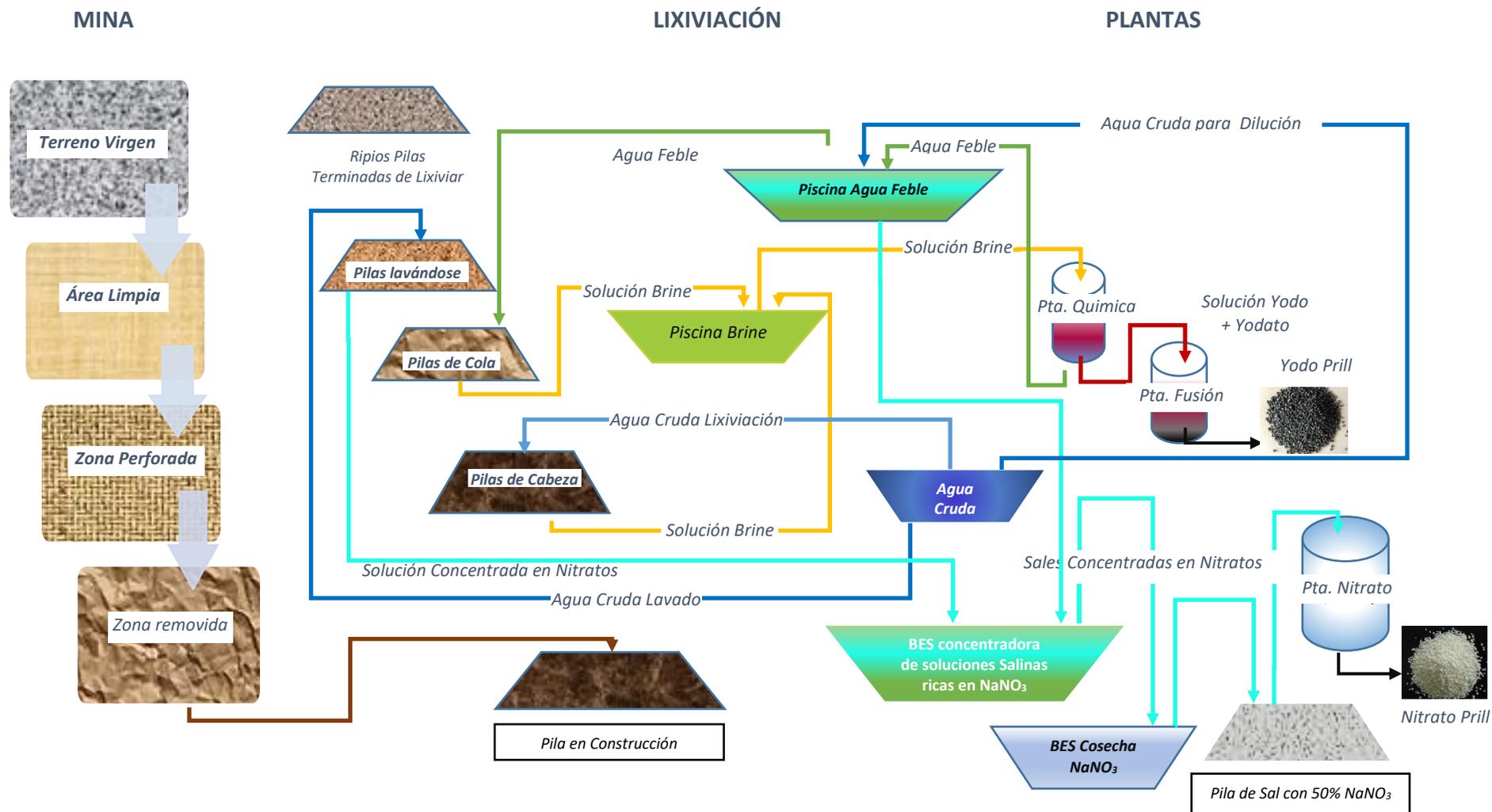
$CT_{Otros}$  = Restos de los costos asociados a todas las actividades de servicio, Contributivas, Administrativas, Financieras etc. [US\$]

$P_v$  = Precio de Venta Yodo [US\$/Ton Yodo]

## 2.6.- Métodos de explotación mina

Presentación de un diagrama para todas las operaciones que se señalan y que se describirán en los capítulos 2.6 y 2.7 de este trabajo

### Diagrama de Flujo de Proceso de Mina – Lixiviación – Plantas



## 2.6.1 Introducción

En la etapa de exploración, además de obtener la cuantificación de mineral, particularmente Yodo y Nitratos, es muy importante observar la estructura morfológica y la dureza de los Caliches mediante la extracción de testigos en toda la profundidad del estrato (desde la costra hasta por lo menos 1 metro más abajo del término del Caliche en caso de poder determinarlo) estos son importantes para determinar las metodologías de remoción del Caliche y los diseños asociados a la remoción mediante explosivos o Terrain Leveler.

Una vez obtenidos todos los antecedentes provenientes de la exploración, correlacionados con un levantamiento topográfico del territorio en cuestión y procesados, se determina la “ubicación preliminar de las pilas”, la disposición de materiales inertes, posibles depósitos de materiales para la construcción de OOC, conformación de caminos y bases de Pilas, se estudia y define la ubicación de plantas, talleres, servicios y campamento (todo debidamente señalado y proyectado conforme a lo declarado en la DIA, la EIA y finalmente lo resuelto en la RCA), se estructura el plan de remoción de la sobrecarga y el mineral ya sea con el uso de explosivos o sistemas de excavación superficial (Terrain Leveler Surface Machine) o mixtos, y se determina el tipo y cantidad de equipos de extracción a utilizar, procediéndose operacionalmente conforme a las fases que se señalan más adelante.

Como se ha señalado anteriormente las leyes de Yodo y Nitratos, la ley de corte, la recuperación metalúrgica, las características estructurales, morfológicas, el espesor de la sobrecarga estéril y la topografía de la mina son relevantes al momento de determinar los costos y rentabilidad del negocio, y los precios a los cuales se pueden colocar, conociendo los ya existentes en el mercado.

Los costos de remoción, extracción, transporte y disposición del Caliche durante la conformación de la Pila y la construcción de las bases de éstas son los más significativos y variable dentro de las operaciones, le siguen los costos de lixiviación que, igual que los procesos anteriores son los que más mano de obra requieren, sumados los costos de suministro de agua y energía. Los costos operacionales de Planta Concentradora y Refinadora son más estables y dentro de estos, los más significativos son las materias primas y energía.

Los costos de logística como ser suministro de agua, caminos de accesos, tendidos eléctricos, transporte personal y las operaciones en general, están directamente relacionadas con su ubicación geográfica tanto respecto de las fuentes de agua como de los poblados o ciudades cercanas.

## 2.6.2 Remoción y extracción del Caliche

Este proceso se divide en cinco fases, que son:

Fase I: Levantamiento topográfico

Fase II: Limpieza de superficie

Fase III: Remoción

Fase III a) Remoción mediante tronadura

Fase III b) Remoción mediante el uso de Terrain Leveler

Fase IV: Extracción y transporte a pilas de lixiviación

Fase V: Chancado (opcional)

**Fase I: Levantamiento topográfico** antes de retirar la Chuca o material inerte.

**Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI** (Key Performace Indicator), (medidores de desempeño o indicadores claves de rendimiento)

2.6.2 Fase I Levantamiento Topográfico			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
Ítems	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión		Registro en plano con coordenadas y cotas "base oficial del estudio" y aprobado por la EIA y RCA, Planificación de las Operaciones de Mina previamente desarrollado.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de seguridad, medio ambiental y arqueológica		Informe de liberación del área por la unidad correspondiente y del profesional responsable de la mina
3	Personal involucrado		Cuadrilla Topografía
4	Equipos involucrados		Instrumentos, vehículo u otros
5	Rendimiento por equipos		Kilometraje y combustible
6	Cuantificación del trabajo	m-m <sup>2</sup> -m <sup>3</sup> - ton	Dimensiones del área a limpiar, el espesor medio del material inerte a retirar, cotas y coordenadas y disponer de información respecto del material a retirar, su característica y densidad para incorporarlo al informe
7	Rendimiento de procesos		Tiempo tomado en esta actividad desde la salida hasta el retorno a su base
8	Materias primas		N/A
9	Insumos y/o servicios críticos		Baterías y combustible
10	Costos		Es la cuantificación de todos los gastos en que incurre para realizar un trabajo o proceso determinado, puede ser general o por unidades de proceso o unitarias por cada actividad del proceso.

**Fase II: Limpieza superficie:** para la eliminación de la sobrecarga estéril (chuca o chusca), se utilizan equipos tipo bulldozer, cargadores frontales, camiones tolvas y eventualmente motoniveladora, también utilizados para la construcción de las canchas para pilas y para la construcción y mantención de caminos, por tanto, debe ser un equipo robusto. El tamaño de estos, por economía de escala, ya sea por costo, mantenimiento, durabilidad y disponibilidad debieran ser similares o iguales a los que se pretende utilizar en la extracción del mineral. En caso de que la capa inerte fuese del orden de 30 cm o menor, habría que pensar en equipos menores, cuyo análisis de costo debe ajustarse conforme a negociaciones que puedan realizarse en su momento con los distintos proveedores de equipos en el mercado. Eso último es válido para todas las acciones a seguir en los procesos siguientes de implementación propiamente tal del proyecto.

**Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI**

2.6.2 Fase II Limpieza superficie			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
Ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión		Tomar información del Registro asociado 2.6.2 Fase I Levantamiento Topográfico, demarcar área de limpieza y registrar coordenadas del cuadrante.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimiento de seguridad y operativo
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores y cuadrilla de apoyo
4	Equipos involucrados		Equipos de apoyo a mina: Bulldozer, cargador frontal, excavadoras, motoniveladora, camión tolva, camión aljibe, camionetas
5	Rendimiento por equipos	m <sup>2</sup> /hora - m <sup>3</sup> /hora - ton/hora	Horómetro de inicio y término, kilometraje, combustible, detenciones y causas
6	Cuantificación del trabajo	m-m <sup>2</sup> -m <sup>3</sup> - ton	Material inerte removido, espesores del estrato
7	Rendimiento de procesos	m <sup>2</sup> /turno- m <sup>3</sup> /turno - ton/turno	Número de unidades ejecutadas por unidad de tiempo
8	Materias primas y/o servicios		
9	Insumos y/o servicios críticos		Taller de mantención "lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos críticos, elementos de desgaste diversos tipos", servicio combustible,
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

Terminado el proceso de limpieza de debe realizar un Levantamiento topográfico del área limpia, levantamiento que será la referencia para el proceso de cuantificación de minerales en la etapa de remoción, extracción y carguío de Pila.

### **Fase III Remoción**

**Fase III a: Remoción mediante Tronadura (explosivos con ANFO 150-250 gr/ton).** Verificadas las condiciones de limpieza del terreno se da inicio al proceso de marcado de la malla de tronadura



y luego a las perforaciones (perforaciones de diámetro habitual de 4” a 6” y profundidades de 1.5 a 6 m), siguiendo con la limpieza de ellas, extrayendo todo el material suelto que pudo haber quedado en su interior, se cargan con los explosivos con sus respectivos tacos y relleno, se arma la red conforme a diseño y con los elementos complementarios que se señalan más adelante, se revisan todas las conexiones y se verifican las medidas de seguridad requeridas conforme a regulaciones y estándares que son parte de los antecedentes

a entregar a SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) para que apruebe el inicio de las operaciones mineras. Debe necesariamente haber un Ingeniero experto en manejo de explosivos a cargo de esta actividad.

Para el proceso de carga de explosivos se utiliza tradicionalmente solo de mano de obra, pudiendo realizarse con apoyo de camiones fábrica previamente fiscalizados y verificado el cumplimiento de las exigencias técnicas de este por los **organismos competentes**. El uso de camiones fabrica reduce la cantidad de personal y hace el proceso más eficiente y rápido.

Verificado todo lo anterior, se realiza el disparo, se espera que el área quede con visibilidad suficiente para ingresar a verificar que no haya quedado algún tiro sin explosar. De no ser así, bajo procedimiento preestablecido, se procede a liberar el tiro antes del ingreso de equipos a extraer el material tronado.

El diseño del caculo de explosivos y su diagrama de disparo debe considerar que el tamaño máximo resultante de la roca no exceda los 100 cm.

Consideraciones para tener presente en este proceso:

Considerando que la estructura del Caliche en general es heterogénea, presentando zonas más débiles que otras, permite la disipación de la energía al momento de explosar, quedando zonas donde no se logra obtener la reducción de tamaño esperado, que requerirán ser repasadas ya sea con tiros aislados o el uso de martillos neumáticos adosadas a excavadoras. Estas operaciones adicionales sin duda generan costos adicionales importantes ya sea directa o indirectamente. Directamente en el mayor consumo de insumos de explosivos y equipos e indirectamente en el retraso de las actividades de extracción del mineral si los volúmenes comprometidos fuesen significativos.

Esta dificultad se va reduciendo en la medida que los operadores de las perforadoras van detectando estas zonas conforme a la experiencia que van adquiriendo en todo este proceso que dura años. El Ingeniero toma y procesa esta información para hacer las correcciones correspondientes en su diseño y analiza los estudios de las prospecciones originales para ver coincidencias de información de modo de anticiparse y tomar las medidas correctivas oportunamente en la medida de lo posible.

Cuando los espesores de los estratos de Caliche son bajos, se debe cuidar de controlar la pasadura de modo de evitar la contaminación del Caliche con material subyacente inerte. De producirse este efecto, baja la ley promedio (este efecto se denomina dilución) y por ende aumentan los costos de explotación de la mina y también los de lixiviación. (mayor cantidad de material inerte y menor cantidad de mineral)

## Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.6.2 Fase III a Remoción mediante Tronadura			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
Ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión		Tomar información del Registro asociado 2.6.2 Fase II Levantamiento Topográfico y emplazar área de remoción dentro de éste, haciendo su propio levantamiento después de la limpieza y entregando detalle de disconformidad si la hubiese.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día - semana - mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área por profesional responsable de la mina, autorizaciones correspondientes y procedimiento operativos aprobados,
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores
4	Equipos involucrados		Equipos menores de apoyo a mina camiones tolvas, cargadores, motoniveladora, bulldozer, camionetas
5	Rendimiento por equipos	ml/hora - ml/día	Registro horómetro de inicio y termino, kilometraje, combustible, detenciones y causas
6	Cuantificación del trabajo	ml - m <sup>2</sup> - m <sup>3</sup> - Kg - Ton	Caliche por tronar, espesores del estrato, n° de pozos, longitud, diámetros, pasadura, cotas, coordenada; los consumos de elementos de desgaste, de explosivo, detonadores y elementos relacionados.
7	Rendimiento de procesos	Pozos/día - ml/día	Unidades ejecutadas por unidad de tiempo
8	Materias primas	c/u - ml - Kg - ton	Anfo - Gelamita - Emulor - detonadores - petróleo, etc.
9	Insumos y/o servicios críticos	cu - ml - kg - ton	Barras perforación por tipo y tamaño, insumos para para tronadura, taller de mantención "lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos criticos", e4mentos de desgaste diversos tipos, servicio combustible,
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

La dotación estimada para realizar la faena de remoción de mineral es de 51 hombres mes para cubrir todos los turnos y requerimientos de mantención y administración para una remoción estimada de 1.325.000 toneladas de Caliche al mes.

Detalle de insumos requeridos para la tronadura:

- **Anfo** Es un explosivo de alta potencia que consiste en una mezcla de Nitrato de amonio y petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas, principalmente por las empresas mineras y de demolición. Las cantidades de Nitrato de amonio y combustible varían según la longitud de la cadena hidrocarbonada del combustible utilizado.
- **Gelamita** Es un alto explosivo del tipo Slurries o Watergel, de consistencia sólida pastosa, diseñado para su uso como carga de fondo o de columna en cualquier diámetro de perforación.
- **Emulnor** Es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.
- **Cordones** Se usa para iniciar detonadores no eléctricos, líneas troncales y descendentes de cordón detonante, como también cargas explosivas.
- **Lineas LSEF** Se utiliza para iniciar en forma segura y silenciosa los disparos primarios y secundarios, desde una distancia previamente establecida por el jefe de voladura.
- **Faneles** Es un sistema eficaz de iniciación para uso en minería subterránea, superficial y obras civiles, que ofrece los beneficios de sincronizar sin riesgo, eliminando toda posibilidad de conexiones erróneas. Es un accesorio de voladura con características mejoradas en la tracción y abrasión de la manguera fanel, haciéndolo apropiado para todas las aplicaciones de la minería

- **Retardadores** Es un accesorio diseñado para iniciar en forma segura y precisa distintos tipos de cargas explosivas, mediante un sistema constituido por elementos transmisores, retardadores y explosivos, ubicados secuencialmente
- **Carmex** El CARMEX® ha sido concebido y desarrollado como un seguro y eficiente sistema de iniciación para efectuar voladuras convencionales. El CARMEX® es ensamblado por personal especializado, mediante el uso de máquinas fijadoras neumáticas, garantizando con ello la hermeticidad del Fulminante
- **Mecha de Seguridad** – Conector.
- **Mecha rápida** El uso de la Mecha Rápida juntamente con el Conector para Mecha Rápida tiene por objetivo principal eliminar el encendido o “chispero” individual de las “armadas” o “primas”, evitar la exposición del operador a labores con presencia de humos y permitir la evacuación segura del personal ante la posibilidad de una iniciación prematura ya que usándola adecuadamente proporciona el tiempo suficiente al operador para retirarse a un lugar seguro.
- **ANFO** Una forma de baja densidad de Nitrato de amonio comprimido se utiliza ampliamente como explosivo en la industria minera y en obras de construcción
- **Fanel Dual** Es un sistema de iniciación no eléctrico que fue desarrollado para minería subterránea, superficial y obras civiles. Su principal característica radica en eliminar la necesidad de mantener y almacenar varios tiempos de retardo, lo cual permite al usuario reducir costos
- **Detonadores** Este tipo de detonadores están constituidos, por una cápsula metálica de cobre o aluminio cerrada por un extremo, encontrándose en su interior un inflamador, un explosivo iniciador o primario y un explosivo base o secundario y en algunos tipos una cápsula retardadora.
- **Fanel CTD** Es un sistema de iniciación que se usa para retardar taladros y está compuesto por un fulminante de retardo ensamblado a la manguera FANEL e insertado dentro de un bloque plástico, similar al usado por el FANEL DUAL®, donde se puede alojar hasta seis (6) Mangueras Fanel

Todos estos productos deben ser controlados rigurosamente, debiendo estar depositados en contenedores separados según sus características y a distancias preestablecidas según la cantidad a almacenar, debiendo llevarse un registro estricto de entrada y salida indicando el lugar donde se usó y la cantidad de mineral a tronar en cada evento y día. Esto es auditado por organismos externos autorizado para ello. La disposición, distancia y mediadas de protección están señaladas en las normas relacionadas con estas materias.

La actividad de tronaduras normalmente se subcontrata, en ese sentido, el contratista registra lo indicado anteriormente, y la empresa mandante solo realiza auditorias por ser esta solidariamente responsable en todo evento extraordinario que pueda generarse como ser robo o accidentes. En el caso que esta actividad sea por cuenta directa de la minera, deberá llevarse un control total como cualquier otra actividad y con las autorizaciones correspondientes.

### **Fase III b: Remoción mediante el uso de Terrain Leveler (alternativa al uso de explosivos)**

El modo de operar de este equipo consiste en ir extrayendo el mineral por capas y en espesores de 10 a 60 cm, dependiendo del modelo a utilizar y la dureza de la roca a cortar. Este equipo consta de un sistema de tracción similar a un Bulldozer, pero en su extremo en vez de hoja, lleva un rodillo robusto que contiene púas de acero de dimensiones importantes que van desintegramiento el suelo, dejando un material de tamaño variable de hasta de 30 cm aproximadamente.

La eficiencia de los equipos tipo Terrain Leveler va a depender de las características del Caliche y la costra. De ser viable, es una solución muy interesante porque reemplazaría la tronadura y el chancado si lo hubiese. probablemente se vaya a requerir tronadura dependiendo del relieve de la mina, pero puede minimizarse al menos en un 75% o más. Este tipo de equipos ya está en uso en algunas minas de forma permanente y en otras a modo experimental. Se recomienda analizar esta alternativa en profundidad porque podría haber ahorros considerables.

Un buen estudio y una negociación comercial bien llevada, puede permitir obtener beneficios mayores a los experimentados a la fecha en algunas compañías mineras.

Las siguientes fotografías corresponde a una zona removida con equipo tipo Terrain Leveler, donde se observan las bondades de este proceso.



La dotación estimada considerando recambios de puntas y otros se estima en 48 hombres mes para cubrir los distintos turnos y para la remoción de 15.900.000 toneladas de Caliche al año.

## **Ventajas:**

- Su proceso se puede programar y automatizar
- Permite ir conformando pilas con pendiente que se pueden predefinir y el tamaño del material a extraer es altamente ventajoso para la lixiviación y la granulometría permite conformar pilas con una buena estructura autosoportante.
- Proceso más continuo en comparación con los procesos de tronadura, no interfiriendo en el avance de extracción de mineral en el frente de mina.
- Bajos costos de construcción de Bases de Pilas y menor tiempo de ejecución de estas.
- No requiere de procesos posteriores de chancado
- No requiere repasos para reducir elemento fuera de rango como ocurre con las tronaduras por no ser afectada por la morfología de Caliche, pero si por su dureza.
- Muy bajo riesgo de contaminación con material inerte porque su proceso de profundización es gradual y por capas delgadas.
- Bajos costos de construcción de caminos y menor tiempo de ejecución de estos
- Menor deterioro de los equipos de carguío y transporte.
- Menores riesgos en procesos de remoción del mineral
- Cuantificación más precisa del volumen de material extraído en comparación con la tronadura, permite determinar densidades medias más cercanas a la realidad, al contabilizar todos los tonelajes de los camiones de extracción y los informados por las Palas o Cargadores (en caso de tener estos controles de pesaje). La tronadura deja el área con muchas irregularidades y durante el proceso de extracción, normalmente se requiere incorporar material para mejorar el acceso de camiones y cargadores, esto distorsionan las mediciones topográficas después de la extracción, tiene un costo significativo por suministro y transporte de material para mejorar la accesibilidad. El hecho que todos los equipos tengan control de pesaje permite manejar información cruzada que ayude a detectar problemas en los sistemas de control, pero también permite hacer un análisis respecto del rendimiento y habilidad individual de los operadores, detectar falencias y hacer mejoras mediante capacitaciones. En estas condiciones de trabajo, en general los operadores de equipos de carguío y transporte no tienen la dificultad que se presentan con terrenos tronados, las cuales son muy significativas.
- Permite trabajar sin problemas en las inmediaciones de todo tipo de servicios aéreos y subterráneos localizados, infraestructura y poblados, en este último solo amerita cuidar la polución, materia que no sería muy compleja ni muy onerosa el implementarla para minimizar el impacto.
- Al lograr obtener un material de una estructura bastante homogénea y de mucho menor dimensión, su descarga sobre la carpeta de protección de la lámina de PVC en la Pila permitiría bajar el espesor de dicha capa, sobre todo si se tienen materiales granulares finos como arenas.
- Permitiría trabajar con equipos menos robustos, pero ello requiere analizarse en función de las producciones que se quieran lograr y la cantidad de equipos a administrar. Debe tenerse presente que la tendencia es bajar la dependencia de personas por los altos costos que ello implica, eso se logra con equipos más grandes.
- Evitaría dañar los drenes por cuanto su derrame al momento de verter este material en la Pila, no genera rodados de elementos grandes que pueda dañarlos, incluso, pudiese ser que los drenes no requieran enterrarse, buscando una forma más simple de instalarlos y sostenerlos sin que se salgan de la posición predefinida.
- Costos más bajos de topografía
- Asegura un mayor control sobre eventual dilución,
- Si la Ley de la costra fuese muy baja, se podría sacar como material estéril y no lixiviarse (opcional)

- Menor desgaste de equipos de extracción, transporte y de apoyo, implica un menor costo operacional.
- Mejores condiciones viales, generan mejores condiciones para tendidos de redes de lixiviación y eléctricas y la operación propiamente tal.
- Mejor resultado de lixiviación mejorando rendimiento, recuperación del Yodo y Nitrato y tiempo en la extracción del mineral. Esto permite aseverar que con este tipo de equipo se puede lograr una explotación del Caliche de mejor calidad granulométrica y a menor costo comparado con el método tradicional de perforación y tronadura. También tiene la ventaja que permitiría manejar de mejor forma la polución durante este proceso comparado con el de tronadura que no es viable reducirlo.

### Desventajas:

- Inversión inicial de alto costo
- Trabaja bien en terrenos con ondulaciones suaves
- Alto desgaste del equipo
- Alto costo en elementos de desgaste (puntas y elementos complementarios)
- Bajo rendimiento en suelos muy duros (debe hacerse un estudio de las características de Caliche y la costra en cuanto a dureza)
- Requiere un equipo importante de personal calificado y bien equipado para atender permanentemente el cambio de elementos de desgaste. Este es el ítem más importante y determinante para analizar la rentabilidad de este proceso.

### Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.6.2 Fase III b Remoción mediante Terrain Lever			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
Ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión		Tomar información del Registro asociado 2.6.2 Fase II Levantamiento Topográfico, demarcar el área, registrar coordenadas del cuadrante.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área por profesional responsable de la mina, autorizaciones correspondientes y procedimiento operativos aprobados, ajuste programa control satelital de nivelación del terreno coordinado con levantamiento topográfico después de la limpieza previa del área.
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores y cuadrilla de apoyo recambio piezas de desgaste
4	Equipos involucrados		Terrain Lever, cantidad y modelos. soldadoras autónomas, camionetas
5	Rendimiento por equipos	m <sup>2</sup> /hora - m <sup>3</sup> /hora - ton/hora	Horómetro detallado por cada evento, producción, recambio elementos de desgaste, combustible, filtros, mantenciones, kilometrajes, etc. Informe registros del sistema del equipo en materia de producciones y rendimientos.
6	Cuantificación del trabajo	m-m <sup>2</sup> -m <sup>3</sup> - ton	Espesores, superficie, volúmenes, toneladas, número de capas y espesores de capa
7	Rendimiento de procesos	m <sup>2</sup> /turno - m <sup>3</sup> /turno - ton/turno	Número de unidades ejecutadas por unidad de tiempo
8	Materias primas		
9	Insumos y/o servicios críticos		Soldadura, Taller de mantención "lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos críticos, elementos de desgaste diversos tipos", servicio combustible,
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

### Fase IV : Extracción y Transporte del Caliche a Pilas de Lixiviación

Se inicia una vez que el profesional responsable de la tronadura verifica las condiciones post tronadura y determina que no hay riesgos, autorizando mediante protocolo escrito al ingeniero de mina responsable de estos procesos para que proceda a la extracción del material removido. Los equipos que habitualmente se usan son equipos específicos para minería por los volúmenes a

transportar y la agresividad del proceso y del material a extraer, particularmente por lo corrosivo y por lo abrasivo que resulta ser. Estos son principalmente camiones con capacidad mayor a 60 Ton, cargadores frontales con cucharones de 10,7 a 12.3 m<sup>3</sup> (14 a 16 yd<sup>3</sup>), bulldozer cuya potencia bruta sea cercana o mayor a los 350KW. Los cargadores con rodado neumático requieren el uso de cadenas para mejorar la vida útil del neumático. También es necesario tener Excavadoras (Palas) con baldes de 6 a 12 m<sup>3</sup> o más (en el caso de remoción mediante tronadura).



Las distancias de transporte de mineral a Pilas pueden fluctuar aproximadamente entre 500 m y 2000 m de punto a punto. Esta dependerá principalmente del espesor del estrato a explotar.

En caso de utilizar otro sistema de lixiviación como ser en piscinas, el mineral removido debe necesariamente debe pasar por una planta de molienda diseñada para ese proceso, proceso obsoleto que solo lo tiene vigente SQM en alguna de sus plantas.

### Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.6.2 Fase IV Extracción de Mineral y Transporte a Pilas			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión		Tomar información del Registro asociado 2.6.2 Fase III a o II b Remoción mediante Tronadura, demarcar área de limpieza y registrar coordenadas del cuadrante.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimiento aprobados, Leyes del mineral (Yodo y Nitrato de Sodio), densidad en banco,
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores
4	Equipos involucrados		Equipos de mina: Bulldozer, cargador frontal, palas, camión tolva minero Equipos de apoyo mina: Camiones Tolvas, Cargadores, Motoniveladora, Bulldozer, excavadora, rodillo compactador, camión aljibe, camionetas.
5	Rendimiento por equipos	ton/hra	Horómetro de inicio y termino, combustible, kilometrajes, detenciones y causas
6	Cuantificación del trabajo	ton - Kg - hrs	Caliche extraído, Yodo, Nitrato de Sodio, espesores del estrato. Registrar horas de equipos de apoyo por tipo de faena realizada.
7	Rendimiento de procesos	ton/turno	Número de unidades ejecutadas por unidad de tiempo
8	Materias primas		
9	Insumos y/o servicios críticos		Taller de mantención "lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos críticos, elementos de desgaste diversos tipos", servicio combustible
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

Terminado el proceso de extracción, se procede a realizar un Levantamiento topográfico para determinar los volúmenes extraídos y contrastarlo con los informados por los sistemas de pesaje de los camiones y equipos de carguío si estos últimos lo tuviesen.

La dotación requerida es del orden de 167 hombres mes para cubrir los distintos turnos y las actividades de extracción y de construcción de bases de pilas para lograr extraer, transportar y

cargar como mínimo 15.200.000 Toneladas de Caliche al año, considerando remoción de Caliche mediante tronadura.

**Equipos Productivos:** Equipos directamente ligado a la producción, operación específica como es la extracción y transporte de mineral u otra.

**Equipos de apoyo o contributivos:** Equipos necesarios para la preparación de las condiciones de accesos y caminos para permitir un transporte seguro y ágil de los camiones mineros y otros trabajos complementarios. Son utilizados también en la construcción de subbases y bases de pila, pozas, etc.

Rendimientos medios de equipos de mina: Palas de 6 m<sup>3</sup> [ 700 ton/hra]: Palas de 12 m<sup>3</sup> [900 ton/hra]; Cargadores de tipo WA900 [900 ton/hra]; Camiones 60 Ton [ 240 ton/hra]. Dependerá mucho de las condiciones en que se encuentre el material tronado. En este caso particular, en general son condiciones desfavorables

### **Fase V : Chancado (opcional)**

El requerimiento de chancado va a depender principalmente del resultado de la tronadura, es decir, de la granulometría resultante. Menor tamaño de la roca resultante, mayor superficie específica, mejor es el proceso de lixiviación.

Como se dijo anteriormente, las características de la estructura del suelo, el diseño de la malla y los diagramas de disparo, influirán en la granulometría que se obtenga, materia que se va resolviendo durante el proceso de explotación de la mina, donde se va adquiriendo mayores conocimientos de la conformación del suelo en la medida que se avanza y por ende se puede anticipar las distintas formas de abordar la tronadura para obtener mejores resultados.

Al usar chancadores debe establecerse necesariamente una estación de transferencia para el Caliche extraído, se recomienda equipos móviles y el tamaño de ellos estará sujeto a los niveles de producción que se definan. Este proceso obliga a un doble carguío y genera mayores costos, pero, se debería obtener una mayor recuperación de mineral en menor tiempo (no hay estudios claros que avalen una mayor rentabilidad de este proceso, por el contrario, hay opiniones encontradas respecto del costo/beneficio). En la estación de transferencia es conveniente tener un proceso de seleccionado de material de modo de no pasar todo el Caliche por el chancador y permita separar el fino para cubrir la lámina de PVC de 0,45 mm en la base de pilas, material con contenido de mineral comercializable, ello en vez de colocar material inerte o de muy baja ley.

La otra opción es tener una unidad móvil con un sistema de distribución que cargue directamente a la Pila, en ese caso, por ser un sistema móvil con cambio de posición cada 30 días aproximadamente, implicaría un costo similar al de doble carguío por todos los trabajos complementarios que hay que desarrollar en cada cambio de posición.

El resultado de implementar una unidad como esta, significa una inversión muy alta, cuyos beneficios no han podido ser cuantificados con un nivel de certeza que avale una inversión de esta naturaleza.

Esto ratifica la necesidad de desarrollar un estudio acucioso del sistema alternativo a la tronadura como ser el uso de equipos TERRAIN LEVER expuesto anteriormente, sin duda más eficiente que

lo anterior. En una sola operación se logra remover y obtener una granulometría conveniente para el proceso.

La dotación estimada para esta actividad de chancado es del orden de 15 hombres mes solo para procesar aproximadamente entre 800 y 1.000 Toneladas por hora durante 24 horas, esta dotación no contempla el personal auxiliar para preparar el área para dejar operativo el proceso de chancado y la normalización del área en su posición anterior.

### 2.6.3 Construcción de Pila

Los yacimientos de Caliche son diferentes entre ellos como se ha señalado, no solo en su composición de minerales, también lo son en el tipo y espesores de sus estratos, esto último presenta las siguientes situaciones:

En yacimientos de Caliche de espesores entre 1 y 2 metros, en general bajo éste hay coba, lo cual facilita la preparación de la base de la pila. La altura de las pilas fluctúa entre 6 y 10 metros, eso permite liberar un área del orden de 4 veces la superficie de la Pila (considerando una pila de 125x300x8 m y un estrato medio de 1.5 m de Caliche), debido a ello, las pilas se pueden distanciar entre ellas con el objeto de disminuir la distancia de acarreo del Caliche o las pilas se dejan juntas, aumentando en ese caso la distancia de transporte. Esto amerita un análisis de costo beneficio entre asumir el mayor costo por mayor distancia de transporte a Pila en caso de optar por un manejo concentrado de la lixiviación o a la inversa, un mayor costo de distribución de agua de riego y de retorno de soluciones ricas en minerales y los costos operacionales adicionales por la dispersión de las pilas en terreno.

**Verificación:** 125 m de ancho, 300 de largo, altura de 8 m y un ángulo de reposo de 60°, nos genera un volumen de 283.400 m<sup>3</sup> con un esponjamiento final del orden de un 22% considerando la compactación por peso propio y el paso de los camiones con 60 ton de mineral transitando sobre el Caliche, ocupando una superficie de 37.000 m<sup>2</sup>. Ese mismo material en banco tendrá un volumen estimado de 232.298 m<sup>3</sup> que, para una altura media del banco de 1,5 m, representa una superficie a explotar de 154.863 m<sup>2</sup> lo que resulta ser del orden de 4 veces la superficie de la Pila.

En el caso de yacimientos de estratos de espesores de 3 metros o más, normalmente la ley de corte del yacimiento corta en un estrato que sigue siendo Caliche, pero, de muy baja ley, su estructura sigue siendo dura e irregular después de tronarse y extraerse el mineral, quedando una superficie que requiere mucha más energía para adecuarla a una futura base de pila y exige aportes de material fino en mayor cantidad que en el caso anterior. En este caso, el área disponible para la construcción de pilas después de extraído el Caliche, se reduce considerablemente, quedando área disponible del orden de 2 veces la superficie de la Pila, considerando un manto de 3 metros de altura, esto se verifica siguiendo el mismo ejemplo anterior. En estos casos se presentan diversas dificultades por la cercanía de las Pilas con la explotación del yacimiento y la lixiviación, desde daños al proceso de lixiviación por roturas de los sistemas de riego o eventualmente algún deslizamiento de alguna de estas, esto último es poco habitual pero mucho más frecuente que en las otras condiciones. A esta condición se suman los espacios requeridos para la urbanización del yacimiento como ser, áreas de circulación, líneas de riego, de brine, tendidos de líneas eléctricas y otros, resulta un área cada vez más restringida, más aún, si la altura de corte del mineral es aún mayor, ello obliga a subir aún más la altura de las pilas llegando a 10 metros o más deteriorado los resultados de lixiviación.

Las etapas de construcción de una pila son:

Fase I: Diseño de la pila

Fase II: Sub Base y Base de la pila

Fase III: Colocación carpeta impermeable

Fase IV: Colocación material fino sobre lámina impermeable

Fase V: Instalación de drenes

Fase VI: Carga de Caliche sobre material fino para conformar la pila

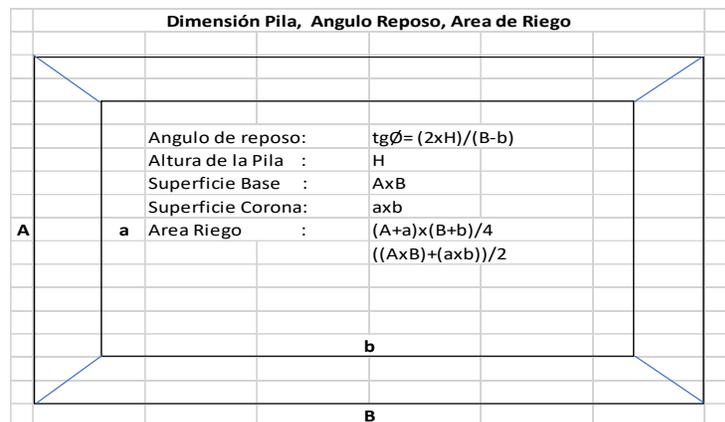
Fase VII: Construcción de pozas decantadoras para recibir solución salina proveniente del proceso de lixiviación.

### Fase I : Diseño de la pila:

Las dimensiones de las pilas, placa base, placa superior (corono) y altura, se determinan en función de la “disponibilidad del área”, la característica del Caliche extraído, la estabilidad estructural que pudiese tener y los tiempos de extracción del mineral. La altura puede fluctuar entre 4 y 10 metros, la longitud de base entre 250 y 450 m y ancho de base entre 90 y 150 m. Pueden encontrarse unidades más pequeñas y otras mucho más grande, ello principalmente con el objeto de aprovechar de mejor forma el terreno disponible por las razones expuestas anteriormente.

Una pila promedio de 125mx300mx7m, densidad de material puesto sobre pila del orden de 1.8 ton/m<sup>3</sup>, contendría aproximadamente 451.483 ton de Caliche. Con una ley de 0.0385% y recuperación de 70% mediante la remoción con explosivos y rendimientos de planta de 0.855, se envasaría aproximadamente 104 Ton de Yodo.

Con 39 pilas anuales de esta magnitud, se podría tener una producción anual de 4.000 Ton de Yodo envasado. Se estima que el rendimiento podría aumentar a un 80% o más con remoción mediante Terrain leveler o similar, en dicho caso, la cantidad de pilas se reducirían a 34 unidades anuales del tamaño indicado, y con 8 metros de altura de Pila se requerirían 33 y 29 unidades con tronadura y con Terrain Leveler respectivamente, sin duda, habría un menor costo operacional solo por este concepto.



concepto.

### Fase II : Subbase y Base de la Pila

La subbase donde se cargará la pila tiene aproximadamente un sobre ancho respecto de la base de la pila de aproximadamente 3 a 4 metros en todo su perímetro para conformar el pretil y canaleta para contener y conducir las soluciones salinas provenientes de la lixiviación hacia un pozo decantador de

donde se traspasa a otro (opcional) para enviarlas desde este último a una red recolectora gravitacional, a presión o mixta a planta concentradora donde se separará el Yodo del resto de las sales. La subbase deberá tener una pendiente longitudinal y transversal del orden del 0,5 a 1% y 1 a 2 % respectivamente, ello para permitir un escurrimiento más rápido del fluido hacia la canaleta perimetral.

Frente a cualquier imprevisto y con el objeto de evitar derrames de las soluciones ricas en Yodo y Nitratos, es necesario considerar un tiempo de respuesta aproximado de 12 horas para resolverlo, ello implica tener reservorios para 1200 m<sup>3</sup>, considerando caudales de 100 m<sup>3</sup>/hra., dimensión a ser considerada para el diseño de las pozas.

La superficie de la subbase debe ser hecha con material fino libre de partículas punzante y muy lisa para lo cual debe usarse rodillo del orden de 10 Ton. Debe revisarse toda su extensión de modo de verificar la no existencia de elementos punzantes, así como las pendientes para asegurar su escurrimiento al punto de salida predefinido, todo ello antes de iniciar la colocación del Geotextil y la lámina de PVC 0,45 mm. Hoy en día se están desarrollando membranas que permitirían tolerar de mejor forma elementos más grueso sobre la carpeta con el propósito de evitar la cama protectora de finos sobre esta y el geotextil y también los drenes.

Hay que destacar que en este proceso el mayor o menor costo de ejecución de la subbase dependerá de cómo quede la superficie después de tronado y extraído el Caliche. Si se logra llegar a la coba, los costos serán significativamente menores que si la base se desarrollase sobre un suelo rocoso e irregular. Por ello es importante conocer a cabalidad los antecedentes de la exploración de la mina, materia que contribuirá a definir la cantidad y tipos de equipos a utilizar en estos procesos para no retrasar las faenas.

Todo lo anterior, forma parte del estudio inicial en cuanto a ubicación de las Pilas, como se menciona al inicio de este capítulo y de cómo se desarrolle finalmente el proceso.



### **Fase III : Colocación carpeta impermeable.**

Usualmente se usa lamina de PVC de 0,45 mm por sus propiedades mecánicas, su menor costo y facilidad de instalación. Se debe evitar contaminar la unión de pega para evitar posteriores fugas irrecuperables de soluciones ricas en Yodo y Nitratos. Esta actividad por condiciones de temperatura se recomienda realizarse en jornada diurna y en horarios de menor polución por efecto del viento

Este proceso requiere el apoyo de una unidad de transporte para cargar, trasladar y descargar el material, preferentemente un camión Pluma de mínimo 10 toneladas. La capacidad de la pluma se recomienda que sea de mínimo 1,4 toneladas en la punta a 14 metros, ello, por todas las actividades complementarias que deben desarrollarse en las faenas de lixiviación tanto en su habilitación como mantención y desmantelamiento.

Consideraciones para tener presente:

- Condiciones atmosféricas (temperatura, viento, agua)
- Disponibilidad de terreno para desplegar las membranas
- Grado de polución al momento de instalar y dirección del viento.
- Deben disponerse pesos para la sujeción de la membrana por ráfagas de viento que suelen levantarse.

#### **Fase IV : Colocación material fino sobre lamina impermeable.**

Lo que controla el espesor de la capa protectora de la lámina de PVC, es el tamaño del Caliche



**Preparacion de base y carguío de pila**

proveniente de la mina y tipo de material a utilizar sobre la lámina.

Una vez terminado y revisado el proceso anterior, (pudiéndose desarrollar por tramos), se inicia la colocación de material fino, libre de elementos cortopunzantes, cuya altura fluctúa entre 50 y 100 cm., dependiendo si es arena o chuca o similar. La chuca que proviene de la sobrecarga de la mina en general contiene elementos corto punzante, por tanto, el espesor con este material debiera ser mínimo 80 cm. Se requieren espesores más altos si se utilizan materiales

provenientes del chancado y/o seleccionado si los hubiese, pero igualmente son de alto riesgo, en consecuencia, lo ideal sería disponer depósitos naturales de suelos finos de tipo arenosos dentro de la pertenencia y a una distancia económicamente conveniente, en dicho caso la altura de la capa podría ser 50 cm suelta. Una vez desechadas las Pilas, se puede disponer de éstas para su uso en esta actividad, por poseer características favorables desde el punto de vista de su granulometría lograda a raíz del proceso de lixiviación.

Las distancias de transporte de material fino, punto a punto, pueden alcanzar a 5 km o más.

En esta etapa, la atención se centra en el cuidado de la carpeta de PVC, procurando evitar un déficit de material de protección sobre ésta y dejar despejado el perímetro de la base para que recoja la solución rica en sales (Brine) proveniente del proceso de lixiviación de modo que escurra rápidamente a la poza receptora y decantadora.

#### **Fase V : Instalación de drenes:**

Terminado de colocar la capa de protección, se procede a la instalación de drenes (DRENAFLEX o similar de 4” a 6”) con el objeto de facilitar la salida de las soluciones desde la base al interior de la pila, ello ayuda a bajar el nivel freático al interior de ésta. Estos normalmente se entierran para protegerlos de la caída de rocas de gran dimensión que rueda por el talud durante la descarga del mineral, pudiendo desplazarlos y dañarlos. (Mineral proveniente de zonas tronadas)

La metodología más rápida, pero que requiere la pericia del operador y un control visual rigurosos, es la utilización de una Motoniveladora inclinando la hoja de modo de generar una zanja en “V” de profundidad suficiente para instalar el dren y no dañar la carpeta. Equipos que están disponibles para los trabajos de apoyo al desarrollo de mina, construcción de caminos y bases de Pila. Podrían utilizarse otras opciones, pero sería un equipo específico para ello, como ser un equipo más pequeño con zapata ancha y con una pieza especial diseñada para ello. (línea de mini equipos de construcción)



**Generación de información mediante**

**registros de producción, control de rendimientos y KPI**

2.6.3 Construcción de Pila Fases I-II-III-IV-V y VII			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión	Nº	Identificación del área donde se emplazará la Pila, hacer levantamiento topográfico y determinar una posición que minimice el trabajo previo de preparación del terreno, considere accesos viables para la carga de ésta y pendientes mínimas requeridas, registrar cada una de las etapas de proceso para asegurar pendientes y contabilizar volúmenes y superficie.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimientos operativos y otros, parámetros respecto de dimensiones estándares y pendientes, de subbase, base y pozas, control de polución, temperatura, espesor y material para la capa de protección de la membrana etc.
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores, cuadrilla para colocación de membrana y drenes
4	Equipos involucrados		Equipos de apoyo mina: camiones tolvas, cargadores, motoniveladora, bulldozer, excavadora, accesorio opcional martillo neumático, rodillo compactador, camión aljibe, camiones pluma, camionetas
5	Rendimiento por equipos	hrs/m3 - hrs/m2	Horómetro de inicio y termino, kilometraje, combustible, detenciones y causas
6	Cuantificación del trabajo	m3 - m2 - ml	Material extraído de la subbase, aporte de material fino en la subbase y base como protección de la membrana de HDPE, cantidad de membrana instalada, pegamento utilizado, drenes colocados.
7	Rendimiento de procesos	hrs.eq/Pila HD/Pila	Número de unidades ejecutadas por unidad de tiempo.
8	Materias primas		
9	Insumos y/o servicios críticos		Certificación de calidad de todos ellos, membrana HDPE, pegamento, drenes, taller de mantención: “lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos críticos, elementos de desgaste diversos tipos”, servicio combustible
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

## Fase VI : Carga de Caliche sobre material fino para conformar la pila.

Terminada la colocación de los drenes y antes de iniciar la construcción de la rampa, se sugiere instalar una cañería de HDPE de un diámetro equivalente para conducir del orden de 100 m3/hra en la canaleta en la zona de acceso a la base de la Pila (ancho 18 metros) para evitar la rotura del sector durante la ejecución de la rampa, quedando está instalada definitivamente para permitir la circulación de las soluciones proveniente de la lixiviación (BRINE). Realizada esta actividad, se inicia el carguío del Caliche proveniente de la mina, conformando la rampa de acceso, evitando la entrada de los camiones de gran tonelaje directamente sobre la base protectora de la membrana previamente construida. Este requerimiento y su dimensión dependerá si el acceso está aguas abajo de la pila (mayor porque se concentran los flujos) o en el extremo de aguas arriba (menor, por un flujo casi nulo).



La rampa debe tener una pendiente máxima de 10%, por costos, se recomienda desarrollarla dentro de la base hasta lograr la altura predefinida de la Pila y de allí comenzar a extenderse generando primero una plataforma a cota de proyecto para recibir la flota de camiones evitando tener tiempos de cola indeseables. El punto de acceso se determinará según las condiciones de terreno, idealmente aguas arriba de la Pila y al centro de la cara más angosta para tener más longitud para el desarrollo de la rampa.

Este proceso debe ser controlado de modo de mantener la horizontalidad de la corona de la pila para evitar acumulación de agua o derrames de ésta durante la lixiviación, que pudiera arriesgar la estabilidad estructural de la pila, controlar la descarga del mineral para evitar accidentes durante este proceso, y observar que no se produzcan daños en los drenes instalados, incorporando la señalética adecuada y/o señaleros para actividades diurnas y nocturnas para esta operación.

Concluido lo anterior, se procede a escarificar la superficie final a una profundidad mayor a 1 mt. (a la profundidad máxima que permita el root del Bulldozer) con el objeto de soltar el Caliche allí depositado y compactado por la circulación de los camiones de alto tonelaje durante la fase de carguío y así facilitar la impregnación y percolación del agua de riego. Paralelamente se procede a escarificar la rampa de acceso y rellenarla con el mineral previamente dispuesto arriba de la Pila para este objetivo. Finalmente se verifica topográficamente este trabajo, corrigiendo los desniveles si los hubiese.

### Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.6.3 Construcción de Pila Fase VI Carga de Caliche			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión	Nº	Área identificada en proceso 2.6.3 Construcción de Pila Fases I-II-III-IV-V y VII
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimientos operativos, de seguridad y otros, Leyes del mineral (Yodo y Nitrato de Sodio), densidad del Caliche en Pila, detalle de acceso a base de pila para carguío del Caliche, rampas de acceso dentro de la pila y su pendiente < 10%, tubo HDPE acceso a rampa y cierre de pila.
3	Personal involucrado		Supervisor, operadores, señaleros
4	Equipos involucrados		Equipos de mina: camiones tolvas, cargadores, bulldozer, wheeldozer, camión aljibe, camiones pluma, camionetas
5	Rendimiento por equipos	ton/hrs	Horómetro de inicio y termino, kilometraje camioneta, combustible, detenciones y causas
6	Cuantificación del trabajo	Ton	Caliche cargado a Pila, leyes de Yodo, Nitrato de Sodio, cantidad de Yodo y Nitrato de Sodio
7	Rendimiento de procesos	Ton/día	Número de unidades ejecutadas por unidad de tiempo.
8	Materias primas		
9	Insumos y/o servicios críticos		taller de mantención: "lubricantes - filtros de aire y aceite, repuestos críticos, elementos de desgaste diversos tipos", servicio combustible.
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

### Fase VII: Construcción de pozas decantadoras para recibir solución salina proveniente del proceso de lixiviación.

Paralelamente a la construcción de las bases o al término de esta y no más allá de 15 días de iniciada la lixiviación de la pila, las pozas deberán estar terminadas y operativas.

Según como se defina la o las pozas, podrían desarrollarse con un equipo tipo Terrain Lever (niveladora de terreno), pero no puede descartarse el uso de explosivos. Al usar explosivos, la remoción debe ser hecha durante la etapa de preparación de la subbase.

Hay que tener presente que esta es una de tantas soluciones que podrían darse, como se ha dicho, esto depende del relieve del terreno donde se encuentra el Caliche y la ubicación estratégicas de las Plantas de Proceso.



## 2.7 Métodos de extracción del Salitre y Yodo

### 2.7.1 Proceso de lixiviación en minería no metálica

Fotografía de la corona de una pila ruteada y al lado la implementación del riego



El proceso de lixiviación consiste en incorporar riego al mineral no metálico cargado en Pila con el propósito de disolver las sales contenidas en este, para posteriormente separarlas vía distintos procesos físico - químicos.

Para llevar a cabo la Lixiviación, se requiere **agua**, idealmente agua dulce en su fase inicial, en ausencia de esta, agua salada (a ambas se le denomina agua cruda), el agua salada proveniente del mar y complementaria agua feble, aquella resultante del proceso de extracción del Yodo en la Planta Química (Concentradora) que retorna al sistema sin éste y con todo el resto de elementos solubles en agua. (Parámetros medios de agua de mar: densidad de 1.028 gr/lts.; salinidad de 3.5%; Ph entre 7.5 y 8.4; 0.052 ppm de I<sub>2</sub>)

El riego de la pila se lleva a cabo a una tasa predefinida en el estudio conforme a las características del material a lixiviar, (tasas entre 1 y 3 lt./m<sup>2</sup>/hr y excepcionalmente mayores a estas ). Estas tasas se van corrigiendo de acuerdo con los resultados de terreno analizando diaria e individualmente cada pila. La solución salina rica en Yodo y Nitratos proveniente de la Lixiviación de denomina

“**Brine**” la que fluye por el interior de la pila hasta las canaletas laterales hacia el punto de recolección (pozas).

El Brine como el agua Feble tiene un PH que fluctúa entre 1.2 y 2. El Brine, se acidifica hasta lograr un PH del orden de 1.8 para su procesamiento en Planta Blow Out.

**Agua Feble** : también llamada “Agua Vieja”, es una salmuera con PH del orden de 1.2 a 2 proveniente del proceso de separación del Yodo de la solución rica en este mineral y en Nitratos (Brine). Esta agua esta acidificada producto del manejo de la acidez del Brine al ingreso a la Planta Química para lograr la separación del Yodo del resto de las sales

Durante el proceso de lixiviación se genera una dinámica de Pilas, Pilas nuevas entrando, Pilas antiguas en proceso y pilas que van saliendo del sistema por haberse agotado la extracción rentable del mineral de estas últimas. Estas Pilas se clasifican en:

**Pilas de Cabeza** : son las Pilas nuevas que son regadas con agua cruda (dulce o agua de mar) por un tiempo limitado no más allá de 2 a 4 meses dependiendo de la disponibilidad de esta.

**Pilas de Cola** : son las Pilas más antiguas que se riegan con agua feble, estas se dejan de regar con agua dulce o salada no solo por ser éste un recurso muy limitado, sino que por la necesidad de recircularla para obtener soluciones concentradas en Nitrato.

Cuando la concentración de Nitratos en el agua feble sobrepasa los 100 grs/lt., ésta se purga a las Piscinas (o Bateas) de Evaporación Solar (PES o BES) para continuar con el proceso de acumulación y cosecha de sales de Nitratos y posterior proceso en Planta de Nitrato para la obtención del Nitrato de Sodio o mediante la adición de KCL (Cloruro de Potasio o Muriato) se obtenga Nitrato de Potasio.

Las Pilas de cola y de cabeza son regadas con tasas similares y su duración depende del tipo de Caliche cargado y también de la granulometría de este (hay distintas experiencias, de 6 meses, otros de 1 año, otros de 2 o más años). Todo ello está en función del contenido de arcilla, granulometría u otras características del Caliche, altura de la pila, tasas de riego, temperatura ambiente, concentraciones mínimas a requerir en el proceso de la Planta Química (Planta Concentradora) para extraer el Yodo, etc.

Sin duda, lixiviar todo con agua dulce o agua salada es mucho más eficiente, pero eso tiene un costo que no permite rentabilizar un proyecto de esta naturaleza, aun cuando éste se encuentre a

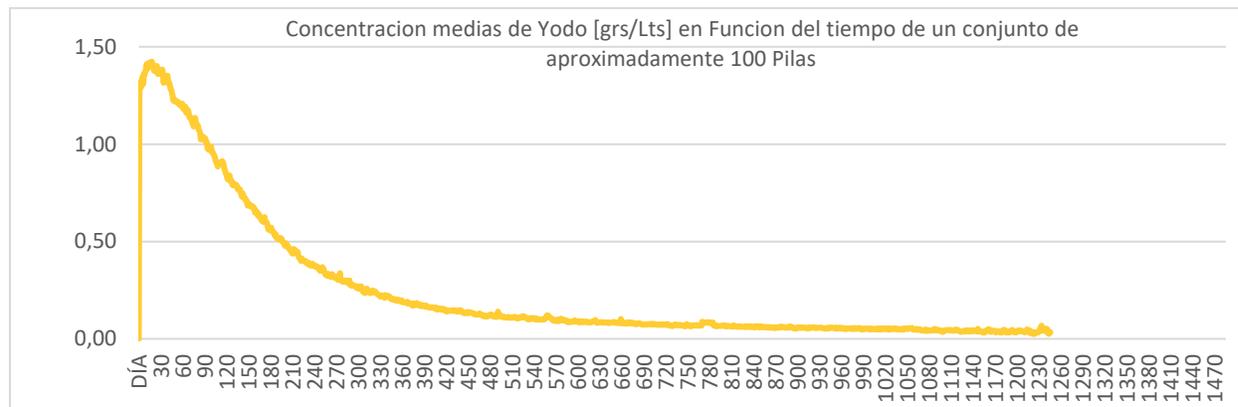


libre disposición en el mismo lugar dónde se concentran las operaciones mineras, porque ello implicaría disponer de una cantidad muy grande de piscinas de evaporación solar para recibir dicha agua con muy baja concentración de sales para posteriormente evaporarla para la cosecha de los Nitratos, haciendo de éste un proceso muy lentos en el tiempo por ende muy ineficiente y oneroso, mayor inversión en grandes piscinas y además atenta contra las medidas medioambientales por un desperdicio enorme del recurso agua.

Las pilas se abandonan tomando en consideración una serie de variables como ser:

- a. La concentración individual y la media del conjunto de pilas en operación sea la necesaria para que la Planta Química opere eficientemente y sea comercialmente rentable.
- b. La disponibilidad de agua.

La “concentración promedio resultante del aporte de todas las pilas en operación”, se espera sea mayor a 0,25 gr/lit. Idealmente 0,36 gr./lt. Esto sin duda requiere de un proceso de lixiviación muy controlado con un tren de carga de mineral al ritmo preestablecido y con las leyes dentro de los rangos predefinidas. Mientras más alta sea la concentración de entrada, mayor será el rendimiento de la planta concentradora considerando que la salida de Yodo por la cola es casi una constante. (El rendimiento planta concentradora puede llegar hasta un 95%)



### 2.7.1.1 Recursos generales para la lixiviación.

Considerando que estos minerales se encuentran principalmente entre Zapiga y Taltal, concentrándose las mayores reservas en la región de Tarapacá y Antofagasta, zonas con muy poca disponibilidad de agua dulce, cuyas reservas se han ido agotando, por consiguiente, se ha ido restringiendo su uso a la minería, priorizando la agricultura y el uso humano. La industria está siendo presionada para extraer agua de mar y su posterior eventual desalinización para los procesos industriales y para el uso humano en la Industria.

Lo anterior implica la implementación de sistemas de captación de agua de mar y su impulsión al punto de destino, esto no solo contempla la construcción de una captación, estaciones de bombeo, tendido de líneas para conducir el agua, líneas eléctricas, etc., sino que además se deben llevar a cabo una serie de procesos reglamentarios de alto costo relacionados con medidas ambientales, ecológicas, arqueológicas, servidumbres, obras de mitigación frente a eventuales fenómenos naturales y otros como ser los costos de desmovilización por la ley de cierre vigente en estos momentos al término de la vida útil de la mina, los que deben quedar asegurados con una póliza de seguros, de acuerdo con la nueva ley, desde el momento del inicio de las actividades de construcción, tanto de estas obras como todas las correspondiente a plantas, campamento, talleres, servicios y desarrollo de mina.

Aproximadamente el 93% del agua cruda se destina a riego, 5% agua industrial desalinizada si fuese el caso para consumo humano, uso industrial y lavado de equipos y 2% riego para minimizar la polución.

El agua debe ser manejada de modo eficiente y manteniendo las reservas necesarias para cubrir eventos tanto de la naturaleza como de las operaciones, por tanto, se deben mantener reservorios para un periodo mínimo de dos semanas para mantener las operaciones en regímenes normales.

Para distribuir el agua de riego y recoger las soluciones ricas en minerales (brine) se debe implementar las redes y sistemas de bombeo, inversiones muy significativas en toda la industria minera y particularmente en la de extracción de Yodo y Nitrato, dada la extensión territorial de estas operaciones unitarias (cada Pila).

Normalmente el riego se realiza con micro aspersores, sin embargo, en algunos casos se usan aspersores o riego por goteo. Es necesario controlar los flujos de riego en cada Pila, así como los flujos de retorno de soluciones ricas en minerales (Brine), para lo cual se recomienda la instalación de flujómetros.

Debe tenerse presente las condiciones de viento y horarios de estos y sus velocidades, esa información es necesaria para determinar el tamaño de la gota de agua de riego de modo de diseñar el riego y sus horarios de forma tal que este sea eficiente reduciendo las pérdidas de agua y mejorando la extracción del mineral.

Dada las condiciones altamente agresivas en materia de corrosión y abrasión de los procesos en general, es necesario la utilización de elementos apropiados para ellos. En general se recomienda equipamiento desarrollados con metales o plásticos resistentes a la corrosión y la abrasión, Esto también es válido para el equipamiento y la materialidad de las plantas de proceso.

Las líneas de alimentación como de retorno son generalmente de HDPE y las canaletas revestidas con láminas de HDPE de 1 mm.

La dotación de personal para llevar a cabo esta actividad es del orden de 144 hombres mes distribuido en los diferentes turnos y actividades considerando que se ocupan del montaje de todo el sistema, incluido la colocación de membranas, drenes, tendido de líneas matrices de riego y de retorno y la implementación del riego en la corona de la Pilas, montaje de bombas y desmontaje de los sistemas.

## Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.7.1 Lixiviación			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión	Nº	Lixiviación: <b>implementación</b> de riego en pilas y desarrollo líneas de impulsión de agua fresca (agua de mar) y feble y retorno de salmueras ricas en minerales (Brine) y tendidos de líneas eléctricas e implementación de tablero y controles de instrumentación por departamento eléctrico. <b>Operación</b> de la lixiviación propiamente tal.
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimientos operativos y de seguridad y otros
3	Personal involucrado		Jefe del área, supervisores de pilas, de desarrollo de impulsión y retorno, de manejo piscinas evaporación solar, operadores, de equipos, personal para ejecución del trabajo.
4	Equipos involucrados		<b>Implementación</b> de Pilas y Redes de impulsión y retorno: camiones pluma, equipos de electro fusión, de extrusión y termofusión, retroexcavadora, grupos generadores, camionetas. Eventualmente camiones planos, grúa y equipos de apoyo mina. <b>Operacionalmente:</b> bombas diversos tipos, válvulas electro actuadas y manuales, instrumentación de control y apoyo sistema eléctrico. Registro de detenciones y sus causas.
5	Rendimiento por equipos	hrs. Km Lts m <sup>3</sup> /hora	<b>Implementación:</b> Monitorear funcionamiento de cada equipo individualmente para verificar que se encuentre trabajando dentro de rangos normales, horómetros, kilometraje y combustible <b>Operacionalmente:</b> de cada bomba y conjunto de bombas (m <sup>3</sup> /hora) y monitoreo de funcionamiento.
6	Cuantificación del trabajo	cu-ml-m <sup>2</sup> -m <sup>3</sup> -lts. - kg-Ton- kwh m <sup>3</sup> /hora	<b>Implementación:</b> Detalle de cantidades y calidades de todas las redes de impulsión y retorno instaladas y sus piezas especiales y válvulas y registrando kilometraje en cada nudo y cada 100 metros, igual detalle para la implementación de cada pila y pozas receptoras, reservorios y de traspaso. <b>Operacionalmente:</b> Riego de agua mar, feble y extracción del Brine, cantidades de mineral extraído por cada unidad, consumos de energía, determinar el agua ocluida, vientos, evaporación,
7	Rendimiento de procesos	grs./lts. Kwh/ KgI <sub>2</sub> - m <sup>3</sup> / KgI <sub>2</sub> Ton/ u de Tpo. m <sup>3</sup> /hora	Toneladas de Yodo extraído y Nitrate de Sodio purgado a piscinas de evaporación solar y Nitrate de Sodio despachado a planta de proceso de Nitratos y de cada pila. Concentraciones, caudales por material o mineral cargado y/o extruido o por unidad de superficie o volumen etc.
8	Materias primas	Kg-mp/ Kg I <sub>2</sub>	Azufre, Ácido Sulfúrico, Hidróxido de Sodio, Metabisulfito. Agua Industrial, todas certificadas
9	Insumos y/o servicios críticos		Sellos e impulsores de bombas, equipos de respaldo como bombas, motores de bombas, instrumentos, extractores de gas, caldera, energía de respaldo, Servicio Talleres mantención, otros
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

### 2.7.2 Curvas de extracción del Mineral en el tiempo y otras

Representación gráfica para las Pilas indicadas en el siguiente cuadro:

Pila	Caliche cargado [ton]	Yodo cargado [Kg]	Superficie Corona [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]
Pila 1	529.459	206.489	22.554	9,7
Pila 2	420.812	163.875	26.535	7,2
Pila 3	378.717	147.700	27.000	7

Las tres pilas consecutivas están cargadas desde una misma zona de extracción, lo que no quiere decir que esta zona sea homogénea. Las características pueden variar en el siguiente metro.

Tonelaje Caliche cargado : Pila 1 > Pila 2 > Pilar 3  
 Kilos de Yodo cargado : Pila 1 > Pila 2 > Pilar 3  
 Superficie de la corona : Pila 1 < Pila 2 =< Pilar 3  
 Altura de la Pila : Pila 1 > Pila 2 >= Pilar 3

### Gráfico 1 Razón de Lixiviación [m3 de riego /ton Caliche cargado]

Lo primero que hay que observar es la superficie de la corona de las Pilas, la Pila 3 > Pila 2 > Pila 1 y las alturas y el tonelaje cargado están a la inversa según se observa en el cuadro.

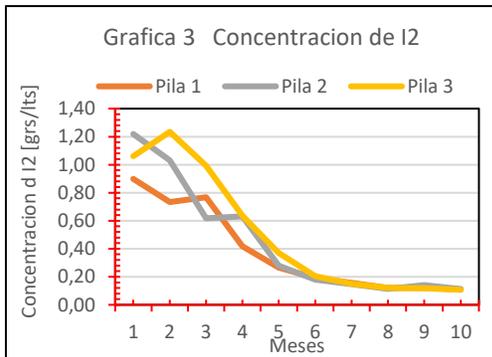


A igualdad de tasa de riego las pilas con mayor superficie de corona recibirán mayor cantidad de agua. La pila 1 está recibiendo menor cantidad de agua por cantidad de Caliche cargado y esto se debe a la altura de la Pila que reduce la corona y aumenta los taludes, que no tienen un buen riego. Por esa razón, si los espacios disponibles para instalar Pilas son insuficientes, se genera este problema y es necesario a posterior analizar la viabilidad técnica y económica de implementar un programa paralelo para hacer el remonte de taludes y aplicar una segunda etapa de lixiviación.

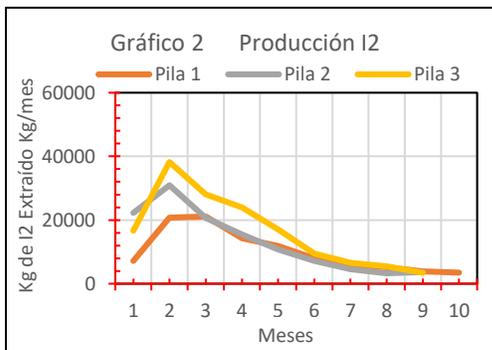
### Gráfico 2 y 3 Extracción de Yodo en el tiempo

Superficie de la corona : Pila 1 < Pila 2 < Pila 3  
 Altura de la Pila : Pila 1 > Pila 2 >= Pila 3

Ambas gráficas que representan la producción de la Pila. La gráfica 2 muestra en términos absolutos las Ton de Yodo extraída mes a mes, la que va disminuyendo en el tiempo como es esperado, y la gráfica 3 muestra la variación de la concentración que va teniendo el Brine en la medida que transcurre el tiempo.



En la **Gráfica 2** La Pila 1 muestra un periodo sin variación y en la **Gráfica 3** La Pila 1 y 2 presentan un periodo de 1 mes que mantiene su concentración sin variar, al observar todas las gráficas, no hay indicios de algo anormal, en consecuencia, esto puede deberse a un desfase del registro de datos.



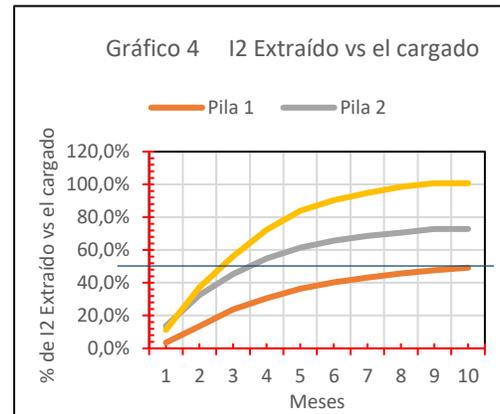
Al analizar estas dos pilas (2 y 3), sus tonelajes, superficies y alturas son muy similares, sin embargo, sus resultados son muy diferentes, ello puede deberse entre otros factores al tipo de mineral, la granulometría, la ley real del Caliche cargado, el acomodamiento del mineral durante el proceso de lixiviación lo que va generando vías preferenciales de flujo durante el proceso de lixiviación que tienden a estabilizarse en el transcurso del tiempo. Sin embargo, no se reflejan alteraciones en la gráfica 4, pero la **Gráfica 1** señala que esta tuvo una menor irrigación por tonelaje de Caliche cargado, la **Gráfica 6** muestra que el riego fue consistente en los 3 casos, lo que inclina a pensar que ello obedece a un problema con la información de la ley cargada. Las 3 Pilas muestran un comportamiento muy similar a contar del 7º mes, donde comienzan a igualarse las concentraciones de estas, son similares y del orden de 0,15 grs/lit. de Yodo.

tonelaje de Caliche cargado, la **Gráfica 6** muestra que el riego fue consistente en los 3 casos, lo que inclina a pensar que ello obedece a un problema con la información de la ley cargada. Las 3 Pilas muestran un comportamiento muy similar a contar del 7º mes, donde comienzan a igualarse las concentraciones de estas, son similares y del orden de 0,15 grs/lit. de Yodo.

#### Gráfico 4 Extracción de Yodo en el tiempo en porcentaje

Muestra la extracción acumulada en el tiempo en función de la cantidad de Yodo declarada por el departamento de Mina. Aquí tenemos situaciones que ameritan ser revisadas durante el proceso considerando que la lixiviación establece una recuperación de mineral dentro del rango de 65 a 75% con los sistemas tradicionales de remoción del Caliche mediante explosivos y sin chancado.

**Pila 3:** sobrepasa el 100%, “no puede extraerse más de lo que se colocó”, esto significa que la pila fue cargada con Caliche que tiene más ley dado que sus dimensiones y densidad del Caliche confirman el tonelaje. El error de información tiene al menos 6 orígenes probables:



- La exploración
- Laboratorio de análisis de los sondajes
- La modelación de los datos
- El procesamiento de la información por parte de la unidad de Mina
- Errores en la toma de muestras en terreno por parte de la unidad de Lixiviación
- Errores de Laboratorio de la Planta

El tonelaje cargado puede ser verificado en cualquier momento dado los distintos registros que se llevan en las distintas etapas del proceso.

En los casos (a) y (b) una exploración con sondajes en una cuadrícula de 33\*33 podría detectar la diversidad de resultados que se pudiesen estar dando en algunos sectores, pero ello no necesariamente refleje un error, más bien confirma las variaciones que pueden encontrarse en este tipo de yacimientos.

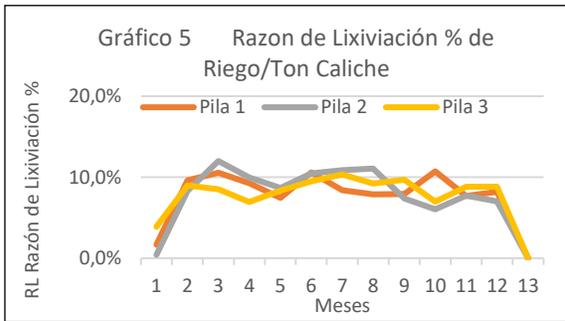
En el caso (c), la transcripción de datos, por lo general en una sola mano, muchos o casi todos ellos se traspasan directamente de planillas a software cuya modelación que se realiza cuando se tiene una cantidad de información importante, proceso en el cual es difícil precisar distorsiones dada la características de estos yacimientos, incluida sus condiciones de borde, por ello, cuando se detectan situaciones como estas en forma frecuente, amerita hacer verificaciones antes de iniciar la explotación de una determinada área, especialmente en zonas de borde.

En el caso (d) puede ocurrir algo similar al caso (c) en cuanto al procesamiento de información, sin embargo, aquí si se puede apreciar en terreno si el ingeniero de mina es experimentado considerando que es un proceso desarrollado día a día.

Tanto el (e) como el (f) es poco probable ya que se están tomando diariamente mediciones y durante meses, pudiéndose detectar tempranamente si hay distorsiones en las mediciones.

**La Pila 2** tuvo un comportamiento dentro de lo esperado y la **Pila 1** bajo lo esperado, en este último caso, como se ha dicho, pudo haber información deficitaria respecto de la ley del Caliche cargado.

**Gráfica 5 Razón de Lixiviación [% de riego mensual /ton Caliche cargado]**

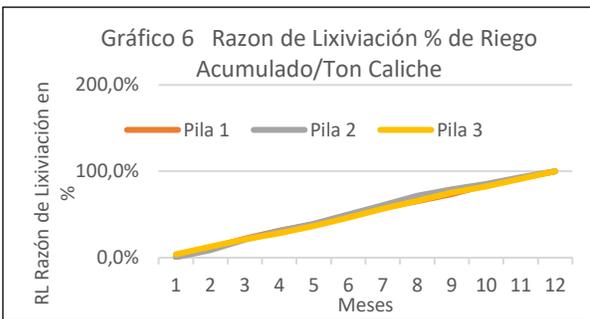


Muestra la variación de la cantidad de agua entre distintos periodos de tiempo, esto puede deberse principalmente a los siguientes factores:

Variaciones para equilibrar los riegos en función de la disponibilidad de agua.

Por saturación de agua en la superficie de la corona lo que justificaría la reducción de riegos transitoriamente para evitar comprometer su estabilidad estructural, lo que puede deberse a varios factores como ser su granulometría, el contenido de arcillas y/o limos, la compactación del mineral en la Pila, el tipo de Caliche o la generación de conductos preferenciales de escurrimiento de agua. Estos últimos deben atenderse a la brevedad de lo contrario bajarán los rendimientos de extracción del mineral.

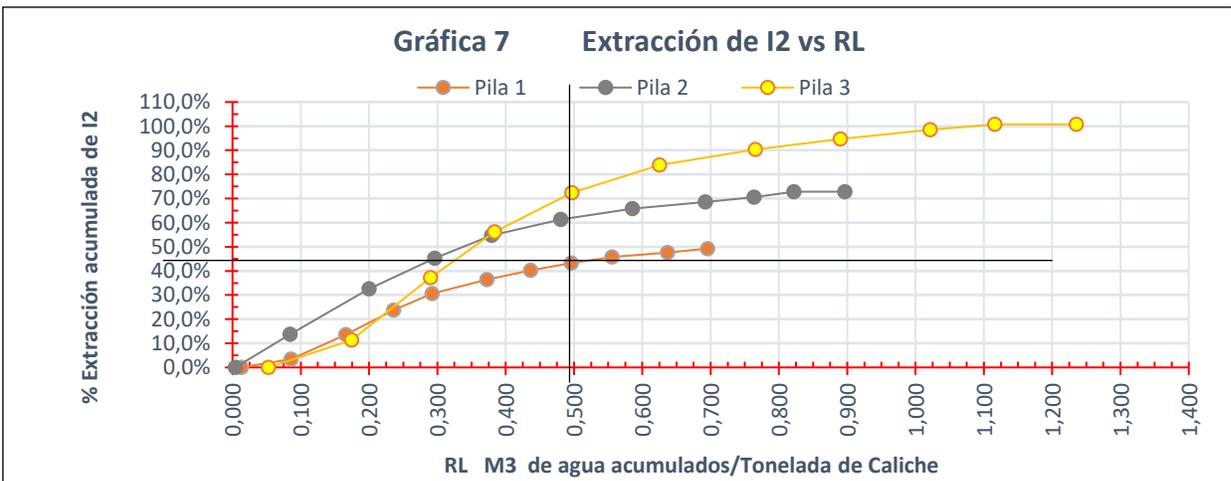
**Gráfica 6 Razón de Lixiviación [% de riego acumulado /ton Caliche cargado]**



La gráfica es muy clara, muestra un proceso de lixiviación muy uniforme para las 3 Pilas. Esto confirma las observaciones respecto del problema de la ley informada en las pilas 1 y 3, adicionalmente, la Pila 1 tiene una altura bastante mayor, disminuyendo la superficie de corona y aumentando la de taludes, considerando además que el riego en taludes es más deficiente por el escurrimiento superficial, no infiltrándose en las

mismas proporciones y por ende un rendimiento más bajo.

**Gráfica 7 Porcentaje de Extracción acumulada de I2 versus M3 de agua acumulados/Tonelada de Caliche (razón de lixiviación)**



Representa la extracción de Yodo acumulada en función de la Razón de Lixiviación en m3/Ton de Caliche cargado. Esta gráfica muestra claramente el problema con las leyes informada para las

pilas 1 y 3 porque los antecedentes muestran un buen trabajo en la lixiviación, tratándose de Caliche cuyas características son muy similares, salvo que haya habido una extracción en zonas de borde con mayor contenido de arcilla y/o limos y menor ley como se ha señalado anteriormente. Sin embargo, es importante destacar que la altura de las Pilas influye por el hecho de reducir la superficie de la corona y aumenta la superficie de taludes, estas como se ha indicado son más ineficientes en materia de riego y extracción del mineral.

### **Reproceso de Pilas para obtención de Yodo y Sales de Nitrato:**

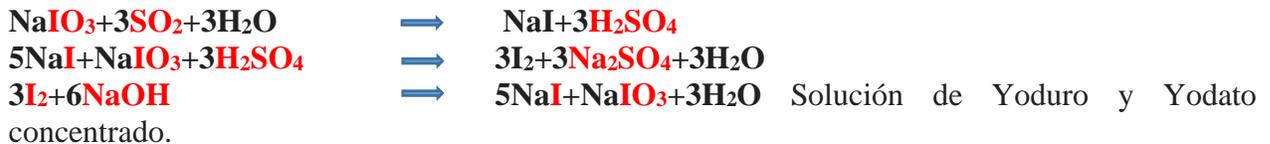
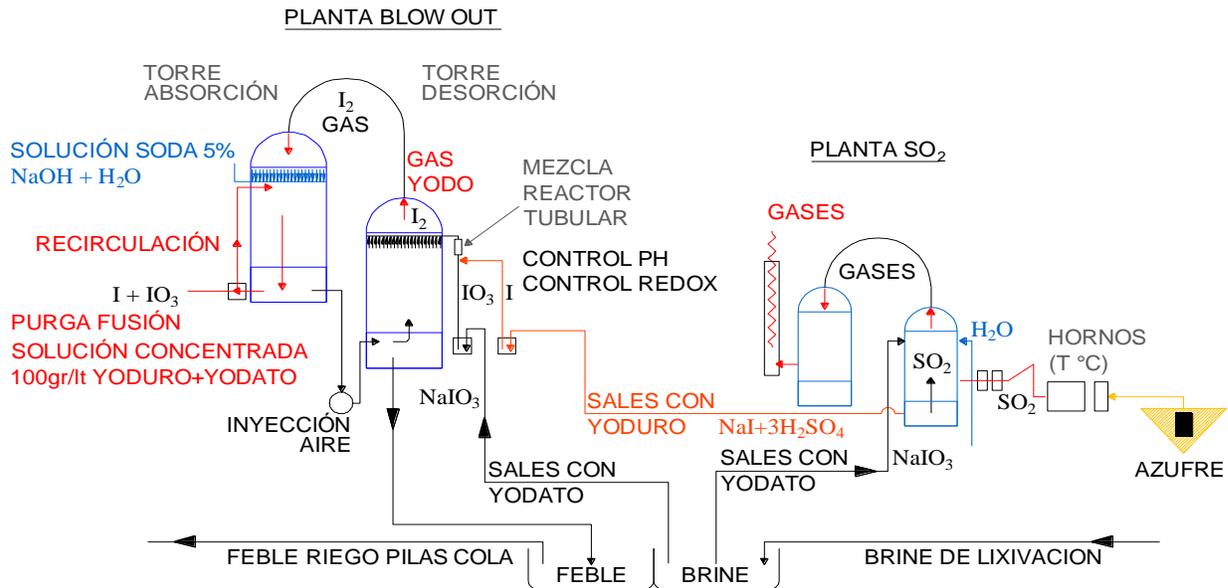
Según los resultados del cierre de cada pila, amerita revisar el contenido de Yodo remanente en los taludes y también al interior de la pila y analizar según esos resultados la opción de implementar una segunda etapa de lixiviación consistente en el remonte de los taludes redistribuyéndolo en la corona. Estos representan en volumen del orden del 8% a 10% del Caliche cargado en la pila y su lixiviación es más débil, por tanto, habría un aporte marginal que sumado a lo que podría haber quedado potencialmente extraíble dentro de la pila, podría resultar económicamente conveniente hacerlo. (Costo beneficio). La oportunidad de este eventual proceso puede considerarse junto con el proceso final de lavado de la Pila donde finalmente se extrae el resto del Nitrato que ha recirculado con el agua Feble en el proceso de extracción del Yodo.

Del total del Yodo cargado, se espera que una buena lixiviación extraiga del orden del 65 al 75% del mineral, en general el conjunto de todas ellas está más cercano al 75%. Con medios de remoción del Caliche como un sistema Terrain Lever se podría lixiviar del orden del 80% o más. Esto es lo que se considera en el estudio económico más adelante desarrollado. En el caso del Nitrato se espera una lixiviación del orden del 65%.

## 2.7.3 Plantas Procesadoras

### 2.7.3.1 Planta Concentradora (Planta Química) para separación del yodato yoduro del resto de las sales

#### Esquema Proceso Planta Concentradora con Torres tipo Blow Out Proceso de Cortadura de Yodo con Anhídrido Sulfúrico



#### Identificación de los distintos elementos químicos:

I	Yoduro
I <sub>2</sub>	Yodo Gas
IO <sub>3</sub>	Yodato
NaI	Yoduro de Sodio
NaIO <sub>3</sub>	Yodato de Sodio
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de Sodio
NaOH	Hidróxido de Sodio (Soda)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Azufre

En el caso de operar con Bisulfito las reacciones son las siguientes:



Consumo en esta operación es del orden de 2 Kg de Bisulfito por Kg de Yodo

Todas las soluciones de sales (BRINE) provenientes del proceso de lixiviación llegan a piscinas recolectoras donde se monitorea la concentración de Yodo y su PH, si fuese necesario, se acidifica hasta lograr un PH entre 1,5 y 2, luego es despachado a la **PLANTA CONCENTRADORA** donde se inicia el proceso de separación del Yodo del resto de las sales, extracción que puede ser por distintas metodologías como:

- Flotación y extracción por solventes
- Blow Out COSAYACH
- Blow Out DSM – ACF – ANSA

Presentaremos el **Proceso BLOW – OUT DSM – ACF - ANSA** por considerarse más limpio y eficiente comparados con otros utilizados en el mercado nacional, éste utiliza básicamente los siguientes productos químicos y alternativos que son:

- Ácido sulfúrico de alta pureza
- Hidróxido de Sodio (Soda caustica liquida)
- Azufre granulado de alta pureza y bien graduado
- Metabisulfito en saco (alternativo) en caso de problemas con la Planta de SO<sub>2</sub>
- Agua industrial libre de contaminantes

### **Proceso utilizando Torres de Blow Out (TBO) y SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH**

Las soluciones salinas (solución de BRINE que contiene los dos productos más importantes que son el yodato de Sodio NaIO<sub>3</sub> y el Nitrato de Sodio NaNO<sub>3</sub>) con concentraciones de Yodo de 0.20 a 0.36 g/l se separan en dos flujos de distintos volúmenes, uno se va a la torre de SO<sub>2</sub> donde pasa la solución en contracorriente, transformando el yodato en yoduro, luego ambas soluciones pasan por un reactor de cortadura antes de ingresar a la torre de Blow Out (torre de desorción) siendo monitoreado instrumentalmente el PH (rango 1,5 a 2) y los voltios (rango 0,45-0.50 ) por un sistema REDOX. El Yodo sublimado se controla al interior de la torre de desorción donde pasa de la fase acuosa a la fase gaseosa, ello por la característica fisicoquímica de este como ser hidrófobo (inmiscible con el agua) y aerofilo (gran afinidad con el aire), separándose el Yodo de la solución salina, esta última se va como agua feble o solución de cola y el Yodo sublimado se traspasa a la torre de absorción por medio de la inyección de aire a presión cuya capacidad de flujo está relacionada con el diámetro de las torres y sus volúmenes. En la torre de absorción se captura el Yodo con una solución de soda caustica entre 4% y 5% y se recircula el tiempo necesario hasta llegar a concentraciones de 100 gr/lit. o más, solución en la que el Yodo se ha descompuesto en yodato y yoduro. Esta solución es enviada posteriormente a la **PLANTA REFINADORA** para obtener el producto final de Yodo metálico en forma de prill (esferas macizas, no huecas, de 2 a 3 milímetros de diámetro).

La producción de flake (Yodo tipo escama o laminado) hoy día ya no se realiza, comercialmente es rechazada porque tempranamente se aglomera y dificulta su trabajabilidad en la etapas Industriales siguientes.

En la eventualidad de tener que detener la Planta de SO<sub>2</sub>, el proceso se continua con la adición de metabisulfito.

Las torres de desorción y absorción tanto de SO<sub>2</sub> como las de Blow Out de planta química se rellenan con packing denominados “RASHING” (Monturines), ello para permitir un mayor tiempo de residencia favoreciendo el contacto entre los reactantes.

Este tipo de plantas tienen un rendimiento del orden del 85%, pudiendo llegar al 95%. Ello dependerá de la concentración media que se obtenga de la lixiviación y lo que se purga por la cola.

La purga de cola fluctúa entre 0,010 y 0,020 grs/lts de Yodo, una media de 0,015 grs/lts.

Una concentración de 0,25 grs/lit de Yodo en la solución de Brine y la salida de cola de 0,015 grs/lts entregara un rendimiento de planta del orden de 94%

De igual forma, una concentración de 0,36 grs/lit de Yodo en la solución de Brine entregará un rendimiento de planta del orden de 95,8 %

La operación de la planta debe evitar que salga yoduro por la cola, en ese caso este no vuelve al sistema y se pierde (sublima) porque reacciona con el yodato proveniente del Caliche en las soluciones de Brine.

La solución de cola vuelve al sistema de lixiviación denominándose agua feble, con la cual se riegan las pilas de cola, como ya se había explicado en el proceso de lixiviación.

El agua de feble, con alto contenido de Nitratos producto de su permanente recirculación en el sistema de riego, cuando la concentración de Nitrato llega a 200gr/lts, se purga a bateas (piscinas) de evaporación solar (BES-PES) para iniciar el proceso correspondiente para posterior cosecha y envío a plantas de proceso de Nitratos.

## Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.7.3.1 Planta Concentradora			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión	Nº	Planta Concentradora
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día - semana - mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimientos operativos y de seguridad y otros
3	Personal involucrado		Jefe de planta Supervisores, operadores, ayudantes
4	Equipos involucrados		Equipos Fijos, Bombas, Extractores, Sopladores, Salas de Fuerza y Control, Hornos, Cintas transportadoras, instrumentación, calderas para generación de vapor
5	Rendimiento por equipos	ton/hrs	Monitorear el funcionamiento de cada equipo individualmente para verificar que se encuentre trabajando dentro de rangos normales
6	Rendimiento de procesos	% - grs/lts.	Planta y por cada unidad y concentración media, registro de detenciones y sus causas. Control minuto a minuto.
7	Cuantificación del trabajo	Kg-Ton grs./lts. Kwh/ Kg I <sub>2</sub>	Yodo concentrado por turno, recibido de lixiviación y concentración media, Yodo despachado a refinación y concentración, consumo energía, inventarios de Yodo y materias primas, horas hombres por kg de Yodo extraído, salida de Yodo por la cola
8	Materias primas	Kg I <sub>2</sub> /Kg	Azufre, Ácido Sulfúrico, Hidróxido de Sodio, Metabisulfito. Agua Industrial, todas certificadas
9	Insumos y/o servicios críticos		Sellos y impulsores de bombas, equipos de respaldo como bombas, motores de bombas, instrumentos, extractores de gas, caldera, energía de respaldo, Servicio Talleres mantención, otros
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

## Rendimiento de Materias Primas

Consumo de Reactivos [ Kg de Reactivo/ Kg de Yodo entregado a Planta Refinadora]

Bisulfito de Sodio NaHSO <sub>3</sub> (eventual)	0.15 [0.01-0.3]	en promedio en toda la operación
Ácido Sulfúrico	5.10 [4.20-6.0]	
Hidróxido de Sodio (100%)	0.60 [0.50-0.7]	
Azufre	1.05 [0.90-1.2]	

El consumo de reactivos (su rendimiento) está directamente relacionado con la variación de la concentración de Yodo de la solución salina (Brine) que ingresa a la planta, ésta varía de un momento a otro según vayan entrando o saliendo pilas en el proceso, aquí hay un proceso previo que se relaciona directamente con la explotación de la mina y la lixiviación. Esto se debe al recambio permanente de pilas llegando sus soluciones a un solo punto. Para corregir este problema, es conveniente analizar el manejo de pilas por bloques, conjuntos de pilas pasando el riego de una a otra y luego despachando a una piscina común ó, separando las soluciones concentradas de las soluciones débiles, para hacer una mezcla antes de ingresar a planta. Otro factor que influye en la concentración del conjunto es el hecho de barrer uniformemente el territorio sin una planificación previa que considere constituir Pilas homogéneas en cuanto a ley mezclando minerales, algo más complejo y sin duda este mayor costo podría ser mucho más significativo que el mayor consumo de materias primas, esto último tiene costos operacionales importantes en comparación con un barrido de la mina sin discriminar las variaciones de la ley definida como explotable o comercializable.

Finalmente, el factor humano, de vital importancia, el cual debe estar atento a los controles de operación de la planta de modo tal que el proceso de ésta se realice en forma óptima a pesar del inconveniente que se tiene con las concentraciones a la entrada de la Planta, por ello, estas plantas cuentan con la instrumentación y procedimientos apropiados de apoyo a la gestión de los operadores,

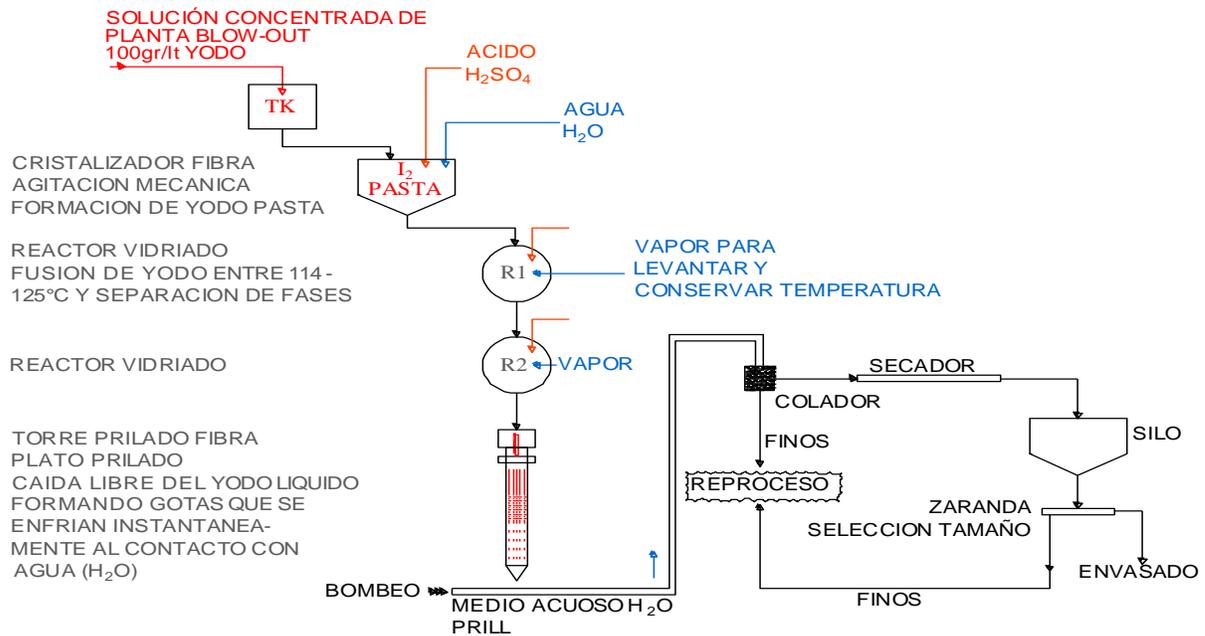
Importante destacar la necesidad de hacer las mantenciones de forma rigurosa (valido para todos los procesos operacionales), especialmente a la instrumentación, que por lo general debe ser redundante en algunas partes de proceso.

La dotación de personal estimada para esta operación es del orden de 14 hombres mes distribuido en los distintos turnos.

### 2.7.3.2 Planta Refinadora para la obtención del producto final a comercializar

**Tipos de Proceso:**  
 Fusión en Agua  
 Fusión en Ácido Sulfúrico  
 Oxidación con Agua Oxigenada y Fusión en Agua  
 Oxido- Reducción con Ácido Sulfúrico y Fusión en Agua

#### Esquema Proceso Planta Refinadora Proceso de Oxidación – Reducción con Ácido Sulfúrico y Fusión en Agua



En la Planta Refinadora se procesan las soluciones concentradas de yoduro y yodato proveniente de la Planta Concentradora, en caso de ser necesario, se concentra la solución a los niveles deseados y la transforma en Yodo pasta mediante la incorporación de ácido y agua apoyado por una agitación mecánica dentro de los cristalizadores, luego se traspa al primer reactor donde se genera la fusión del Yodo a 114°C para dejarlo en estado líquido, pasando luego a un segundo reactor que junto con asegurar la limpieza del Yodo en éste, se hace la transferencia a la Torre de Prillado, que corresponde a una torre con un cabezal conformado por un plato de espesor y diámetro para contener un número de orificios de diámetro predefinido y de material resistente a la corrosión para lograr la producción y tamaño requerido del Prill de Yodo. La altura total de la torre se define de modo tal, que el hilo de Yodo líquido que pasa por cada orificio se corte y se transforme en una gota de Yodo por efecto de la fuerza de gravedad y la tensión superficial. Al caer de esa altura a una corriente de agua a temperatura ambiente se solidifica logrando una esfera del tamaño requerido (2 a 3 mm de diámetro). Esta esfera es arrastrada hasta estanques de almacenamiento desde donde se envía a un proceso de secado continuo en horno rotatorio mediante el insuflado de aire caliente que extrae la humedad para cumplir con la calidad especificada, luego es enviado a tanques de regulación para continuar con el proceso de harneado para su selección por tamaño y verificación de su humedad final y la ausencia elementos contaminantes. La etapa siguiente

corresponde al proceso de envasado y toma de muestra para envío a laboratorio a espera de la confirmación de la calidad.



Es muy importante controlar la humedad para lograr la calidad solicitada de 99,5% de pureza o superior.

Dentro del proceso se producen finos y prill que no cumple con el tamaño requerido. Todos estos se vuelven a reprocessar dentro de la misma unidad.

En este proceso también se genera agua feble la cual vuelve al sistema. De preferencia despachar a planta química en caso de que esta contenga yoduro, así se puede recuperar, de lo contrario, de volver al riego de pila este se pierde y puede generar más reacciones en la pila. Cuando esto sucede, se observa en la corona de la pila como sublima el Yodo.

Estas plantas tienen un rendimiento de extracción de Yodo sobre el 95%.

Envasado en bolsa de Krehalon, dentro de otra bolsa de polipropileno, en cubiletes o cuñete de cartón ajustados a las nuevas normas de peso máximo individual de cada una de estas unidades.

La dotación de personal estimada para esta operación es del orden de 29 hombres mes distribuido en los distintos turnos incluido el envasado y despacho del producto final.

## Generación de información mediante registros de producción, control de rendimientos y KPI

2.7.3.2 Planta Refinadora			
Registros que deben ser asociado a procedimientos			
ítem	Descripción	Unidad	Alcances
0	Identificación del área, unidad o elemento en cuestión	N°	Planta Refinadora
1	Registro de fechas de inicio y termino		Hora - turno - día -semana -mes - año
2	Información y procedimientos técnicos, de prevención de riesgo, medio ambiente y arqueología		Autorización del ingreso al área, procedimientos operativos, de seguridad y otros
3	Personal involucrado		jefe de planta, Supervisores, operadores, ayudantes y envasadores
4	Equipos involucrados		Equipos fijos, bombas, extractores, sopladores, horno rotatorio, salas de fuerza, reactores vidriados, cristalizadores, instrumentación, válvulas especiales, líneas de Hasteloy, sistema de envasado, etc.
5	Rendimiento por equipos	ton/hrs	Monitorear el funcionamiento de cada equipo para verificar que se encuentre trabajando dentro de rangos normales.
6	Rendimiento del proceso	%	Por cada línea de producción y del sistema y registro de detenciones y sus causas. Control minuto a minuto.
7	Cuantificación del trabajo	Kg-Ton grs./lts. Kwh/ Kg I <sub>2</sub> Lts. / Kg I <sub>2</sub>	Yodo recibido y su concentración media, Yodo procesado y envasado por turno, Yodo reprocesado, Yodo salido por la cola, consumo energía, consumo combustible, inventarios, horas hombres por kg de Yodo envasado.
8	Materias primas	Kg I <sub>2</sub> /Kg	Ácido sulfúrico, agua industrial
9	Insumos y/o servicios críticos		Sellos y rodete bombas, respaldo de bombas, motores de bomba, extractores de gas, reactores, cristalizadores, caldera de vapor e instrumentos de respaldo, combustible, respaldo energía, servicio talleres de mantención y otros. Envase e insumos de envasado.
10	Costos		Cuantificación de todos los gastos incurrido en el trabajo

### Rendimiento Materias Primas

Consumo de Reactivos [ Kg de Reactivo/ Kg de Yodo entregado a Planta Refinadora]

Ácido Sulfúrico 3.05 [2.5-3.6]  
Hidróxido de Sodio (100%) 0.15 [0.1-0.2]

Respecto de los rendimientos, podemos decir que tiene la misma connotación de lo señalado para la planta concentradora, siendo la concentradora la responsable de despachar sus soluciones con las concentraciones preestablecidas, evitando que se envíe con soda libre u otra impureza a la planta refinadora.

Balance de lo que debiera resultar como producto final de todo el proceso desde la extracción hasta su envasado final tomando como referencia los siguientes rendimientos:

Yodo cargado	100%
Lixiviación	80% (material extraído con sistema Terrain Leveler o Chancado)
Planta Química	90%
Planta Refinación	95%

El envasado final esperado debería ser  $100 \times 0.80 \times 0.90 \times 0.95 = 68,64\%$  del Yodo cargado.

## Tabla de Control

PLANILLA PRODUCCION PLANTA CONCENTRADORA y REFINADORA (DÍA – SEMANA – MES – AÑO)									
Jefe de Turno									
Días		1	2	3	4	5	6	7	Semana
Brine	m3	38.693	43.440	43.507	43.308	43.481	40.465	39.096	291.990
Concentración Brine	gr/lt	0,203	0,198	0,200	0,217	0,220	0,219	0,226	0,211
Yodo Brine	kg	7.835	8.601	8.701	9.376	9.548	8.842	8.836	61.740
Feble	m3	38.693	43.440	43.507	43.308	43.481	40.465	39.096	291.990
Concentración Feble	gr/lt	0,0132	0,0150	0,0130	0,0133	0,0131	0,0140	0,0121	0,013
Yodo Feble	kg	509	652	566	574	570	564	473	3.907
Diferencia en purga	Kg	7.327	7.950	8.136	8.802	8.979	8.277	8.363	57.833
Yoduro Purga	lts	88.630	108.370	105.420	105.510	107.710	92.710	100.670	709.020
Concentración Purga	gr/lt	82,52	82,08	81	80,69	80,69	80,63	80,9	81,20
Yoduro Purga	kg	7.314	8.895	8.539	8.514	8.691	7.475	8.144	57.572
Yodo sin purgar	Kg	13	-945	-403	289	288	802	218	261
Recuperación Torre	%	93,34	103,42	98,13	90,80	91,02	84,55	92,17	93,25
Yoduro enviado a refinación	m3	110,9	95,31	83,15	145,03	85,95	101,07	115,64	737
Concentración Yoduro	gr/lt	81,57	81,83	81,82	81,39	81,22	81,11	80,48	81,3
Yodo enviado a refinación	kg	9,046	7,799	6,803	11,804	6,981	8,198	9,307	59,938
Cortadura refinación	kg	9,013	7,610	6,822	12,678	6,913	8,425	8,811	60,272
Envasado	Kg	0	5.400	5.400	9.000	8.400	5.550	7.650	41.400

Cifras negativas obedecen a errores de mediciones, que se investigan y aclaran, se pusieron expresamente aquí para mostrar estos errores a los cuales debe ponerse atención. Yodo enviado a refinación mayor a la producción de la jornada significa que quedaron saldos de jornadas anteriores no enviados principalmente por estar copada la planta de refinación o algún otro problema.

Este ejemplo muestra un rendimiento de 93,25% dentro de los rangos señalados, mostrada las TBO (Torres Blow Out) una salida de Yodo por la cola (en el agua feble) de 0.013 grs/lt. de solución, con una solución media de ingreso de Brine de 0.211 grs/lt.

La concentración de purga de 81.3 grs/lts es baja respecto a lo esperado, esto puede deberse a factores como:

- Bajo tiempo de permanencia en el proceso de recirculación de la solución en la torre de absorción impidiendo una absorción del 100% de la soda, dejando soda libre en la solución, que exige consumir más ácido en la Planta de Refinación para eliminar la soda libre y aumentar la concentración a los niveles que permitan un proceso más eficiente de esta última.
- Concentración de soda inadecuada, o la limpieza de los Packing (“RASHING” Monturines)) interiores que pueden estar obstruidos y las soluciones toman caminos preferenciales no logrando una distribución homogénea que permita un contacto adecuado de la soda con el Yodo o que los rociadores (chayas) con que pulverizan la soda para entrar en contacto con el gas Yodo estén obstruidos, obliga a más tiempo de recirculación y ello atenta contra los volúmenes de producción.

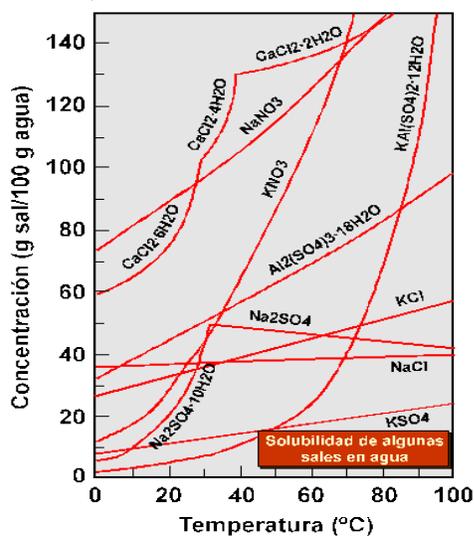
Todo lo anterior está directamente relacionado con el cumplimiento de los procedimientos los que se deben monitorear diariamente y realizar las mantenciones rutinarias correspondientes.

## Tabla resumen de las partidas más relevantes a controlar en la operación del proceso productivo del Yodo.

Actividades	Unidad	Mes x
Caliche Cargado acumulado a la Fecha (mina)	Toneladas	
Yodo Cargado acumulado a la Fecha (mina)	kg	
Caliche Cargado (MES) (Mina)	Toneladas	1.140.806
Yodo Cargado (MES) (Mina)	kg	446.752
Caliche Entregado a Lixiviación en el Mes (Mina)	Toneladas	1.620.865
Caliche Puesta en Riego acumulado	Toneladas	
Caliche Puesta en Riego en el mes	Toneladas	1.620.865
Yodo Puesta en Riego acumulado	kg	
Yodo Puesta en Riego en el mes	kg	632.910
Agua Mar Impulsada	M3	418.150
Agua Mar utilizados en Riego de Pila	M3	325.369
Agua Feble recirculada en Riego Pilas	M3	1.232.169
Agua Mar utilizados en Planta de Osmosis	M3	14.937
Agua Mar Utilizados en Riego Caminos (Mina)	M3	6.520
Stock Piscinas (agua mar)	M3	65.000
Soluciones concentradas enviadas a BES	M3	50.335
Yodo entregado por Lixiviación	Kilos	255.447
Yodo Ingresado a Planta Concentradora	Kilos	257.339
Yodo Producido Planta Concentradora	Kilos	236.200
Yodo Stock TK; Bateas y Planta Concentradora	Kilos	3.242
Yodo entregado a Refinación	Kilos	229.865
Yodo en Stock Planta Refinación	Kilos	22.622
Flakes Producido en Refinación	Kilos	0
Prill Producido en Refinación	Kilos	223.050
Stock Producto Terminado Refinación	Kilos	47.330
Yodo despachado en el Mes	Kilos	
Nitratos a Piscinas de Evaporación Solar	Ton	16..350
Rendimiento Planta Concentradora		88,71%
Rendimiento Planta Refinadora		96,71%
Concentración Media Mensual Brain	grs/lt	0,1983
Producción Proyectada Mensual Año XXX	Ton	241
Producción Proyectada Acumulada Año XXXX	Ton	498
Real Parcial	Ton	223
Real Acumulado	Ton	463

### 2.7.3.3 Planta de Nitratos

Fuente: Apuntes Curso Tecnología de Salitre y Yodo IN 623 Alejandro Puelles Ocaranza, Ingeniero Civil en Minas, Universidad de Chile y del Autor



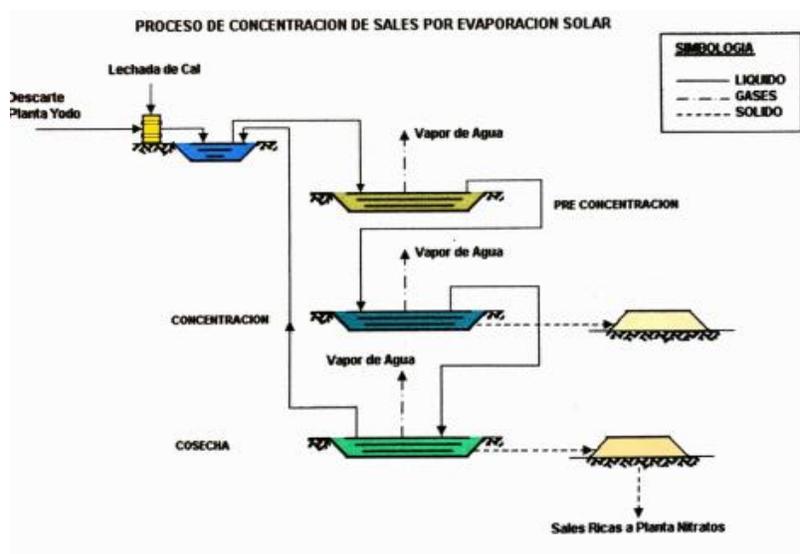
Anteriormente nos referimos al proceso de lixiviación y el descarte de soluciones concentradas en sales a razón de 100 gr/lts o más de Nitrato de Sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) a las Bateas (Piscinas) de Evaporación Solar (BES – PES), ahora nos enfocaremos en los procesos siguientes relacionados con la producción de Nitratos propiamente tal.

#### Proceso de concentración de Nitrato de Sodio en las Piscinas de Evaporación Solar

Este proceso se lleva a cabo en 3 etapas, en BES del orden de 250 x250 m a 300x300 m y profundidades que fluctúan entre 1 y 3.5 m, dependiendo de cada productor, aprovechando para ello la energía solar para evaporar y

concentrar. La tasa media diaria de evaporación fluctúa entre 4 y 5 lts/m<sup>2</sup>/día, considerando que en verano pueden llegar a ser del orden de 7 lts/m<sup>2</sup> y 3 lts/m<sup>2</sup> en invierno. Las dimensiones de las piscinas están en función del flujo de soluciones que llegan a ella y de la tasa de evaporación.

Las soluciones llegan a una primera batea de sacrificio y preconcentración, eventualmente de neutralización para obtener un Ph neutro (algunos productores) donde primero se precipitan las sales menos solubles como Astrakanita, Sulfatos, Cloruros y otras.



La siguiente etapa, corresponde al traspaso de las soluciones con concentraciones de NaNO<sub>3</sub> mayores a 250 grs/Lts. a la siguiente piscina, soluciones que siguen precipitando Sulfatos y Cloruros. Este proceso dura aproximadamente 10 meses. Esto se controla midiendo la densidad de la solución.

La tercera etapa y última que corresponde a la de cosecha, donde las soluciones se trasvasijan a piscinas de menor tamaño (pueden ser iguales a las

anteriores, pero pueden retardar el inicio de la cosecha) en la cual se obtienen sales ricas en Nitrato de Sodio del orden de 45 a 55%, manteniendo igualmente una cantidad importante de cloruros y sulfatos. Este último proceso tarda del orden de 6 meses reunir las condiciones para su cosecha.

Estas sales se cosechan y pasan a ser la materia prima de la Planta de Nitrato ya sea para obtener Nitrato de Sodio como Nitrato de Potasio.

### Proceso de Cristalización por Vacío

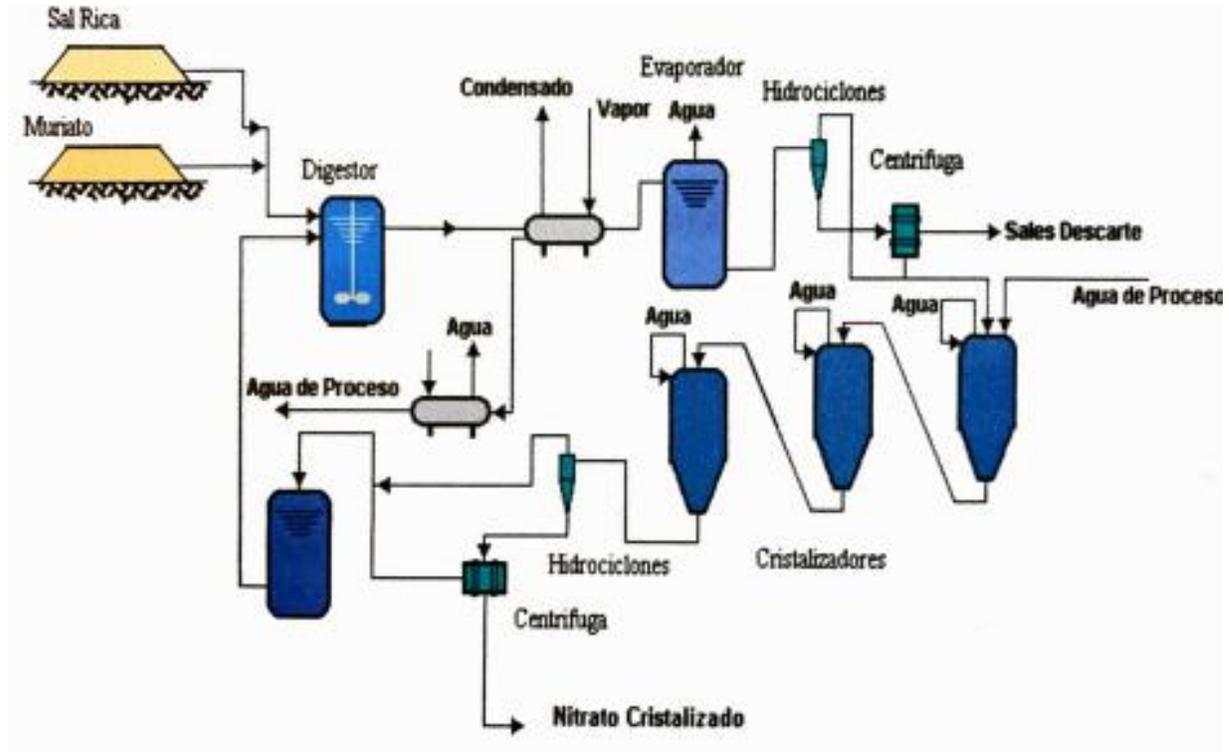
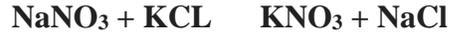
Proceso más eficiente y permite operaciones más controladas, como ser el tamaño del cristal y otras.

La alimentación se desarrolla controlando automáticamente las dosificaciones de las Sales Ricas (50% NaNO<sub>3</sub>, Sulfatos, Cloruros y otros) con el KCl (Cloruro de Potasio) y la solución de retorno (solución madre) del circuito cerrado del proceso que contiene Nitrato y Potasio.

El proceso de alimentación de materias primas tiene asociado los sistemas de transporte y reducción de tamaño de esta, de modo que las partículas no excedan los 10 mm. Estas llegan al Digestor en la etapa de Conversión.

En la etapa de Conversión y Evaporación se produce la conversión de Nitrato de Sodio, Cloruro de Potasio (KCl o Muriato y en estado natural como Silvita), y la recirculación de la solución madre en Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>), esta se realiza en un reactor con agitación mecánica a 40°C elevando la temperatura de la pulpa mediante la utilización de intercambiadores de calor de tubos y placas y

luego vapor directo, llevando está a una temperatura de 90°C con el objeto de eliminar agua de modo de lograr la saturación del cloruro para que este precipite.



En el reactor de evaporación la temperatura es de 90°C, temperatura a la cual se disuelve solo el Nitrato de Potasio, quedando los otros elementos salinos en suspensión, luego la pulpa se somete a un proceso de separación y descarte de estos.

Para separar estos otros elementos se utilizan los hidrociclones con flujos en contracorriente llevando la solución de Nitrato de Potasio a la parte superior del hidrociclón y el resto de las sales al fondo de éste. (overflow y underflow respectivamente)

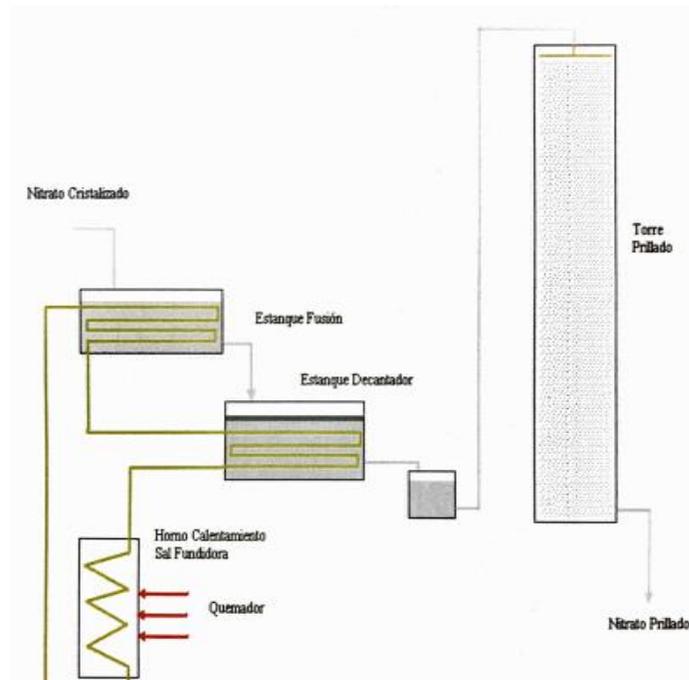
La siguiente etapa se realiza en un centrifuga de operación continua, de la cual se extraen por medios mecánicos las soluciones de descarte con una humedad del orden del 5%.

La solución rica en Nitrato de Potasio es sometida a un proceso de cristalización enfriándola de 90°C a 40°C mediante el uso de reactores en los cuales se produce vacío permitiendo que baje la presión dentro de este y con ello el punto de ebullición pasando por tres fases de 90 a 70 de 70 a 53 y de 53 a 40 grados Celsius. Los cristales formados son separados de la solución mediante el uso de hidrociclones, de la misma forma que en proceso anterior.

Aquí tenemos un producto Cristalizado que requiere ser secado a 0.01% de humedad y de adición de un anti aglomerante (liquido o seco), el secado se logra con Secadores Rotatorios directo o indirecto de grandes dimensiones de 3 metros de diámetro por 20 de largo o Secador de Lecho

fluidizado. Luego viene el proceso de envasado en sacos o maxi sacos conforme a las normas vigentes.

Para la obtención de un producto Prilado, el Nitrato cristalizado después de secado al 0.01% aproximadamente, se funde a una temperatura mayor o igual a 300°C mediante el uso de hornos calentándolo indirectamente por transferencia de calor, para ello se utilizan serpentines por donde fluye sales fundidas a alta temperatura.



El material fundido se envía a una torre de prilado del orden de 70 metros por donde se vierte el material de forma similar a lo que se hace con el Yodo, formándose gotas, pero a mayor altura que se enfrían superficialmente mediante un flujo de aire frío en contra corriente, formándose perlas de 2 a 3 mm y a temperaturas del orden de 130°C, temperatura que en una fase siguiente se sigue bajando mediante el uso de aire frío en contracorriente.

La diferencia entre un producto cristalizado y uno prilado es solo física.

Tanto el producto cristalizado como prilado se envasan en sacos o maxi sacos conforme a las normas vigentes o a las que solicite el cliente.

#### 2.7.4 Áreas de Servicios

Este capítulo especial, no estando en la línea directa del trabajo, pero si considerado por el autor una materia importante y de gran valor en todos los procesos operacionales, donde poco aparecen, estando siempre atrás contribuyendo de manera significativa, importante y valiosa para el logro de los objetivos de la industria.

#### Suministro de Agua de Mar

Una unidad robusta y delicada, encargada de suministrar el agua, el recurso más vital de la industria para lograr extraer el mineral que se encuentra en el Caliche.

Encargada de extraer e impulsar un volumen considerable de agua, que para el análisis de proyecto en cuestión sería del orden de 208 Lts/ seg, (750 m3/hra.) y elevarla a 1.600 metros de altura recorriendo del orden de 100 Km. Este proceso es continuo durante las 24 horas del día sin detenerse considerando equipos de respaldo necesario para cumplir con su tarea. Es un proceso automatizado vigilado las 24 horas del día.

La impulsión considerada con 2 líneas paralelas con capacidad de conducir cada una de ellas el 75% del caudal necesario de operación, ello permite minimizar el riesgo de corte de suministro de

alguna de las líneas, permite recuperar el volumen perdido en los reservorios y aumentar en caso necesario en un 50% su capacidad.

Considera un tendido eléctrico en toda su extensión desde la captación hasta las instalaciones en la Mina.

El personal de esta unidad debe llevar el historial detallado de cada equipo para determinar su mantenimiento, un overhaul u obsolescencia, registros del consumo de energía, filtros, aceites hidráulicos, revisión estructural y otros, etc. Junto con lo anterior, es su responsabilidad mantener el stock de repuestos críticos y los planes de mantenimiento al día. Tener un monitoreo y mantenimiento del ducto submarino en la captación, de lo contrario su embancamiento y/o incrustaciones marinas mermarán los flujos de agua y el costo y tiempo de normalizar resultan muy onerosos.

Su dotación es del orden de 13 personas para cubrir todos los turnos y requerimientos de mantenimiento.

### **Suministro Energía (autogeneración – compra servicio)**

Hoy en día con el Sistema Integrado de Energía, las generadoras Eólicas, las plantas fotovoltaicas, la nueva generación de plantas en base a Nitrato de Potasio y de Sodio y Solar que permite mantener un suministro de energía continua durante las 24 horas, todas ellas energía más económicas y no contaminantes, además de las grandes centrales ya instaladas, no hacen rentable instalar un sistema de generación propio en base a Grupos Generadores, salvo como elementos de respaldo o en aquellas zonas que no haya otra opción de energía.

### **Departamento eléctrico, control y programación de procesos**

Una unidad de apoyo fundamental que cubre todas las áreas e imprescindible en el mantenimiento y el desarrollo de la lixiviación, una red extensa de tendidos de líneas eléctricas que se desarrolla semana a semana en paralelo con el avance la lixiviación, con más de 150 centros de consumo de energía, cuyo consumo varía minuto a minuto de forma importante lo que afectan a la generación, dichas variaciones están dadas principalmente por las paradas y partidas de bombas las cuales son más de 120 unidades que actúan por controles de niveles de las pozas, con partida y paradas cuya coordinación difícilmente puede planificarse por ser procesos independientes y obedecen a situaciones particulares de cada una de ellas.

Esta unidad además implementa y mantiene los programas de todos de los procesos, así como la instrumentación y el recambio de estas. Por otra parte, debe encargarse de mantener y controlar una cantidad importante de salas de fuerza y control, equipadas con variadores de frecuencia y la respectiva instrumentación que recoge las diversas señales que comandan las operaciones. Sin duda es una unidad relevante, a la cual debe sumarse todas las necesidades del campamento y sus servicios.

Esta unidad debe llevar la vida detallada de cada equipo para determinar oportunamente su obsolescencia o reparación si fuese posible, junto con lo anterior, es su responsabilidad mantener el stock de repuestos críticos y los planes de mantenimiento al día.

La dotación de personal entre todas sus especialidades es del orden de 37 personas para cubrir los diversos turnos y necesidades de la plantas, lixiviación, servicios y campamento.

## **Talleres de mantenimiento de equipos de rodado, bombas y otros**

Al igual que el departamento eléctrico, este tiene la responsabilidad de la mantención de todos los equipos de rodados y fijos como ser: equipos para la minería, de apoyo a minería, de apoyo a lixiviación, departamento eléctrico, talleres y otros, vehículos menores como ser camionetas, minibuses o buses cortos y otros como torres de iluminación, generadores para terreno, compresores, grúas horquillas, grúa todo terreno, puentes grúa etc. en general una flota de más de 135 equipos.

Importante el mantenimiento preventivo de estos priorizando el seguimiento al sistema hidráulico de todos ellos, los filtros hidráulicos y de polvo, el aceite de motor, requiriendo un control diario y sistematizado para ir observando la degradación de los aceites y haciendo los cambios conforme a protocolos prestablecido o antes si fuese necesario dada la alta polución, sobre todo en el frente de mina, deben haber una limpieza y recambio permanente de filtros para el polvo así como la limpieza de los radiadores, estos últimos porque el polvo contiene un alto contenido de sales, las cuales por condiciones de humedad se adhieren causándole daños a estos.

Esta unidad debe contar con talleres bien equipados con todo tipo de herramientas y equipos de apoyo, como puentes grúa, grúa camión, otros para desmontaje, montaje y reparación de neumáticos de diversos tamaños, considerando que aquí se hace toda la mantención, armando y desarmando equipos, la reparación de piezas se externaliza. La dotación total es del orden de 63 personas considerando, maestranza básica para mantención de las hojas de bulldozer, baldes de palas y cargadores y las tolvas de camiones, reparadora de neumáticos, electrónica, sistemas hidráulicos, motores, sistemas de engranajes, servicios de lubricación, mantención de terreno, etc., es fundamental contar con un laboratorio de control de aceites y equipos de limpieza de filtros y dializadora de aceite.

Al igual que las otras unidades, esta debe llevar la vida detallada de cada equipo para determinar oportunamente su mantención, overhaul u obsolescencia, registros de consumo de combustibles, filtros de aceite de motor, aceites hidráulicos, de polvo, neumáticos, cadenas, revisión estructural de tolvas y otros, etc. Junto con lo anterior, es fundamental mantener el stock de repuestos críticos y los planes de mantención al día.

Hoy en día, estas unidades están fuertemente apoyadas por servicios remotos de la industria que los provee, avisando, facilitando y orientando al personal de potenciales problemas, para ellos cuentan con software apropiados a disposición del cliente algunos servicios con costos anuales y otros sin costo como parte del servicio por la adquisición de los equipos.

## **Campamento y Servicios Generales.**

El campamento, con una capacidad instalada para para este proyecto del orden de 400 camas, 1 cama por habitación, con un baño por cada dos habitaciones, hotelería, casino para una dotación de 100 a 150 personas por turno, cocinería completamente equipada con equipos de última generación, autosuficiente para preparar todos los requerimientos en esta unidad, sistema semiautomático de lavado de losa, cubiertos y elementos de cocina. cámaras de frío y de conservación, bodegas para todo tipo de insumos perecibles y no perecibles, suficiente para cubrir 15 días de sobrevivencia sin restricciones frente a cualquier catástrofe que pudiese ocurrir e impidiese salir. También se encuentran en este sector las áreas de esparcimiento cubierto y al aire libre y las respectivas casas de cambio para que el personal en horas de almuerzo pase a estas y no

a los dormitorios, de modo que el personal de hotelería pueda hacer un aseo profundo de estas unidades.

En otros sectores del campamento están las oficinas generales, bodegas, los talleres, casa de fuerza y generación de vapor, las plantas de tratamiento de aguas servidas y agua potable, los reservorios de agua para la lixiviación, estación de servicio de combustible, laboratorio y las plantas según corresponda. En esta área se concentra el control de acceso a la minera.

La dotación de servicios de campamento, hotelería, casino, control de acceso, servicio de combustible, logística, prevención de riesgo, recursos humanos y de oficinas generales asciende aproximadamente 106 personas.

## 2.8 Productos comerciales

Los principales productos comercializables provenientes de la explotación del Salitre son:

Yodo, Yoduro, Yodato, el mayor porcentaje de ellos se comercializa como Yodo crudo o Yodo comercial, de acuerdo con las purezas establecidas, y en los Nitratos, tenemos lo que comúnmente se denomina Salitre (Nitrato de Sodio con Nitrato de Potasio).

Tanto del Yodo como del Nitrato se derivan una cantidad importante de subproductos para una infinidad de usos que algunos de ellos se describen más adelante, los que han tenido y tienen gran importancia en la vida humana y la seguirán teniendo por su naturaleza.

### YODO

Yodo crudo con purezas de 99.5% (p/p) y de forma especial con purezas de 99.8% (p/p) o mayores para Laboratorios.

Especificación Estándar Yodo Comercial			
Pureza	>=	99,50%	PPM
Residuos no volátiles	<=	0,050%	500
Acidez como (H2SO4)	<=	0,015%	150
Fierro como (Fe2O3)	<=	0,003%	300
Ácido Bórico	<=	0,006%	60
Azufre	<=	0,015%	150

USP (United States Pharmacopeia) EEUU			
Pureza	>=	99,80%	PPM
Residuos no volátiles	<=	0,050%	500
Bromuros y Cloruros	<=	0,028%	280

Sociedad de Reactivos QUIMICOS USA (SRQ USA)			
Pureza	>=	99,80%	PPM
Residuos no volátiles	<=	0,010%	100
Bromuros y Cloruros	<=	0,005%	50

**Forma esférica como Prill – Shot** en envases de 25 Kg y maxi sacos, uso masificado, por tener menor superficie de contacto entre ellas y evitar su aglomeración, así como también por su facilidad de escurrimiento en sus etapas de envasado y posteriores de manipulación.

**Laminado o escamas (Flakes)** discontinuado o muy poco habitual, por cuanto este se aglomera en

un periodo corto del orden de 3 meses, dificulta y encarece su manipulación y uso en los procesos de las Industrias productoras de derivados de éste. Es algo más económico producirlo.

## Algunos derivados del Yodo de tipo orgánico e inorgánico y sus usos

Yodo Crudo	Estándar; Grado Técnico, Grado analítico		
	Orgánicos	Uso	
	Yoduro de Etileno (Yodo etano)	$C_2H_5I$	En el área farmacéutica y como intermediario en la extracción de estaño
	Yoduro de Metilo (yoduro metano)	$CH_3I$	Como agente intermediario en la síntesis orgánica, ha sido aprobado como plaguicida, biocida, pero retirado por inviabilidad comercial. Se produce por la acción del Metanol con fósforo y Yodo. Se emite de manera natural en las plantaciones de Arroz y se produce en grandes cantidades por las algas en los ecosistemas acuáticos
	Yodopsina (triyoduro metano)	$CHI_3$	Yodoformo, volátil, ocasionalmente utilizado como antiséptico, tratamiento de úlceras, heridas dolorosas, quemaduras, úlceras venéreas, escrupulosas y tuberculosas, tapar cavidades después de cirugías oral u otorrinolaringológica. También en análisis químicos para determinar cantidades microgramáticas de compuestos orgánicos.
	Yoduro Metileno (diYodometano)	$CH_2I_2$	Por su alta densidad, se utiliza en la determinación de la densidad del mineral y otras muestras sólidas. También se puede utilizar como líquido de contacto óptico, en conjunción con el refractómetro gemológico, para la determinación del índice de refracción de ciertas piedras preciosas, y como medio de separación gravitacional.

Yodo Crudo	Estándar; Grado Técnico, Grado analítico		
Derivados	Inorgánicos	Uso	
Yoduros	Yoduro de Hidrogeno	HI	En condición estándar es un Gas incoloro, la disolución acuosa se conoce como ácido yodhídrico, es un ácido fuerte y son interconvertibles, es utilizado en química orgánica para convertir alcoholes primarios en halogenoalcanos, también para disociar éteres en los compuestos organoyodado, ejemplo el éter etílico es disociado en etanol y yoduro de etilo, y para sintetizar yoduro de Sodio y yoduro de Potasio
	Yoduro de Potasio	KI	En Fotografía, para preparar emulsiones, en medicina para el tratamiento de la actividad excesiva de la tiroides, en química para Yodometría y otras técnicas analíticas, en microbiología, es un componente del Lugol; en Acuariofilia marina, se usó para aumentar el desarrollo de corales blandos y para aumentar la tonalidad azul en los SPS, beneficia las macroalgas y esponjas. Es un agente protector frente a agresiones del isótopo radiactivo del Yodo que aparece en algunos casos de accidentes nucleares. El Yodo radiactivo se acumula en la glándula tiroidea y la ingesta de yoduro de Potasio tiene acción protectora en este caso. Para tratar el hipertiroidismo., para cirugías de la glándula tiroidea.
	Yoduro de Sodio	NaI	Sal cristalina para detección de radiación, como para tratamientos de deficiencia de Yodo y como reactante en la reacción de Finkelstein.
Yodo Mercurato	Yoduro Mercurato de Potasio	$KHgI_3$	Es una base para preparar el reactivo de Nessler usado para la detección de amoníaco y del reactivo de Meyer usado para la detección de alcaloides
	Yoduro Mercurato de Cobre	$Cu_2HgI_4$	En pinturas termosensibles
	Yoduro Mercurato de Plata	$Ag_2HgI_4$	En pinturas termosensibles
Compuestos con otros halógenos	Mono cloruro de Yodo	ICI	Preparación reactiva Wijs, para la determinación del índice de Yodo que cuantifica el grado de insaturación de compuestos orgánicos que contienen enlaces dienicos triénicos como en aceites, u otras sustancias que contienen grasas como margarinas o mantecas como desinfectante, es corrosivo.
		ICI <sub>3</sub>	Ídem al ICL y se usa también en Medicina
	Mono bromuro de Yodo	Ibr	Yodometría, ayuda a medir la saturación de las grasas y aceites y como catalizador de algunas reacciones
	Tribromuro de Yodo	IBr <sub>3</sub>	En compuestos químicos y medicamentos
	Penta fluoruro de Yodo	IF <sub>5</sub>	se utiliza en química orgánica (conversión de aminas a nitrilo después de la hidrólisis
	Heptafluoruro de Yodo	IF <sub>7</sub>	Poderoso agente oxidante, muy irritante para la piel y puede causar la muerte
Oxidantes	Acido Yódico	HIO <sub>3</sub>	Ácido muy fuerte y se utiliza a menudo para estandarizar soluciones bases débiles y fuertes para prepararlas para titulaciones, en la Industria de la sal para sintetizar sal de yodato de Sodio o Potasio, también para síntesis orgánica, se encuentra en muchos alimentos.
	Ácido Peryódico	H <sub>5</sub> IO <sub>6</sub>	Uso en Química Orgánica para el análisis estructural
	Pentóxido de Yodo	I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Oxida fácilmente el monóxido de carbono a dióxido de carbono a temperatura ambiente, esa reacción puede usarse para analizar la concentración de CO en una muestra gaseosa.
Yodatos	Yodato de Sodio	NaIO <sub>3</sub>	Principalmente en Medicina y como desinfectante, es un agente oxidante y como tal puede provocar un incendio al entrar en contacto con materiales combustibles y agentes reductores.
	Yodato de Potasio	KIO <sub>3</sub>	Agente de tratamiento de harinas. El yodato es un gran oxidante por lo que se usa para modificar el gluten e incrementar su fuerza, permitiéndole mejorar la estructura durante el horneado.
	Yodato de Calcio	Ca (IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Suplemento de Yodo en la alimentación de los pollos. Se utiliza en la fabricación de desinfectantes, antisépticos y desodorantes

Tabla desarrollada por el autor, información extraída de Global Industry Markets an Outlook 2013, memorias de SQM, Historia del Salitre contada por el Yodo de Patricio Días 1811-2004, apuntes Curso Tecnología del Salitre y Yodo IN623 2006 de Alejandro Puelles Universidad Arturo Prat, Complementado con información extraída de Internet Wikipedia,

## **Uso del Yodo distribuido en porcentaje por áreas de especialidades, con variaciones propias del mercado año a año.**

**Rayos X y Medios de Contraste 23%:** Uso en Angiografías, estudio de los vasos sanguíneos por medio de imágenes, para ello utilizan Rayos X, Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética Nuclear, para examinar los vasos sanguíneos de áreas importantes del cuerpo como ser Cerebro-Cuello\*Corazón-Pecho- Abdomen (Riñones e Hígado)-Pelvis-Piernas y Pies-Manos y Brazos, para detectar aneurismas, placas ateroscleróticas, malformación arteriovenosa, estrechamiento de venas, enfermedades de arterias hacia los riñones, ETC. El Yodo se utiliza para disminuir la osmolalidad (es la presión osmótica dentro de la solución que está directamente relacionada con la concentración de partículas dentro de ella) de modo de tener menos efectos secundarios.

**Biocidas 15%:** Sustancia capaz de matar organismos vivos generalmente de forma selectiva, (todos los Halógenos tiene propiedades Biocidas) uso en medicina como desinfectantes, en agricultura como fungicidas y herbicidas, en la silvicultura como preservación de la madera y en la industria como recubrimientos y plásticos. Los biocidas se pueden dividir en Antimicrobianos, que se subdividen en antisépticos (aplicar a organismos vivos) y desinfectantes (aplicados a objetos inertes) la diferencia entre ambos en su respectiva dilución es que el primero tiene mayor poder de eliminación de bacterias patógenas porque incluyen antivirales, antibióticos, antibacterianos, germicidas, antifúngicos, anti protozoarios y antiparasitarios. El más importante es el Yodoforo. Los Pesticidas incluyen fungicidas, herbicidas, insecticidas, alguicidas, molusquicidas, miticidas y rodenticidas. Los Fungicidas son compuestos químicos u organismos vivos para matar o inhibir hongos o esporas de hongos. Los herbicidas son para matar plantas no deseadas.

**Films ópticos polarizados 13%:** En lentes ópticos y de sol, lentes y filtros ópticos de máquinas fotográficas, y otras, pantallas de cristal líquido LCD de TV. Computadores, Tablet, Smartphone, toda la industria está requiriendo películas delgadas.

**Industria Farmacéutica 13%:** Uso en la producción de corticoides para la glándula pituitaria, anti inflamatorios, control de agua y sal en los riñones, dermatitis, los antiarrítmicos, para controlar arritmias cardíacas, la fibrilación, la taquicardia, control de impulsos eléctricos, bloqueadores de impulsos, bajar presión arterial y frecuencia cardíaca, para sintetizar Metanfetamina, fármacos para controlar trastornos por déficit atencional hiperactivo, obesidad y otros; radiofármacos, el Yoduro o Yodato de Potasio en forma de píldora es necesario tomar para contrarrestar los efectos del Yodo Radioactivo por accidentes o uso en materias nucleares, esta evita la acumulación del Yodo en la glándula tiroides, cuando esta se llena de Yodo radioactivo, los riñones eliminan toda clase de Yodo en exceso; subproductos del Yodo están prohibidos para la fabricación ilegal de Metanfetaminas, por tal razón y otras, la producción y comercialización del Yodo está bajo estrictos controles por parte de EEUU, se debe entregar toda la información para mantener la trazabilidad de este en procesos de extracción y almacenamiento hasta el producto final en las respectivas industrias que lo utilizan.

**Catalizadores 10%:** El Yodo se utiliza como catalizador en la fabricación de poli-isobutadeno (caucho butilo) uso varios como, cintas quirúrgicas, aparatos de ostomía, adhesivos en etiquetas de congelador, envoltura de tubos y cintas eléctricas, en aceites y grasas de motores de dos tiempos, cosméticos, cauchos, aplicaciones de asfalto, aislantes eléctricos de cables y alambres, aditivo alimenticios (base goma) los poli-isopropeno, (caucho natural) con excelente resistencia a la fricción y a las bajas temperaturas (menor acumulación de calor), el poli isopropeno de utiliza en

fabricación de elementos médicos, y artículos en contacto con alimentos, preservativos para personas alérgicas al látex, para gomas de borrar, polietileno, polipropileno, fabricación de catalizadores para nuevas plantas, estos normalmente se reciclan, por ello el consumo de Yodo esta por el reemplazo de estos, el Yodo se utiliza como catalizador en la obtención de ácido acético.

**Nutrición Animal 9%:** La deficiencia de Yodo en los animales suele ser el mismo problema que tienen los humanos, se ha incorporado Yodo orgánico e inorgánico a la alimentación de los animales como fuente de Yodo, la mayoría va dirigido a la población avícola y porcina, seguido de la carne de vacuno y ovino.

**Estabilizadores de Calor 7%:** Los compuestos de Yodo se utilizan como estabilizadores térmicos para resinas de poliamida (Nylon) y algunos derivados de aceites y, también para la estabilización de la luz. también se utiliza en la producción Tall oil o Talloil, líquido oscuro obtenido como subproducto en la fabricación de pasta de papel a partir de coníferas, es viscoso y color oscuro, sus ácidos grasos se utiliza en la fabricación de pinturas alquídicas y la preparación de esteres epóxidos, etc.

**Derivados del Flúor 6%:** El pentafluoruro de Yodo tiene un sin número de aplicaciones como ser algunas de ellos el perfluoralquilloditas usado en textiles o superficies impermeables y resistente al agua, compuesto grabador en la confección de semiconductores, etc.

**Otros usos 3.5%:** Para desinfectar agua particularmente para sistemas de senderismo o campamento por periodos cortos ( no está recomendado por la OMS para aplicaciones largas o estables en el tiempo); en la metalúrgica para lixiviar oro el uso en lámparas especiales y de larga duración en las películas de haluro de plata son preferidos por precisión y rentabilidad, en la cinema fotografías por costo y calidad del color y resolución (en menor cantidad por su alto costo); para extintores de Iodotrifluorometano para situaciones especiales por sus alto costo; en baterías de Yodo litio para marcapaso por vida útil y seguridad y otras propiedades; en la química orgánica,

**Nutrición Humana 0.5%:** El uso de Yodo en la nutrición humana es muy bajo, menos del 1%, este se incorpora vía la sal de mesa a la que se le incorpora yoduro de Potasio. Se incorpora del orden de 0,002 a 0,004 a 0,0077% según el país, en los niveles de 0,004 a ,0077% es utilizado en EEUU, los rangos de Yodo recomendado son de 90 mcg para niños hasta 7 años, de 7 a 12 años 120 mcg, mayores de 12 años 150 mcg, Madres embarazadas y lactantes 200 mcg, la OMS recomienda entre 20-40 mg pero las regulaciones de los estados proveen entre 15 y 80 mg una insuficiencia de Yodo en las madres embarazadas pueden generar el síndrome de cretinismo en el embarazo al niño. eso producto de un desarrollo incompleto del sistema nervioso central en el cerebro del niño. En el mundo aún existe deficiencia de Yodo en el humano.

## **NITRATOS**

### **NITRATOS Y SUS DERIVADOS: información técnica y sus usos**

Información obtenida de antecedentes de INGRID GARCES M. / UNIV. DE ANTOFAGASTA año 2000

**NITRATO DE SODIO (NaNO<sub>3</sub>):** Se usa como fertilizante agrícola en grandes cantidades, y puede ser utilizado, sin que pierda su eficacia durante muchos años. También se utiliza en la fabricación de algunos Nitratos y otros productos químicos. Además, es de gran utilidad en la industria farmacéutica, explosivos (dinamita), intermedio de colorantes y pigmentos para pintura y cerámicas y enlozados, vidrios, materiales aislantes. Sirve para curar la carne, para el cultivo de

la penicilina, para aderezar los cueros en medicina y en el tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio.

**NITRATO DE POTASIO ( $\text{KNO}_3$ ):** Las principales ventajas del Nitrato de Potasio son proporcionar Potasio exento de cloro, altamente soluble en agua, donde todo su nitrógeno está en forma de Nitrato. Es un fertilizante doble, no incluye elementos innecesarios. El Nitrato de Potasio se aplica directamente al suelo, en mezcla (bulk blending), fabricación de fertilizantes compuestos, se utiliza en líquidos, fertiirrigación (aplicación de aguas de riego), aplicación foliar. Se usa también en la fabricación de vidrios especiales, fritas para superficies cerámicas y metálicas, esmaltes, tratamiento de metales, pirotecnia, mezcla con Nitrato de Sodio para sales Solares, etc.

**NITRATO DE BISMUTO ( $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + 5\text{H}_2\text{O}$ ):** Es el material de partida para la obtención de las demás sales y preparados de bismuto, sin-e para la preparación de acetato de bismuto, benzoato de silicato, disilicato, galato básico, ditanato, albúmina de bismuto. nasofén-bismuto. rodanato quinolinbismútico, tribromofenol—bismuto, tribromo—pirocatequin-bismuto, colato de bismuto, etc. Se emplea además en la obtención de colores fluorescentes y de pintura o barniz para el estaño y en preparación de las tierras de terbio.

**NITRATO DE CELULOSA:** Adhesivo usado para la fabricación de calzado, para la unión del material con la suela. En láminas el Nitrato de celulosa se ha empleado como intermedio flexible en el vidrio de seguridad, pero han fallado todos los intentos para aplicarlo por Fusión. debido a su alto punto de reblandecimiento.

**NITRATO DE COBRE ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ):** Se utiliza y emplea en estampados, como adición para reservas bajo el índigo. para la obtención del café pardo. fabricación de esmaltes, para dar color negro al cobre como tinta para la hojalata. El Nitrato de cobre y amonio también es utilizado en tintorerías y en pirotecnia.

**NITRATO DE CROMO ( $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + 9\text{H}_2\text{O}$ ):** Se forma disolviendo el óxido de cromo en ácido nítrico. Es usado como mordiente.

**NITRATO DE CADMIO ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ ):** Sirve para comunicar lustre amarillo rojizo a los artículos de cristal y porcelana y como reactivo de laboratorio.

**NITRATO FERRICO ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 9\text{H}_2\text{O}$ ):** Se usa en medicina, como mordiente, en tintorería, para dar cuerpo a la seda y en curtiduría.

**NITRATO DE CESIO ( $\text{CsNO}_3$ ):** Es una sal ideal para separar del cesio el litio, Sodio y Potasio.

**NITRATO DE PLATA ( $\text{AgNO}_3$ ):** Su empleo principal es la preparación de películas y papeles sensibles a la luz para la fotografía, en la fabricación de pigmentos para porcelana, para hacer conductor el vidrio, para colorear el mármol, la manufactura de espejos, en tintes para el cabello, como reactivo analítico, en medicina se usa para cauterizar verrugas, en enfermedades nerviosas (epilepsia)

**NITRATO DE MERCURIO ( $\text{HgNO}_3$ ):** Se usa como antisifilis; la solución (liquido de Ballot) se emplea para curar las úlceras sifiliticas y las enfermedades parasitarias de la piel. Entra a formar parte de muchas aguas cosméticas. Se usa para dorar el fuego, para ennegrecer el latón, para obtener el oro finamente dividido que se emplea en los esmaltes a fuego, en el reconocimiento microscópico

del arsénico. Además, este compuesto forma parte del reactivo de Millón que se emplea para reconocer proteínas.

**NITRATO DE ALUMINIO ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ):** Sirve como mordiente en el estampado al rojo de alizarina. Se emplea en la industria de los manguitos de incandescencia.

**NITRATO DE AMONIO ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ):** Principalmente utilizado en la preparación de explosivos de seguridad, así como en la obtención de  $\text{N}_2\text{O}$ , además tiene una amplia utilización en los fertilizantes agrícolas.

**NITRATO DE BARIO ( $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ):** Fundamentalmente es empleado en pirotecnia, en fuegos de color verde para señales, en balas trazadoras, en los fulminantes y los detonadores. Una pequeña cantidad tiene uso en esmaltes.

**NITRATO DE CALCIO ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ):** Se utiliza como abono con los nombres de nitro cálcico, nitro—noruego, nitro-atmosférico.

**NITRATO DE UREA:** Se utiliza como abono.

**NITRATO DE COBALTO ( $\text{CoNO}_3$ ):** Se emplea en la fabricación de colores de cobalto como colores cerámicos y en pequeña escala en galvanotecnia.

**NITRATO DE ESTRONCIO ( $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ):** Principalmente es utilizado en pirotecnia y en las granadas de iluminación.

**NITRATO DE PLOMO ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ):** Se usa en la preparación de otras sales de plomo, como reactivo y en la industria pirotécnica.

Los depósitos de Nitratos en Chile representan la mayor fuente de compuestos nitrogenados “**naturales**” explotables comercialmente en el mundo producto de sus leyes y volúmenes. **Chile es el único productor del mundo en esta materia.**

Los productos de mayor interés comercial para efectos de este trabajo son el **Nitrato de Sodio** y el **Nitrato de Potasio**, sin perjuicio de hacer referencia al Salitre Potásico, Mezclas de Nitratos y Químicos Industriales y otros, igualmente importantes en la industria chilena, pero que solo SQM aborda la producción de estos.

**Calidad o Propiedades Químicas** (La calidad se define en grado técnico y refinado, tanto en cristales como prill)

Formula Química	$\text{KNO}_3$
Contenido de N	13%
Contenido de $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{K}_2\text{O}$ )	44 a 46%
Solubilidad en agua $20^\circ\text{C}$	316g/lit
Ph Solución	7 a 10

**Químicos Industriales:** Difieren principalmente en la pureza, **Nitratos de Sodio y Potasio** industriales, llamados Químicos Industriales, una mezcla de ellos en una relación de 60/40 en peso respectivamente (**Salitre Potásico**), da origen a Sales Solares para Plantas de Energía CSP (Concentrated Solar Power) con demanda creciente y otros usos como ser en:

- Cerámicos adhesivos como agente oxidante, fundente y fuente de  $\text{Na}_2\text{O}$
- Explosivos como agente oxidante
- Industria del acero inoxidable en fusión
- Ladrillos de Carbón por propiedades de electrolitos
- Industria Química Inorgánica como fuente de Nitratos y oxidantes
- Industria Química Orgánica como fuente de Nitratos y oxidantes
- Pantallas de LCD
- Preservación de alimentos como agente oxidante
- Refinamiento de metales como agente oxidante
- Tratamiento de aguas como agente oxidante
- Tratamiento en el calentamiento de metales como agente oxidante y fusión
- Vidrios como agente oxidante, fundente y fuente de  $\text{Na}_2\text{O}$

**El Nitrato de Potasio, definido como el número uno en todo el mundo**, y del interés comercial de este trabajo en materia de **NITRATOS** como producto final, compuestos por macronutrientes, único fertilizante que ambos macronutrientes se absorben eficientemente, previene la adsorción del Potasio por un periodo relativamente largo, fundamental para el desarrollo y normal funcionamiento de los tejidos de la planta, participa en el proceso de regulación del agua de esta, muy importante frente a la escasez de ésta en el mundo, provee fácilmente el nitrógeno por la vía del Nitrato, minimiza la absorción de cloruros por la planta y contrarresta el efecto nocivo del Sodio, recomendable para cultivos sensibles a las sales y cuando el agua de riego es de mala calidad, no es tóxico para las raíces y el nitrógeno nítrico del Nitrato frente a altas temperaturas tampoco las daña ( si lo es el amonio cuyo origen es sintético), mejora la resistencia frente a las heladas y a enfermedades, aumenta la tolerancia frente a la sequía, mejora el rendimiento y calidad de la cosecha, lo que genera un beneficio de la inversión al productor, está dirigido a productos de temporadas de alta calidad y con alto valor agregado.

Tiene grandes ventajas en el mundo para la agricultura de alto rendimiento, calidad y amigable con el medio ambiente por estar libres de Cloruros, menos del 1% de cloro elemento que perjudica el crecimiento y las hojas son más pequeñas, se visualizan quemaduras en los bordes de las hojas y caída prematura de estas, el Nitrógeno Nítrico puede ser absorbido en su totalidad por las plantas, no liberan Hidrógeno, y no contienen amoniaco como los Sintéticos, el Nitrato tiende a estimular la absorción de Potasio, magnesio y calcio, etc., son productos naturales (no hay un proceso sintético de por medio).

### **Nutrición Vegetal de Especialidad NPK (NPK – NP – NK o PK)**

Corresponden a una línea de fertilizantes de alto nivel de calidad y alto precio, que permiten mejorar rendimientos y calidad en las cosechas, se suministran tanto en sólido como líquidos, para cultivos de alto valor, hidropónicos, invernaderos, mediante el riego y aplicación foliar etc. Las mezclas de Especialidad o mezclas NPK, definidas así por su contenido de Nitrógeno (natural), Fósforo y Potasio.

El uso de estos está destinado principalmente a la agricultura de productos de calidad y compromiso con el medio ambiente, el aumento de la población, la mayor demanda de productos alimenticios

y de tierras para cultivar y más caras, obliga a los agricultores a sacarle mayor rendimiento a los suelos y obtener productos de mejor calidad y duración y con menor necesidad de agua, lo que logran hacerlo con éstos y muchos derivados de estos productos cada vez más demandados.

SQM es el principal productor de Nitrato de Potasio con la menor huella de Carbono en el mundo.

## ABONOS Y FERTILIZANTES

Estos son nutrientes para abonar y/o fertilizar las plantas, nutrientes principales como el Nitrógeno, Fosforo y Potasio, los llamados FERTILIZANTES NPK (NPK – NP – NK o PK),

N (Nitrógeno) : permite el desarrollo de la planta en todas sus partes

P (Fosforo) : refuerza la resistencia de la planta y ayuda su desarrollo radicular

K (Potasio) : favorece la floración y el desarrollo de las frutas

### Orden de aparición de los Abonos

**Naturales Orgánicos** hasta 1850 (animales muertos, compost de vegetales, estiércol, guano, agua)

**Minerales Naturales** Nitrato de Chile en 1820, el Fosforo en forma de fosfato y el cloruro de Potasio en minas de Austria, aproximadamente 1870.

**Industriales Inorgánicos en base a amonio** primero el sulfato de amonio, luego el amoniaco 1920, aquí se produjo el gran salto de producción industrial, se produce entre 1920 y 1930 post primera guerra mundial; en 1905 el químico alemán Fritz Haber encontró la forma de fabricar amoniaco, todo ello nace a raíz de la necesidad de fabricar explosivos. Esta Industria luego se dedica a la fabricación de abonos. También se produce el N32 que apareció antes de la primera guerra mundial y el N20 a contar de 1950.

En 1930 aparece la UREA  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  [ $2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 = (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ], la descubre en 1727 el científico neerlandés Hermán Boerhaave, pero en 1828 el químico alemán Fiedrich Wöhler la obtiene artificialmente, siendo el abono nitrogenado más producido en el mundo.

Los abonos y fertilizantes han crecido desde 1972 de 73.8 millones de Toneladas a 200 millones de toneladas el 2018, a modo de referencia, en el 2017 la producción de Potasio fue del orden de 58.7 millones de toneladas, que es uno de los componentes de los diversos abonos y fertilizantes que se producen. Los principales productores son Canadá, Rusia, Bielorrusia, China e Israel.

Producciones Mundiales en [millones de ton] de productos básicos para la producción de Abonos y Fertilizantes año 2017 y crecimiento anual estimado en % al 2023

Nitrógeno		1%
Amoniaco	225	3%
Urea	216	5%
Roca Fosfórica	225	9%
Ácido Fosfórico	60.6	6%
Productos Fosfatados	108	3%
Potasio	58.7	10%

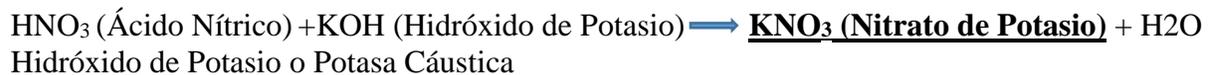
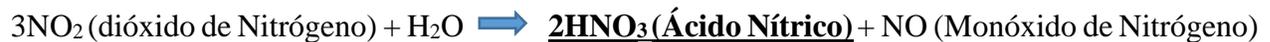
Se espera la creación de 60 nuevas fábricas en el mundo con inversiones de US\$ 98.000 millones para aumentar la producción en 78 millones de toneladas al año. El principal crecimiento se dirige a África, Asia y el Este de Europa.

Resumiendo, y comparando solo los requerimientos mundiales de Abonos y Fertilizantes que alcanzan a más de 200 millones de todo tipo, Chile solo alcanzaría a producir del orden de 1,75 millones de toneladas de distintos tipos de Nitratos para estos efectos y otros, en caso de que toda la producción se destinara a ello, lo que no es así, pero si lo fuese, no llegan al 1% del requerimiento mundial con este producto proveniente del Caliche.

### Salitre Sintético

Es un producto que requiere de una reacción de ácido base y redox (reacción química de oxidación – reducción) o simplemente reacción redox en la cual uno o más electrones se transfieren entre los reactivos provocando un cambio en su estado de oxidación. Este se inicia con la síntesis de amoníaco (NH<sub>3</sub>) entre Hidrogeno (atmosférico) y Nitrógeno Gaseoso (método “Haber”), el amoníaco luego es oxidado para después producir Óxido de Nitrógeno que al combinarse con agua

(H<sub>2</sub>O) forma el Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>)



“La mayoría de los fertilizantes nitrogenados inorgánicos derivan del amoníaco, obtenido de la síntesis de nitrógeno e hidrogeno gaseoso”.

### Desventajas del Nitrógeno Sintético en los Abonos y Fertilizantes:

El nitrógeno sintético tiene sus desventajas porque contribuye a disminuir la materia orgánica del suelo, disminuyendo la capacidad del suelo para almacenar nitrógeno orgánico, se produce una pérdida del nitrógeno en forma de gas de amoníaco, el conjunto orgánico sintético no se absorbe directamente por los vegetales, se descompone en anhídrido carbónico o amoníaco, se volatiliza o se queda en el suelo como hidróxido de amoníaco; si el Ph del suelo es alto (alcalino) favorecerá su gasificación, si el Ph es bajo, se quedara en el suelo. En este proceso hay una pérdida importante del orden del 30% del nitrógeno. En todo este proceso se genera gas invernadero.

Este Nitrato (NO<sub>3</sub>) deriva del amoníaco lo que tiene efectos colaterales negativos al medio ambiente. Es más económico y se producen industrialmente en grandes cantidades, por eso tiene tanta aceptación sin considerar sus efectos negativos. Parte de su importancia radica en el uso como

abono o fertilizante en grandes cantidades a nivel mundial, la Urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$  ó  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) hoy día es la más demandada en el mundo.

Es importante aclarar, que la definición entre sintético y natural es muy complejo y lo único claro es que las reacciones químicas que son ganancia, pérdida o compartición de electrones entre átomos, son las responsables de transformar lo natural en sintético, como también, son responsables de crear vida y todo lo que está en nuestro entorno.

La oxidación, es un proceso Químico que implica la pérdida de electrones por parte de una molécula, átomo o ion.

Oxido reducción (redox), es una reacción de transferencia de electrones, la especie que lo pierde se oxida y la que gana se reduce. Reductor es la que cede y oxidante la que capta.

## 2.9 Mercado mundial del Salitre y Yodo.

### 2.9.1 Países productores y sus producciones estimadas

A continuación, se muestra una tabla con los principales países productores de Yodo en el mundo, indicando sus reservas y su capacidad estimada de producción y el origen de sus fuentes de extracción.

Principales países productores de Yodo año 2019 y sus reservas					
País	Reserva (indicadas-Comprobadas)		Reserva Base (estimada-Inferida)	Capacidad Producción Ton/Año Hasta	Procedencia y Destinos Principales
Japón	Ton	4.900.000	7.000.000	10.000	Procedencia principalmente de brine como subproducto del gas. Distintas partes del mundo.
Chile	Ton	9.000.000	18.000.000	28.100	Procedencia del Caliche en la I y II región de Chile, sus principales destinos son EE. UU.-BRASIL-EUROPA-ASIA
EE. UU.	Ton	250.000	550.000	2.500	Procedencia en sus inicios de algas, después de brine pozos petrolíferos, yoduro de Plata, yoduro de Potasio, y brine en la recuperación de gas. <b>Existe prohibición de información Estadística.</b>
Rusia	Ton	120000	240000	200	Principalmente de pozos de Petróleo y gas. Interno - China - Emiratos Árabes Unidos. Ha ido en franca disminución hasta llegar a casi "0"
Turkmenistán	Ton	170.000	350.000	500	Depósitos de Brine. Su capacidad instalada estaba para proyectarse a 1.000Ton/Año. Su potencial le permitiría llegar a 4.000 Ton/Año
China	Ton	4.000	120.000	1000	Su producción procede principalmente de las algas y otro tanto de pozos de gas. Tiene un potencial para producir 4.000 Ton/Año
Indonesia	Ton	100.000	200.000	500	Procedencia principalmente de brine como subproducto del gas. Distintas partes del mundo. su producción ha declinada hasta casi "0"

**Fuente:** Global Industry Markets an Outlook 2013, memorias de SQM, Historia del Salitre contada por el Yodo de Patricio Días 1811-2004, apuntes Curso Tecnología del Salitre y Yodo IN623 2006 de Alejandro Puelles Universidad Arturo Prat.

**Nota:** No hay información respecto del estado de sus plantas y su renovación.

En la siguiente tabla se muestra la producción estimada de todos ellos desde 1990 a 2019. La información del 2012 en adelante es una estimación obtenida de distintas gráficas que se publican de carácter informativo de orden general y estimaciones del autor extraídas de memorias de empresas, se exceptúan Chile que son reales en todo el período y Japón hasta el 2011.

Producciones [Ton] estimadas por Países a nivel mundial de Yodo 1990 -2019									
Año	Japón	Chile	EE. UU	China	Azerbaiyana	Rusia	Indonesia	Turkmenistán	Total, Mundial
1990	7.580	4.400	1.970	510		190	60		14.710
1991	7.490	5.500	2.000	500		180	45	15	15.730
1992	6.760	6.100	2.000	500	600	200	30	570	16.760
1993	6.490	4.950	1.940	500	500	195	25	500	15.100
1994	6.400	5.650	1.430	500	400	175	35	260	14.850
1995	5.490	5.103	1.210	500	333	160	77	30	12.903
1996	6.170	5.514	1.320	500	300	150	75	35	14.064
1997	6.030	7.154	1.310	500	300	250	73	87	15.704
1998	6.140	9.722	1.490	500	300	280	70	90	18.592
1999	6.152	9.317	1.620	500	300	300	70	150	18.409
2000	6.100	10.474	1.470	510	300	18	75	150	19.097
2001	6.150	11.355	1.290	515	300	41	75	150	19.876
2002	6.548	11.643	1.320	520	300	56	80	150	20.617
2003	6.524	15.580	1.100	525	210	64	60	400	24.463
2004	7.264	14.931	1.150	531	210	105	60	410	24.661
2005	8.095	15.349	1.575	550	210	104	120	120	26.123
2006	8.724	16.494	1.600	560	210	153	110	110	27.961
2007	9.282	15.473	1.650	570	22	129	100	100	27.326
2008	9.231	15.403	1.700	580	116	42	90	90	27.252
2009	8.232	17.399	1.750	580	150	9	80	80	28.280
2010	9.216	15.793	1.700	590	200	30	70	70	27.669
2011	9.227	16.000	1.575	590	200	11	60	60	27.723
2012	9.300	17.494	1.375	600	200	0	50	50	29.069
2013	9.325	20.656	1.550	600	200	0	40	40	32.411
2014	9.350	18.989	1.600	600	200	0	30	30	30.799
2015	9.300	21.179	1.600	600	200	0	60	450	33.389
2016	9.300	18.444	1.600	600	200	0	60	450	30.654
2017	9.300	18.423	1.600	600	200	0	60	450	30.633
2018	9.300	18.701	1.600	600	200	0	60	450	30.911
2019	9.300	20.216	1.600	600	200	0	60	450	32.426
2019 [%]	28,68	62,35	4,93	1,85	0,62	0,00	0,19	1,39	100,00

Tabla desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, SERNAGEOMIN, Global Industry Markets an Outlook 2013, memorias de SQM, Historia del Salitre contada por el Yodo de Patricio Días 1811-2004, apuntes Curso Tecnología del Salitre y Yodo IN623 2006 de Alejandro Puelles Universidad Arturo Prat.

La recopilación de información en el mercado, vía distintos medios oficiales, nos muestra a Chile con una participación del 62.35 % en la producción de Yodo crudo a nivel mundial en el año 2019, como se muestra en la tabla de arriba, sin embargo, en otros medios la estiman en el orden del 59%. Esta diferencia básicamente está en las estimaciones de la producción de los distintos países productores.

Las normativas vigentes, contienen un proceso regulatorio en cuanto a la trazabilidad del Yodo a nivel mundial por el alto riesgo que significa su uso para fines de producción de anfetaminas relacionados con la droga y otros, lo que facilita la información al menos de las exportaciones, favorecido además por el hecho que 3 países, entre ellos Chile con el 62%, representan el 95% de la producción mundial.

## Principales Empresa productoras de Nitratos Naturales y Sintéticos

Principales productores de Nitrato de Sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) y Nitrato de Potasio  $\text{KNO}_3$  (mezcla de  $\text{NaNO}_3$  con  $\text{KCL}$ )

Chile es el único país en el mundo que utiliza productos naturales provenientes de los depósitos de Caliche.

Empresas	País	Capacidad Instalada Estimada [Ton/Año]	Producción estimada al 2019 en [Ton/Año]	Nitrato de Sodio Estimado	Nitrato Potasio y Potásico Estimado	Mezclas de Especialidades Estimado
SQM	Chile	1.300.000	(1) 1.165.000	30.000	617.000	239.000
Cosayach	Chile	200.000	40.000	40.000	s/i	
ACF/Algorta Norte	Chile	100.000/200.000	80.000		80.000	
ACF	Chile	50.000	10.000		10.000	
(2) Haifa Chemical	Israel	500.000	500.000	S/I	S/I	S/I
(2) Kempaco	Jordania	175.000	175.000	S/I	S/I	S/I

- (1) Incluye Nutrientes mezclados y otros vegetales de especialidad y los Químicos Industriales  
 (2) Su base es el Nitrato Sintético

Producciones de Haifa Chemical, Kempaco, se han asumido a su capacidad instalada, y teniendo presente que su origen es Nitrato sintético.



El productor más importante a nivel mundial es SQM en Nitrato de Potasio con aproximadamente el 50% de las ventas a nivel mundial, seguido de HAIFA con el 16%, (se ha excluido China e India que sus producciones son muy importantes, pero toda o casi toda se destina a uso interno)

La diversidad de subproductos derivados del Nitrato y la existencia del sintético dificulta el análisis a nivel mundial, si bien existen fuentes especializadas que publican las producciones y las transferencias a nivel mundial de estos productos, así como del Yodo, dichas suscripciones tienen un costo anual sobre los US\$ 6.000 que para este trabajo y con los antecedentes que se tienen no prestan un mayor valor agregado

## 2.9.2 Países consumidores y sus consumos

### Países a los cuales ha exportado Chile

Exportaciones [Ton] 2018 Yodo – Yoduro – Yodato						Exportaciones [ton] 2018 Nitratos y Mezclas de Nitratos							
1*	13/28/40		13/14/34		13/14/43	1*	13/43/58		7/16/37		13/7/31		13/,24/42
Países	Yodo	Países	Yoduro	Países	Yodato	Países	Nitrato de Potasio	Países	Nitrato de Sodio	Países	Salitre Potásico	Países	Mezclas de Nitratos
2*	18.701		1.091		157	2*	513.156		91.265		43.081		45.063
3*	98,5%		99,9%		99,7%	3*	96,4%		98,0%		100,0%		99,7%
BÉLGICA	5.382	CHINA	592	MÉXICO	31	HOLANDA	158.572	ESTADOS UNIDOS	24.686	BRASIL	38.998	MÉXICO	15.026
ESTADOS UNIDOS	4.327	COREA DEL SUR	181	PERÚ	22	ESPAÑA	134.713	JAPÓN	19.061	INDONESIA	1.512	JAPÓN	8.501
CHINA	3.074	HOLANDA	162	COLOMBIA	21	ESTADOS UNIDOS	59.536	BÉLGICA	8.501	NICARAGUA	1.325	ESTADOS UNIDOS	7.514
INDIA	1.548	BRASIL	45	NIGERIA	20	SUDÁFRICA	50.828	BRASIL	7.105	HONDURAS	400	BRASIL	5.200
BRASIL	1.115	COLOMBIA	38	FRANCIA	17	PERÚ	25.417	PERÚ	6.390	TAIWAN	312	COLOMBIA	4.268
HOLANDA	1.078	FRANCIA	35	ARGENTINA	14	ARGENTINA	18.585	HOLANDA	6.306	ECUADOR	274	ECUADOR	2.967
SINGAPUR	540	RUSSIA	15	PAKISTAN	10	ECUADOR	13.124	ESPAÑA	5.904	ESTADOS UNIDOS	260	PERÚ	749
ITALIA	463	ARGENTINA	10	BRASIL	7	ITALIA	12.888	INDONESIA	4.413			THAILANDIA	257
NORUEGA	376	MÉXICO	6	ECUADOR	5	INDONESIA	5.696	ARGENTINA	2.394			CHINA	135
ESPAÑA	140	PERÚ	3	BOLIVIA	5	THAILANDIA	4.828	COREA DEL SUR	1.795			ARGENTINA	111
AUSTRALIA	134	ESTADOS UNIDOS	2	REPÚBLICA DOMINICANA	3	COREA DEL SUR	4.565	COLOMBIA	1.160			INDIA	79
JAPÓN	130	BOLIVIA	1	COREA DEL SUR	1	BÉLGICA	3.072	AUSTRALIA	876			BOLIVIA	63
MÉXICO	107	COSTA RICA	0	PANAMA	1	REPÚBLICA DOMINICANA	2.892	THAILANDIA	816			MALASIA	54
4* Totales	18.414		1.090		157	4* Totales	494.716		89.406		43.081		44.924

Tabla desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, SERNAGEOMIN,

#### Notas

- 1\* La simbología X/Y/Z  
X Número países de la lista  
Y Número de Países con que Chile comercializó ese producto durante el 2018  
Z Número de Países con los cuales Chile comercializó en los últimos 15 años
- 2\* Exportaciones totales durante 2018
- 3\* % importado por los países de la lista por cada producto
- 4\* Cantidades importadas por los países de la lista por cada producto

Chile cubre casi el 75% del Yodo demandado en el mundo, el resto de los países del mundo que demandan Yodo crudo están cubierto principalmente por Japón, algo EE. UU. y otros menores.

SQM, uno de los más importantes proveedores del mundo, representa del orden de 35% del mercado mundial de Yodo, otro 25 % de Yodo lo tiene el resto de los productores de Yodo de Chile.

En los Nitratos SQM, representa del orden 45 % de la producción mundial, estimados en 50% en Nitrato de Potasio y 30% en Nitrato de Sodio. Estos son porcentajes estimados y varían de año en año y están interpretados de la información extraída de la memoria anual de SQM del año 2019 y otras publicaciones privadas no oficiales.

**A modo referencial, los grupos señalados en el cuadro anterior se descomponen de la siguiente forma:**

<b>Nitrato Potasio:</b>	Ese grupo está constituido por: 2834 1000 NITRITOS 2834 2100 Nitrato Potasio 2834 2900 Los Demás
<b>Nitrato de Sodio:</b>	3102 500 Nitrato de Sodio
<b>Salitre Potásico:</b>	3105 9010 Nitrato Sódico Potásico (proporción 60/40)
<b>Mezclas:</b>	Grupo constituido por: 3102 9010 Mezclas de Nitrato de Sodio agrícola y silicato de Sodio 3102 9090 Los Demás 3105 5100 Con contenidos de Nitratos y Fosfatos 3105 9090 Los Demás

Nota: códigos indicados corresponden a códigos aduaneros.

### **2.9.3 Precios internacionales**

#### **Precios del Yodo y Nitratos Naturales**

Los Precios del Yodo como de los Nitratos Naturales no se transan en ningún medio o sistema, son comercializados en forma independiente por cada productor, los precios FOB que se exponen en los capítulos siguientes corresponden a los precios de exportación de Chile.

Los precios que se muestran son valores medios de cada periodo a los cuales se han transado estos productos en Chile, a estos debe agregarse los seguros, el flete marítimo, costos en puerto de llegada, de internación en el país de destino y los fletes terrestres hasta su lugar de destino, por tanto, el precio final es distinto para cada comprador dependiendo de donde resida.

Los precios obedecen a las transacciones que se hacen en el mercado bajo un sistema libre de oferta y demanda, favorecidos por la posición privilegiada que tiene Chile en estos productos, en el caso de los Nitratos por su origen natural y únicos explotables comercialmente, y en el caso del Yodo por la cantidad que posee, con costos razonables de explotación y la capacidad instalada de esta Industria, lo que es una garantía para los clientes.

Sin duda estas condiciones especiales donde Chile concentra más del 60% de la producción mundial de Yodo y cubre la demanda del 75% del Yodo a nivel mundial.

En el caso de los Nitratos, la situación es diametralmente opuesta, no alcanza a cubrir el 1% del requerimiento mundial de abonos y fertilizantes, pero abastece a un nicho muy importante que se esfuerza por la protección del medio ambiente y la calidad de sus productos.

Juntos ambos productos, se potencian y resultan ser muy rentables comercialmente.

Los detalles de estos se irán analizando en los capítulos siguientes.

## 2.9.4 Análisis del mercado mundial de los últimos 30 años.

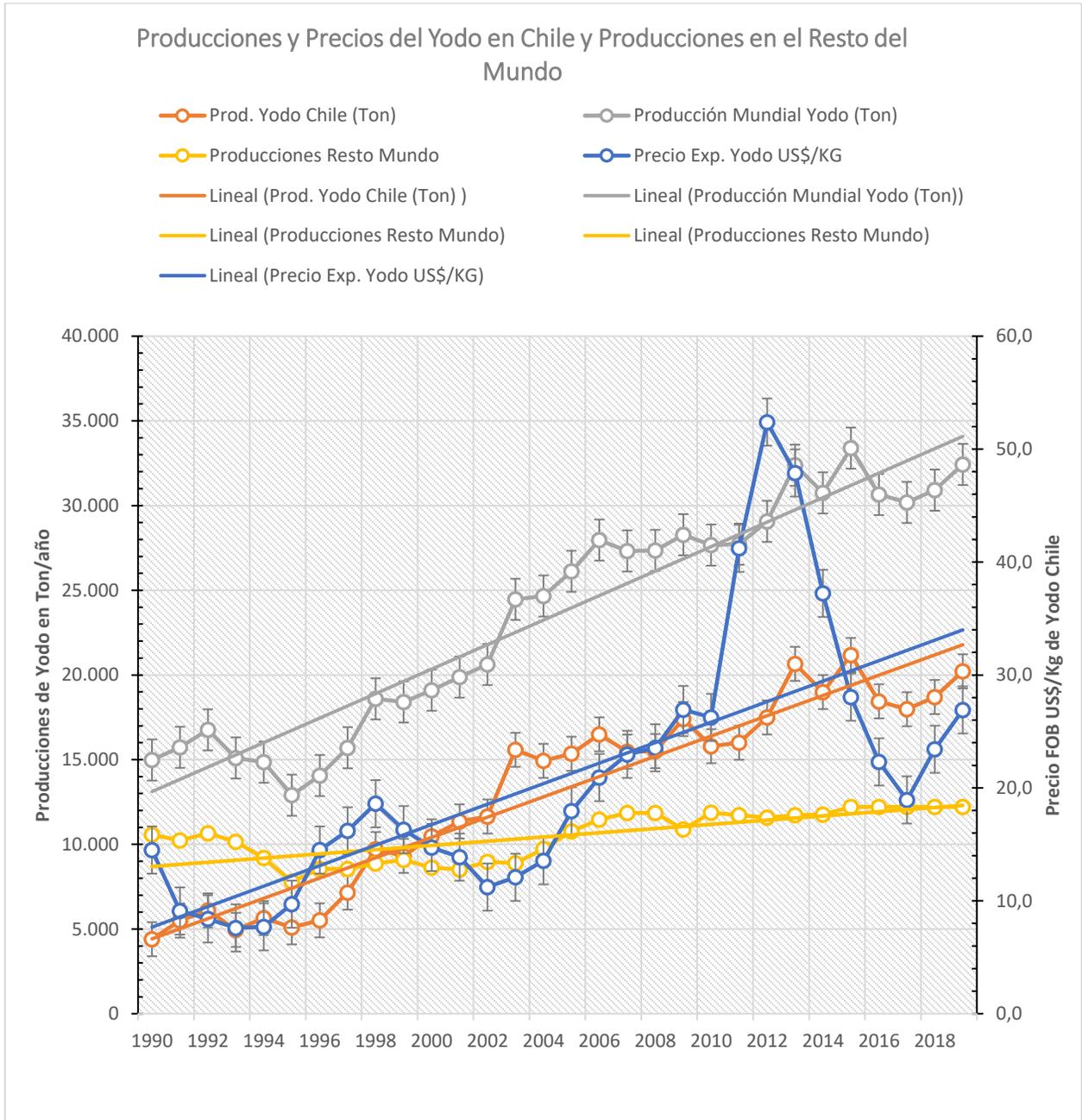
Tabla siguiente contiene la información más relevante de las producciones de Yodo a nivel de Chile y de los países productores más importantes. Y los precios FOB medios anuales a los cuales ha vendido la Industria Chilena. Respecto de los Nitratos, se representa los precios FOB, valor medio, de todos los Nitratos en su conjunto y las producciones de éstos que solo representan la Industria Chilena.

Producciones y Exportaciones [Ton] de Yodo y Nitratos en Chile							Estimación Producciones de Yodo [Ton] del Resto del Mundo				Producciones Mundiales	
Año	Conjunto de Nitratos			Yodo			Japón	E.E. UU.	Otros	Mundial	Estimación Reciclado incluido en Producción Mundial	Producción Mundial Yodo (Ton)
	Precio Exportación Nitratos [US\$/Ton]	Exportación Nitratos	Producción Nitratos	Producción Yodo Chile (Ton)	Precio Exportación Yodo US\$/KG	Exportación Yodo Chilena						
1990	149		784.400	4.400	14,5	4.400	7.850	1.970	760	14.980		14.980
1991	164		776.310	5.500	9,1	5.500	7.490	2.000	740	15.730		15.730
1992	176		840.500	6.100	8,4	6.100	6.760	2.000	1.900	16.760		16.760
1993	158		855.000	4.950	7,6	4.950	6.490	1.940	1.720	15.100		15.100
1994	182		840.500	5.650	7,7	5.650	6.400	1.430	1.370	14.850		14.850
1995	185		847.000	5.103	9,7	5.103	5.490	1.210	1.100	12.903		12.903
1996	212		804.000	5.514	14,5	5.514	6.170	1.320	1.060	14.064		14.064
1997	221		847.000	7.154	16,2	7.154	6.030	1.310	1.210	15.704		15.704
1998	219		905.300	9.722	18,6	9.722	6.140	1.490	1.240	18.592		18.592
1999	223		913.200	9.317	16,3	9.317	6.152	1.620	1.320	18.409		18.409
2000	204		988.410	10.474	14,7	10.474	5.100	1.470	1.053	18.097	1.000	19.097
2001	198		1.072.273	11.355	13,9	11.355	4.950	1.290	1.081	18.676	1.200	19.876
2002	203		1.174.232	11.643	11,2	11.643	5.148	1.320	1.106	19.217	1.400	20.617
2003	206		1.133.921	15.580	12,1	11.906	4.524	1.100	1.259	18.789	2.000	20.789
2004	205		1.402.366	14.931	13,5	12.897	5.064	1.150	1.316	20.427	2.200	22.627
2005	300	843.258	1.282.815	15.349	18,0	13.974	5.495	1.575	1.104	22.148	2.600	24.748
2006	341	730.274	1.111.771	16.494	20,9	13.285	5.724	1.600	1.143	21.752	3.000	24.752
2007	348	767.396	1.160.684	15.473	23,0	14.078	5.682	1.650	921	22.331	3.600	25.931
2008	806	784.918	1.157.582	15.503	23,6	15.817	5.131	1.700	918	23.566	4.100	27.666
2009	680	477.108	1.048.706	17.399	26,9	13.406	4.032	1.750	899	20.087	4.200	24.287
2010	609	763.591	1.058.712	15.793	26,2	15.401	5.016	1.700	960	23.077	4.200	27.277
2011	793	652.875	927.922	16.000	41,2	15.981	4.827	1.575	921	23.304	4.400	27.704
2012	775	763.711	822.584	17.494	52,4	17.217	4.600	1.375	900	24.092	4.700	28.792
2013	780	557.558	759.384	20.656	47,9	17.657	4.100	1.550	880	24.187	5.200	29.387
2014	735	646.999	722.131	18.989	37,2	18.850	4.100	1.600	860	25.410	5.200	30.610
2015	738	498.417	795.330	21.179	28,0	18.351	3.600	1.600	1.310	24.861	5.700	30.561
2016	716	559.915	805.873	18.444	22,3	18.657	3.800	1.600	1.310	25.367	5.500	30.867
2017	700	634.708	852.922	17.976	19,3	18.423	4.200	1.600	1.310	25.533	5.100	30.633
2018	685	692.565	949.434	18.701	22,9	18.701	3.800	1.600	1.310	25.411	5.500	30.911
2019	670			20.216	26,9	20.216	3.600	1.600	1.310	26.726	5.700	32.426

Promedio 2005 al 2018	669.521	961.132	17.532		16.414	4.429	1.521	500	22.864		4.500	29.270
-----------------------	---------	---------	--------	--	--------	-------	-------	-----	--------	--	-------	--------

La información de terceros países es estimadas.

En la Gráfica de más abajo se observa que las producciones mantienen una tendencia estable de crecimiento medio mundial del orden del 715 ton/año, absorbiéndolo principalmente Chile a razón de aproximadamente 600 ton/año, el resto del mundo tiene una tendencia a razón de 115 ton/año. Anteriormente se indicó que la capacidad instalada de Chile para la producción de Yodo es de aproximadamente 28.100 ton/ año, castigándola en un 10%, esta quedaría en 25.290 Ton/año, esto de acuerdo con la gráfica le daría una gran ventaja a Chile porque estaría con su capacidad instalada para cubrir las necesidades estimadas hasta el año 2030 sin hacer nuevas inversiones mientras se conserve esta tendencia.



Gráfica desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, SERNAGEOMIN, Global Industry Markets an Outlook 2013, memorias de SQM, Historia del Salitre contada por el Yodo de Patricio Días 1811-2004, apuntes Curso Tecnología del Salitre y Yodo IN623 2006 de Alejandro Puelles Universidad Arturo Prat.

Respecto de la demanda, la oferta y los precios desde 1990 a 2019, la gráfica refleja como la industria chilena ha cubierto las necesidades del crecimiento mundial:

Del cuadro presentado anteriormente se puede observar que entre 1996 y 1998 se produce un alza en la producción de Yodo de aproximadamente 4.000 Ton, es un salto de un 90% con respecto de la producción de 1995 y el precio sube de US\$/Kg 9.7 a US\$/kg 18.6 en 1998, es decir un , 91.8% ,desde allí en adelante, la producción sube gradualmente y los precio bajan gradualmente hasta US\$/ Kg 11.2, esto es en el 2002, es decir se produce una baja de un 60% en el precio; en el 2003 vuelve a producirse un nuevo incremento fuerte de la producción de otras 4000 Ton., de allí se mantiene estable hasta el 2008 sin crecimiento y los precios suben gradualmente desde ese mismo año de US\$/kg 11.2 a US\$/kg 23.6 , es decir, un 95%, en el 2009 vuelve a haber un incremento del orden de las 2.000 Ton y se mantiene con fluctuaciones más bien a la baja pero cerrando el 2012 casi en la misma producción , sin embargo, el terremoto de Japón del 2011, genera una nueva y fuerte demanda , generando la mayor alza del precio del Yodo conocido hasta esa fecha, pasa de US\$/kg 26.2 el 2010, precio que venía en alza, a US\$/kg 41.2 en 2011 y US\$/kg 52.4 el 2012, y se genera un nuevo salto en la producción del orden de 3.000 Ton; durante el 2013, los precios comienzan a bajar en forma sostenida hasta el 2015 pasando por debajo de la tendencia del precio medio , el 2018 comienza a subir hasta la fecha.

El terremoto en Japón que comprometió algunas de sus instalaciones para la producción de Yodo, y el Tsunami que comprometió gravemente la central nuclear de Fukushima I con las consecuencias que casi todos conocen y que aún no se ha resuelto 100%, esto llevó a una baja en la oferta en el mercado, sumándose una necesidad extraordinaria de Yodo para combatir la radiación nuclear. El suministrar Yodo a las personas, permite proteger las tiroides. Las glándulas tiroides tienden a fijar ciertos elementos, y si capta Yodo radiactivo, lo retiene por mucho tiempo, por lo que el efecto de la emisión se multiplica, al suministrar Yodo, este ocupa los receptores de las tiroides y el elemento radiactivo se elimina más rápidamente. En muchos países con centrales nucleares le entregan pastillas de Yodo a la población dentro de un radio de acción de 15 km y en otros casos un radio de 100 Km.

Esta situación dio origen a una mayor demanda por el impacto del momento, para recuperar y/o para aumentar stock por temor a lo que podría seguir ocurriendo con la radiación nuclear y los tiempos de recuperación de la industria del Yodo dañada, fue un periodo no menor que se requirió para estabilizar el reactor nuclear. Todo eso tuvo un impacto muy fuerte en el mercado del Yodo, donde por dos años consecutivos el precio de Yodo subió considerablemente, entorno a dos veces su valor medio del momento, y demoro otros dos años más en volver a su precio original, y no paró de bajar hasta el 2017, situación que obligó a los productores a bajar la oferta, debido a que los precios cayeron bajo el costo de producción de algunas empresas, sobre todo de aquellas que en ese momento solo producían Yodo o se estaban iniciando en el negocio.

Es importante tener presente el ingreso al mercado del Yodo reciclado o secundario como se le denomina. El 2019 llega estimativamente al 17% de la producción mundial, este proceso viene dándose de hace muchos años de forma muy gradual. A Japón se le atribuye el 75% de producción de Yodo reciclado durante el año 2019, es muy significativa y representa del orden de 5.000 ton. El año 2000 Japón estaba produciendo 6.100 ton. con sus plantas tradicionales, si hoy se le suman 6.000 ton. por reciclaje, tendríamos una producción de 12.100 ton, sin embargo, los antecedentes señalan que ha producido del orden de 9.300 ton. incluido el reciclaje. Esto puede indicar que Japón ha reducido la producción de sus plantas tradicionales en aproximadamente 2.800 ton. Esto se puede deber a que Japón está cuidando sus reservas naturales o sus plantas se deterioraron después

del terremoto del año 2011, al grado de no ser rentable su recuperación por ahora. En el negocio del reciclado también ha ingresado SQM (Sociedad Química Minera) actuando en EE. UU. y EUROPA con socios estratégicos.

## **Salitre**

La época del Oro Blanco, como se le llamaba al Salitre, donde toda la economía chilena creció en función de éste. Post la primera guerra mundial y durante la segunda y de allí en adelante, con el descubrimiento de Franz Haber en 1905, de cómo obtener amoníaco, causaron estragos a la producción de Salitre chilena porque después de la primera guerra mundial pudieron obtenerlo de forma artificial. En ese entonces su uso estaba dirigido principalmente a la industria de los explosivos y la agricultura, hoy sigue siéndolo, pero ampliado a otras áreas y en volúmenes importantes, pero con competencia del sintético.

Anteriormente en el capítulo 2.8, se señaló que la participación de Chile con el Salitre en materias de abonos y fertilizante a nivel mundial no alcanza al 1% de la demanda mundial de todo tipo de abonos y fertilizantes.

La producción de Chile de Nitratos de acuerdo con su capacidad instalada puede llegar a producir aproximadamente a 1.750.000 toneladas anuales, es el más grande productor y único en el mundo en Nitratos Naturales. En el año 2018 se produjeron del orden de 950.000 Toneladas y de ellas se exportaron aproximadamente 700.000 Ton en diversos productos ya sea Nitrato de Sodio, Nitrato de Potasio, Nitrato potásico, y otras mezclas.

Las principales empresas competidoras en el mercado mundial son al menos 2 y producen del orden de 675.000 toneladas, estas son Haifa Chemical en Israel y Kempaco en Jordania.

La Industria chilena tiene una participación del orden del 50% en Nitrato de Potasio y de 30% de Nitrato de Sodio en el mercado mundial, la diferencia la aportan las empresas extranjeras señaladas, pero en base a productos sintéticos.

Dada la poca participación en el mercado y la importancia de estos elementos, ha permitido que la industria chilena, particularmente SQM, se desarrolle en el campo de los fertilizantes ofreciendo productos de primer nivel en el mercado mundial y más sanos para el medio ambiente y dirigirlos a quienes necesitan ofrecer productos frutícolas y otros de excelencia en calidad, tamaño, presentación y de temporada y que están en sintonía con el medio ambiente. Sin duda, cubrir menos del 1% de la industria de los vegetales, es un nicho muy interesante y lo más riesgoso son las condiciones económicas a nivel mundial. como, por ejemplo, el 2008 para la crisis subprime.

En el próximo capítulo se muestra la gráfica de producciones nacionales y sus precios, no se cuenta con la información de Haifa Chemical y KEMPACO. En esta gráfica se analizan las producciones nacionales que se exportan, las diferencias se comercializan en el mercado interno y/o están en stock transitorio.

### 3.-DESCRIPCION DE LA INDUSTRIA CHILENA DE SALITRE Y YODO

#### 3.1.- Productores actuales

##### Yodo y Nitratos

Las empresas ligadas al negocio del Yodo y el Salitre son las que se señalan en el cuadro siguiente

Empresas	Capacidad Instalada Estimada de Yodo Ton/año	Producción estimada 2019 Yodo Ton/año	Capacidad Instalada Estimada 2019 Nitratos Ton/año
ORCOMA-SQM	14.800	11.430	1.300.000
Algorta Norte	4.000	3.288	100.000 / 200.000
Cosayach	5.000	3.877	200.000
Atacama Minerals	1.300	1.167	0
ACF Minera	3.000	454	50.000
<b>Total</b>	<b>28.100</b>	<b>20.216</b>	<b>1.750.000</b>

#### 3.2.-Estadísticas de producción anual.

##### Yodo y Nitratos

Los precios que se muestran a continuación corresponden a valores medios anuales de exportaciones del Yodo y del Nitrato en sus diferentes tipos y mezclas.

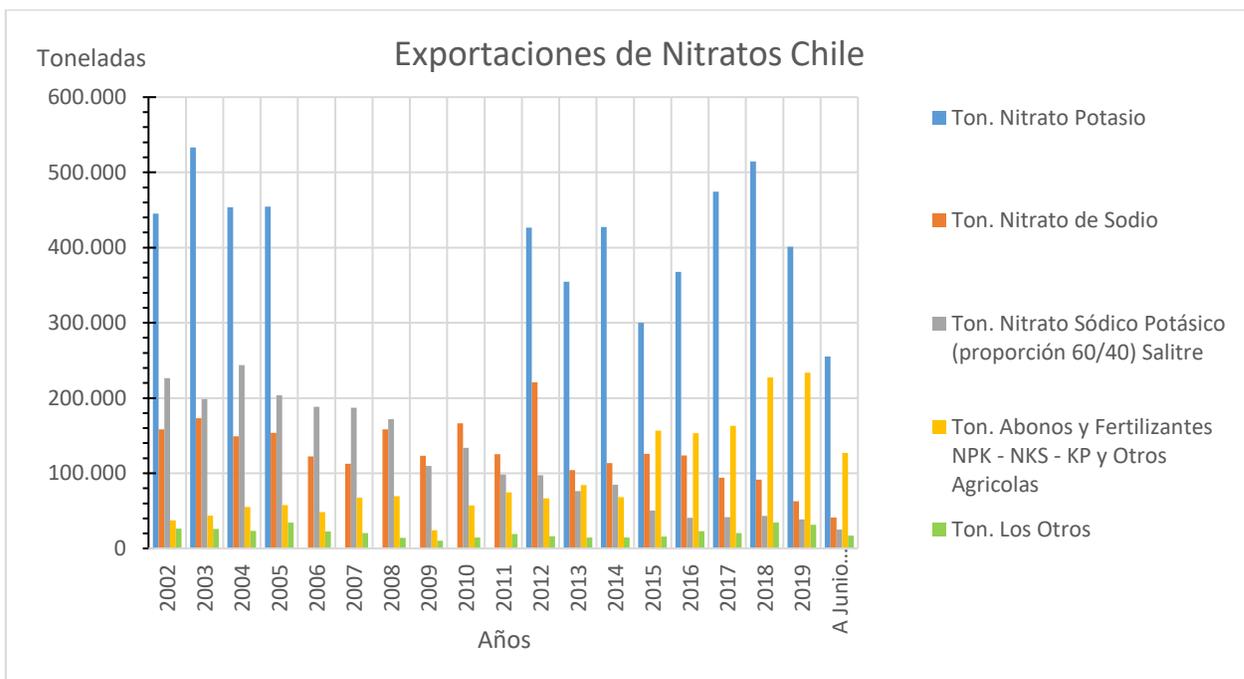
##### Yodo

Exportaciones Chilenas 2005-2016 COCHILCO Servicio Nacional de Aduanas									
Año	Precios Unitarios [US\$/Kg]			Cantidades [Ton]			Miles [US\$]		
	Yodo	Yoduro	Yodato	Yodo	Yoduro	Yodato	Yodo	Yoduro	Yodato
2005	17,9	16,2	13,7	13.974	1.398	426	250.604	22.716	5.818
2006	20,9	20,2	16,3	13.285	1.500	455	277.265	30.286	7.430
2007	23,0	21,0	17,3	14.078	1.436	310	323.392	30.146	5.376
2008	23,6	19,9	18,4	15.817	1.531	291	372.492	30.472	5.349
2009	26,9	21,9	20,6	13.406	1.115	221	361.132	24.381	4.536
2010	26,2	21,1	19,9	15.401	1.537	385	404.108	32.490	7.676
2011	41,2	28,8	29,7	15.981	1.583	292	658.616	45.671	8.664
2012	52,5	47,0	43,0	17.217	759	292	904.216	35.666	12.526
2013	47,9	43,3	40,1	17.657	819	265	845.640	35.499	10.611
2014	37,2	37,2	30,6	18.850	828	208	701.767	30.782	6.379
2015	28,0	25,9	23,5	18.351	806	198	514.590	20.858	4.646
2016	22,3	21,4	18,3	18.657	748	185	415.949	16.034	3.384
2017	19,3	19,4	16,9	18.423	727	224	355.086	14.127	3.798
2018	22,9	22,4	19,7	18.701	1.091	157	428.654	24.474	3.101
2019	26,9			20.216			544.000		

## Nitratos

Descripción	Nitrato Potasio	Nitrato de Sodio	Nitrato Sódico Potásico (proporción 60/40) Salitre	Abonos y Fertilizantes NPK - NKS - KP y Otros Agrícolas	Otros	Nitrato Potasio	Nitrato de Sodio	Nitrato Sódico Potásico (proporción 60/40) Salitre	Abonos y Fertilizantes NPK - NKS - KP y Otros Agrícolas	Otros
Unidades	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	US\$/Ton	US\$/Ton	US\$/Ton	US\$/Ton	US\$/Ton
Código Arancelario	28342100	31025000	31059010			28342100	31025000	31059010		
2002	445.099	158.470	226.448	37.237	26.581	231	162	185	296	173
2003	533.095	173.232	198.491	43.749	26.144	249	181	179	274	215
2004	453.491	149.207	243.680	55.199	23.466	297	222	196	314	231
2005	454.246	153.809	203.796	57.808	34.304	357	242	224	434	265
2006	0	122.250	188.210	48.441	22.412		282	265	458	316
2007	0	112.810	186.945	67.466	20.615		302	259	468	382
2008	0	158.537	171.764	69.350	14.102		545	548	1.379	671
2009	0	123.352	109.741	24.366	10.301		553	537	986	511
2010	0	166.226	134.017	57.092	14.666		624	430	892	1.029
2011	0	125.297	98.237	74.415	19.204		641	507	997	931
2012	426.712	220.914	97.339	66.705	16.386	855	622	752	1.075	974
2013	354.414	104.334	76.358	84.159	14.537	870	671	670	969	877
2014	427.163	113.303	84.713	68.138	14.608	742	633	622	854	913
2015	299.898	125.618	50.420	156.811	16.014	798	572	586	792	898
2016	367.789	123.727	40.790	153.086	22.962	730	637	539	735	844
2017	474.274	94.128	41.487	162.947	20.453	693	590	458	689	874
2018	514.438	91.707	43.161	227.167	34.585	697	585	433	699	899
2019	401.039	62.729	38.659	233.782	31.416	671	562	439	658	1.007
A junio 2020	255.229	41.141	24.926	127.252	17.227	669		413	692	996

Abonos y Fertilizantes NPK - NKS - KP y Otros Agrícolas	Códigos Arancelarios	31029010-31052000-31055100-31056000-31059020
Los Otros		28341000-28342900-31029090-31051010-31059090



Para comprender en parte las razones que pudiese haber habido para no exportar Nitrato de Potasio durante los años 2006 al 2011 se presentan los siguientes antecedentes:

2005 último año que se exporta KNO<sub>3</sub>, el Precio FOB del KCL era de 175 US\$/Ton

Del 2006 al 2008 el precio KCL pasa de 202 a 713 US\$/Ton

Del 2009 al 2011 el precio KCL pasa de 467 a 413 US\$/Ton

Del 2012 al 2016 el precio KCL pasa de 429 a 203 US\$/Ton, 2012 se retoman las Exportaciones.

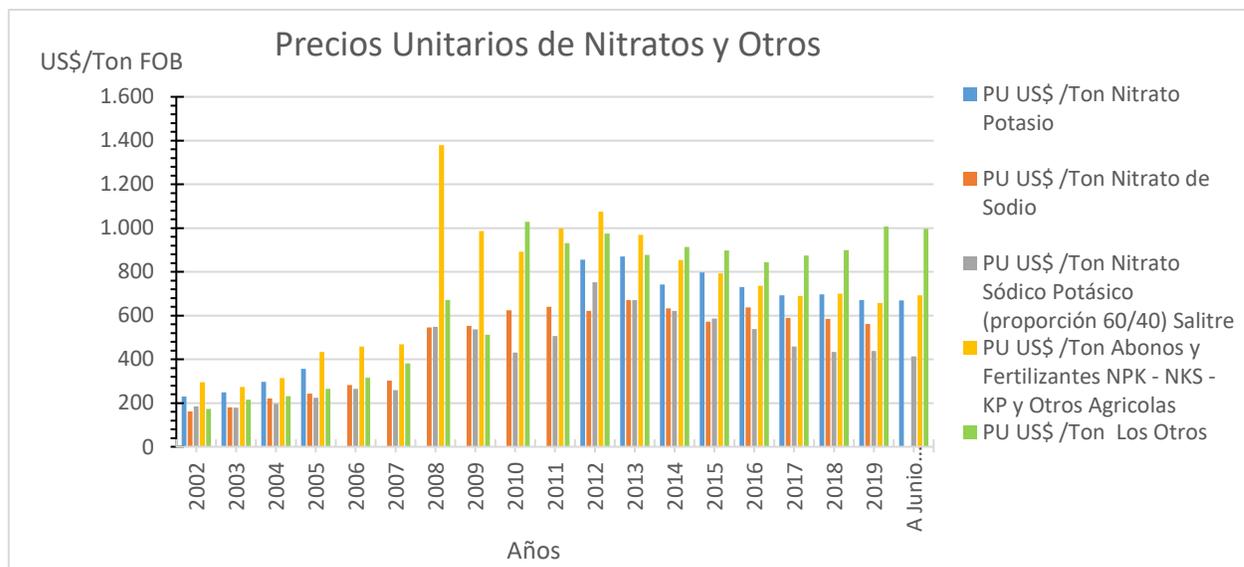
Del 2017 al 2019 el precio KCL pasa de 207 a 271 US\$/Ton

Sin duda la variación de precios del Cloruro de Potasio (KCL), materia prima base para obtener el, Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>), causo la baja de las exportaciones producto del alto costo de producirlo.

KNO<sub>3</sub>, Nitrato de Potasio, se obtiene de la mezcla de NaNO<sub>3</sub>, Nitrato de Sodio con KCL en una relación de aproximadamente 1/0.8 en peso.

El 2008 se destaca los problemas de la Industria inmobiliaria en EE.UU. se genera la crisis SUBPRIME

El 2013 se destaca el tema de los Carteles del Potasio RUSIA/BIELORUSIA y EEUU/CANADA Se rompe el cartel RUSIA/BIELO RUSIA y comienza la baja del precio del KCL.



Gráfica desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, SERNAGEOMIN,

Analizando la gráfica de los precios, observamos un crecimiento muy fuerte al alza del 2002 al 2012, el año 2013 todos experimentan un freno, casi todos tienden a la baja, otros se mantienen, esto hasta el 2020.

Sin duda todo ello tiene relación con la oferta y la demanda, en la medida que las exportaciones van disminuyendo los precios van subiendo entre el 2002 y el 2013 y luego ocurre a la inversa.

Se continuará este punto en el capítulo 5.2 donde se hará un análisis de los Nitratos en Chile.

### 3.3.-Nuevos proyectos productivos.

Los siguientes proyectos se encuentran en etapa de análisis o de estudio desde algunos años y otras industrias que se indican, que iniciaron producciones o iniciaron sus obras que hoy están paralizadas:

Empresas	Capacidad Ton/año	Producción Estimada 2019
Las Tórtolas	paralizado	En Estudio
Arbiodo	3.000 Yodo	En Estudio
Bullmine (1)	1.000 estimado Yodo	Paralizada
Eloisa (2)	2.000 estimado Yodo	Recientemente Comprada
SQM (volúmenes estimados)	4.000 Yodo y 1.000 Nitratos	Para disponer de ellas el 2023 - 2025
Total	6.000	

- (1) Esta Industria estuvo operando, pero no cuenta con agua para satisfacer su producción, se desconoce si una inversión en agua permitiría que su operación sea comercialmente rentable.
- (2) Esta Industria inició sus Inversiones, pero no alcanzó a instalarse por falta de capital y otros problemas. Esta fue adquirida por otro inversionista que está en el mercado del Yodo y Nitrato.

Los dos primeros proyectos, importantes en su magnitud, estaban en etapa de análisis y estudios preliminares. No hay más información respecto de sus avances desde aproximadamente el 2017.

La capacidad instalada a la fecha para producir Yodo es de 28.100 Ton/año, estimándose que la producción del 2020 podría llegar recién a 21.500 Ton., esto sin duda es desincentivador para cualquier nuevo inversionista que quiera entrar al mercado, sumado al hecho que SQM aumentará su capacidad instalada al 2023-2025.

## 4.-DESCRIPCION DE UN PROYECTO PRODUCTIVO TIPICO EN CHILE

### 4.1.-Definición de un proyecto típico.

El proyecto típico consistente en una inversión en Plantas Industriales e Infraestructura para la producción de Yodo y Nitrato de Potasio en el norte de Chile, cuya pertenencia hipotética, se ha explorado con resultados positivos, y cuyos estudios arrojan su viabilidad comercial para 25 años de vida útil para las producciones que se informaron.

**Ubicación:** Región de Antofagasta

**Productos:** Yodo con pureza de 99.5, Nitrato de Sodio y Nitrato de Potasio

**Producción en toneladas anuales:** 4.000 de Yodo y 200.000 de Nitrato de Potasio

### Determinación de la Producción anual de Yodo y Nitratos comercializable.

Caliche Para Tronar	15.960.000		Ton
Caliche Para Extraer	15.200.000		Ton
Rendimientos de Producción		<b>Yodo</b>	
<b>Ley promedio de Yodo (ppm) para una ley de corte predeterminada en estudio de la pertenencia</b>	385	5.852	Ton
<b>Rendimiento</b>			Ton
Lixiviación	80%	4.682	Ton
Planta Concentradora	90%	4.213	Ton
Planta Refinación	95%	4.003	Ton
Yodo (estimado) a envasar		<b>4.003</b>	Ton

Rendimientos de Producción		Nitratos	
Ley promedio de Nitratos dentro de la ley de corte de Yodo determinada anteriormente	7,00%	1.064.000	Ton
Rendimiento			Ton
Lixiviación	65%	691.600	Ton
Evaporación Solar	90%	622.440	Ton
Cristalización	95%	591.318	Ton
Nitrato dejado en Pilas (sin mercado)		391.318	Ton
<b>Nitrato Sodio con salida al mercado</b>	<b>34%</b>	<b>200.000</b>	<b>Ton</b>

En el cuadro anterior, de acuerdo con los resultados de los minerales prospectados dentro de la pertenencia minera, el Yodo no tendría excedentes, pero tenemos un stock importante de sales con un contenido del orden de 50% de Nitrato de Sodio, este puede cosecharse y quedar en Pilas de Sales. El dejarlo en pilas tiene la ventaja de poder estrujar el contenido de agua, bajando posteriormente los costos de transporte, esto ha sido una constante, la relación Yodo / Nitrato fluctúa en una proporción del orden de 5-10 Kg de Yodo por 1 tonelada de Nitratos, En este caso, una vez terminado el proceso de extracción del Yodo, el negocio del Nitrato podría seguir adelante con la misma planta con sus mantenciones y adecuaciones correspondiente hasta agotar el stock de Nitrato de Sodio, pudiendo estar presente por casi 50 años más al mismo nivel de producción prediseñado, sin tener asociado el costo de mina, dicha proyección no es materia de este trabajo por la lejanía del tiempo y los cambios que puedan ocurrir de aquí a esa fecha. De generarse excedente de Yodo durante el proceso de explotación de la mina, este es necesario envasarlo por el riesgo que significa mantenerlo en solución acuosa. Estos excedentes podrán contribuir a la producción en caso de eventuales desajustes operacionales o ventas adicionales que puedan surgir.

El diseño de las instalaciones, principalmente las Plantas, el agua y la energía deben considerar un margen para absorber eventuales caídas de producción que deban ser recuperadas en el tiempo, lo mínimo es considerar un 10 a 15% de capacidad adicional al requerimiento medio de producción. En energía, el requerimiento medio debe elevarse a un 50% por los consumos en punta que se generan en los procesos de lixiviación.

### Estimación de Producciones, Costos Unitarios y Precios de Venta FOB en el mercado Internacional y Nacional.

Estimación de Producciones, Precios e Ingresos Netos			
Producciones	Cantidad	Precio FOB	Total, Ingresos
	Ton	US\$/Ton	US\$
Yodo	4.000	26.900	107.600.00
Nitrato de Potasio	200.000	785	157.000.000
Nitrato Sodio	0	500	0
<b>Total</b>	<b>204.000</b>		<b>264.600.000</b>

Análisis porcentual de volumen y ventas estimadas	Porcentaje	
	Volumen	Ingresos
Yodo	1,96%	40,67%
Nitrato de Potasio	98,04%	59,33%
Nitrato Sodio	0,00%	0,00%
Total	100,00%	100,00%

Como el mercado es el encargado de regular las necesidades, las empresas productoras se deben ajustar a dichos requerimientos, muchas veces esto genera desequilibrios en la producción y a sus costos por la relación Yodo/Nitrato que tiene cada Industria en sus pertenencias.

En la etapa inicial del nacimiento de una industria de este tipo, es común que esta se inicie con la Planta Concentradora y Refinadora de Yodo dado que sus inversiones son más bajas que la de la

Planta de Nitratos y por lo general permite capitalizar para luego hacer las inversiones en ésta mientras se acumula el mineral para su procesamiento.

#### **4.2.-Inversiones de un proyecto típico.**

Inversiones estimadas para una producción de 4.000 toneladas de Yodo y de 200.000 toneladas de Nitrato Potasio anuales para un proyecto de vida útil estimado en 25 años.

Un proyecto de estas características tiene un requerimiento importante de capital para llevar a cabo una inversión de esta naturaleza, capital que puede convenirse en parte mediante un préstamo de instituciones reconocidas en el mercado o aportados por él o los interesados o una inversión mixta, siendo la pertenencia minera un aporte de capital para quien la posea.

Consideraciones:

1. La pertenencia minera está considerada adquirirla.

Para adquirir una propiedad minera deben tenerse presente lo siguiente:

Marco Regulatorio (Constitución, Leyes, Códigos de Minería y Reglamentos de éste)

Concesiones de Exploración y Explotación

Proceso de constitución:

-Pedimento para la concesión de Exploración

-Presentación de Pedimento

-Solicitud de Sentencia Constitutiva

-Tramitación posterior a la dictación de la Sentencia Constitutiva

-Pedimento para la concesión de Explotación

-Presentación de la Manifestación

-Solicitud de Mensura

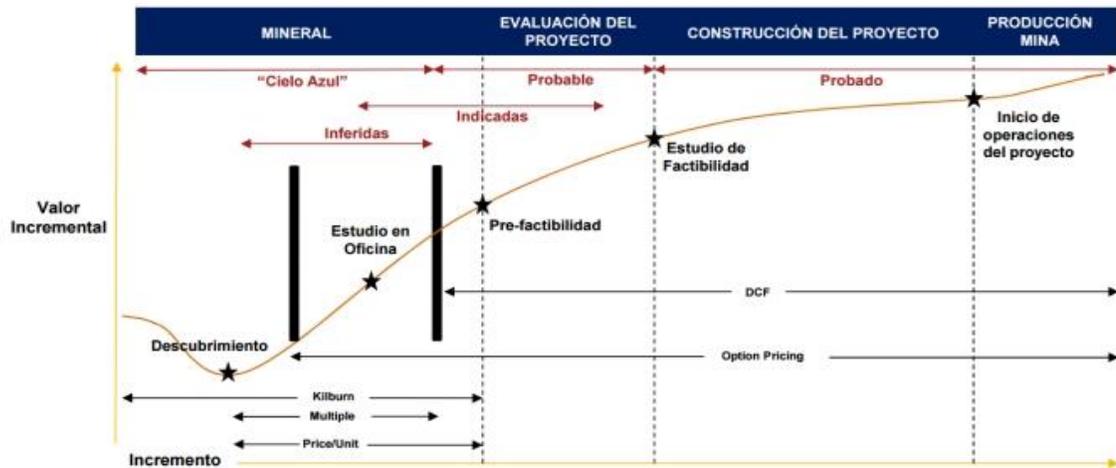
-Mensura

Tramitación posterior a la dictación de la Sentencia Constitutiva.

Adquisición de la Concesión Minera por diversas vías legales previstas y mantenerla al día mediante el pago de la patente anual de amparo y monitorear la propiedad para defender la Concesión en caso de Superposición.

2. Desarrollo del Proyecto y Presentación a Sernageomin junto con la DIA, EIA para obtener la RCA que autoriza finalmente la ejecución de dicho proyecto.
3. Exploración llevada a cabo bajo las más estrictas normas y procedimientos para dar garantía que dicho estudio es confiable para seguir adelante con las siguientes etapas de inversión.
4. Ingeniería concebida con un diseño para la capacidad de producción solicitada y capaz absorber imprevistos dentro de márgenes esperados, de manera de asegurar la producción anual.
5. Suministro de agua considerado para un caudal estimado de 750 m<sup>3</sup>/hora  
Distancia promedio a la que se encuentran las minas de Caliche de la costa son aproximadamente 100 Km. La cota máxima estimada de elevación de 1.600 msnm con 3 estaciones de bombeo intermedias.

6. Inversiones en Chancado es una opción que aquí no se evalúa.  
La Inversión en chancado va a depender mucho de las características del Caliche a explotar y el método de extracción, sin embargo, se considera innecesaria para los tipos de procesos señalados y es más conveniente la reducción ya sea con explosivos o medios mecánicos como martillos grandes adosados a Excavadoras, puesto que solo se trata de reducir el sobre tamaño.
7. La pertenencia Minera por adquirir se ha valorizado en US\$ 40.000.000, tomando en consideración el método del “Option Pricing”, “NSR Net Smelter Return” que consiste en un pago de regalías como un porcentaje fijo o variable sobre el margen comercial. En este caso se ha estimado en un 2.0 % del margen comercial después de impuestos. Podrían discutirse otras opciones, pero esta es una de las más recomendadas. El valor se obtuvo de estimaciones del valor medio de venta de los productos, US\$/Kg 26.9 para el Yodo y US\$/Ton 900 para el Nitrato de Potasio en el mercado nacional (US\$/Ton 671 el precio FOB de exportación) y considerando que el proyecto tiene toda la información necesaria para estimar el margen comercial como se expone más adelante.



Fuente: Ilustraciones y antecedentes obtenidos del documento “Principios de la Valorización de Propiedades Mineras” del autor Juan Pablo Gonzales, Gerente del área Minera R&R, SRK Consulting (Chile) S.A.

8. Se ha considerado en la evaluación de costos que los equipos de mina se mantienen rigurosamente conforme a recomendaciones del fabricante y un overhaul parcial, así la vida útil del equipo no tendría inconveniente para llegar a los 7 años en promedio e incluso 10, lo que es muy bueno considerando la agresividad de este tipo de mineral, altamente corrosivo y abrasivo. La primera adquisición como inversión, los siguientes recambios de equipo para mantener la capacidad de producción anual, se han considerado dentro del gasto operacional.

## Detalle de las Inversiones para una Operación Conjunta:

En el siguiente cuadro se presentan las inversiones a realizar en este proyecto.

Inversiones estimadas en dólares para una producción anual de Yodo de 4.000 toneladas y 200.000 de Nitrato de Potasio										
Ítem	Inversiones	Inversión Estimadas	Participación de Yodo	Participación de Nitratos	Monto participación Yodo	Monto participación Nitrato de Potasio	nota (a)	Nota (b)	Nota (c)	
1	Exploración comercial del yacimiento	2.000.000	50%	50%	1.000.000	1.000.000	25			
2	Estimación valorización de la Mina para su consideración de participación de socios u otros objetivos US\$ 40.000.000	40.000.000	50%	50%	20.000.000	20.000.000	25	25		
3	Ingeniería Mina-Planta (definiciones conceptuales de plantas, lixiviación, accesibilidad de agua) etc.	2.500.000	50%	50%	1.250.000	1.250.000	25			
4	Estudios preliminares de Medio Ambientales y Arqueológicos	1.000.000	50%	50%	500.000	500.000	25			
5	Ingeniería Infraestructura y Proceso	4.250.000	30%	70%	1.275.000	2.975.000	25	40		
6	Permisos, Derechos, y Aprobaciones EIA y otros	2.000.000	50%	50%	1.000.000	1.000.000	25			
7	Inversiones en Materia Ambientales y Arqueológicas por determinación de las Autoridades competentes	3.000.000	50%	50%	1.500.000	1.500.000	25			
8	Costo Cierre Mina por Procedimientos establecidos por la Autoridad competente (al final de la vida útil)	Costo 4.6 millones en costo operacional						25		
9	Costos Garantías Cierre de Mina (25 años)	Costo 1.4 Millones en Costo Operacional						25		
10	Estimación Inversión Planta de Nitratos para 200.000 Ton	100.000.000	0%	100%	0	100.000.000	25	40	13	
11	Equipos Mina y Apoyo Mina	42.000.000	50%	50%	21.000.000	21.000.000	7	9	3	
12	Sistema de Abastecimiento de Agua de Mar (Yodo y Nitratos)	80.000.000	50%	50%	40.000.000	40.000.000	20	20	6	
13	Lixiviación	3.500.000	50%	50%	1.750.000	1.750.000	10	10	3	
14	Nitratos BES	12.000.000	0%	100%	0	12.000.000	10	10	3	
15	Planta Concentradora (Planta Química)	14.500.000	100%	0%	14.500.000	0	25	40	13	
16	Planta de Refinación y Envasado	4.500.000	100%	0%	4.500.000	0	25	40	13	
17	Casa Fuerza y Caldera	10.000.000	50%	50%	5.000.000	5.000.000	10	10	3	
18	Almacenamiento y Distribución Combustible	1.000.000	50%	50%	500.000	500.000	10	10	3	
19	Talleres Mecánicos, Eléctricos, Bombas, Estructura	4.500.000	50%	50%	2.250.000	2.250.000	20	20	6	
20	Servicios Generales y Campamento	14.500.000	50%	50%	7.250.000	7.250.000	20	20	6	
21	Administración Construcción	2.500.000	50%	50%	1.250.000	1.250.000	25	40	13	
	<b>Total</b>	<b>343.750.000</b>			<b>124.525.000</b>	<b>219.225.000</b>				
	Yodo (por unidad de producción proyectadas)	US\$/kg	36,23%		1,25					
	Nitratos (por unidad de producción proyectada)	US\$/Ton		63,77%		43,85				

Los ítems 1 al 7 para los efectos del análisis de las inversiones, estos han sido considerados como parte de la mina, depreciándose en el periodo de la vida útil de esta, que para este proyecto son 25 años (54.75 US\$ Millones), los ítems 10 al 21 correspondería a inversiones en Yodo y Nitratos; Yodo 98 US\$ Millones y Nitrato 191US\$ Millones.

Solo para tener un valor referencial, el costo unitario de 1.25 US\$/kg para el Yodo se obtiene de dividir las inversiones de Yodo por la producción a realizar durante su vida útil, incluida la proporción de la mina. El valor de 43.85 US\$/Ton del Nitrato se obtuvo de forma similar

(a) Análisis de acuerdo con la Vida útil de la Mina

(b) Vida útil normal según SII

(c) Depreciación acelerada según SII

La inversión en el suministro de agua aquí señalada podría bajar hasta en un 90% o más de existir este recurso dentro de la pertenencia, en un punto mediamente central y en cantidades suficientes para cubrir las necesidades del proyecto

### 4.3.-Costos de operación (OPEX) de un proyecto típico.

Análisis de los costos para una producción de Yodo y Nitratos comercializable anualmente acorde con las inversiones inicialmente expuestas.

La siguiente tabla muestra una distribución estimada de la dotación de personal para las distintas áreas que componen este tipo de industria incluida la Planta de Nitratos y La Oficina Central.

<b>Tabla general con estimación de la dotación de personal por áreas</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Hombres Mes</b>
Remoción del Caliche 1 Turno Diurno (Tronadura)	51
Extracción y carguío del Mineral y apoyo a la Extracción 1 Turno Diurno Nocturno	50
Transporte de Mineral puesto en Pila y apoyo en Pila 1 Turno Diurno Nocturno	63
Construcción de bases de Pilas 1 Turno Diurno	38
Mantenión de caminos y otros 1 Turno Diurno	16
Colocación de membranas 1 Turno Diurno	30
Implementación de riego de Pila 1 Turno Diurno	30
Tendido de Matrices y redes de distribución de riego y retorno soluciones salinas a planta 1 Turno Diurno	28
Mantenión y control del proceso de lixiviación 1 turno diurno Nocturno	56
<b>Operación Planta Nitratos y Anexos (1 Turno Diurno Adm., y 1 turno Diurno Nocturno Operación y Mantenión)</b>	45
Operación Planta Concentradora 1 Turno Diurno Nocturno	14
Operación Planta Refinadora 1 Turno Diurno Nocturno	15
Envasado y despacho producto final 1 Turno Diurno Nocturno	14
Suministro de Agua 1 Turno Diurno Nocturno	14
Departamento Mecánico (Taller Mecánicos, Lubricación y Filtros, Rodado, Mantenión Terreno, Estructura, Bombas y Anexos) 1 Turno diurno, y personal de emergencia para la noche	63
Departamento Eléctrico (Taller, Calderas, Generadores, Desarrollo Mina, Anexos) 1 Turno Diurno Operacional y y personal de emergencia para la noche	37
<b>Área Servicios</b>	
RRHH - Prevención de Riesgo - Medio Ambiente Turno 7x7 Diurno	8
Logística y Servicio Combustible Turno 7x7 Diurno	14
Mantenión Campamento y Plantas de Tratamiento Turno 7x7 Diurno	9
Laboratorio Turno 7x7 Diurno	4
Control de acceso y salida y resguardo instalaciones	11
Hotelería y Casino Turno 5x2 y 7x7 Diurno y 7xT	50
Gerencia Operaciones y Profesionales de áreas Turno 5x2, 7x7 Diurno 7x7 Diurno Nocturno	10
Administración General Turno 5x2	25
<b>Total</b>	<b>695</b>

**Nota:** Personal trabaja en Jornada 5x2 para la administración y 7x7 Diurna, 7x7 Diurna y Nocturna para las operaciones en general.

1 Turno solo Diurno, significa una jornada de 7X7 en que el personal se rota cada 7 días y la dotación señalada se divide en 2 grupos

1 Turno Diurno Nocturno, significa una jornada de 7X7 en que el personal se rota cada 7 días, y la dotación señalada se divide en 4 grupos para cubrir turno diurno y nocturno y su reemplazo cada 7 días.

## Parámetros (KPI) tenidos en consideración para el análisis del costo operacional del Yodo:

KPI			KPI				
Descripción	Rangos Estimados		Unidades	Descripción	Rangos Estimados		Unidades
Ácido Sulfúrico Proceso total	8,0	9,0	Kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Yodo Concentrado	64,5	79,9	% I <sub>2</sub> cargado
Azufre Proceso total	1,0	1,2	Kg s/Kg I <sub>2</sub>	Yodo Lixiviado	75	85	% I <sub>2</sub> cargado
Hidróxido de Sodio (Soda) Proceso total	0,75	0,85	Kg NaOH /Kg I <sub>2</sub>	Yodo Refinado	59,4	78,3	% I <sub>2</sub> cargado
Metabisulfito Proceso	0,14	0,16	Kg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Yodo Refinado	92	98	% I <sub>2</sub> Concentrado
Ácido Sulfúrico PC	4,2	6,0	Kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Yodo Concentrado	86	94	% I <sub>2</sub> Lixiviado
Azufre PC	1,0	1,2	Kg s/Kg I <sub>2</sub>	Energía Agua Fresca impulsada	9	10,5	Kwh/M3 agua Fresca
Hidróxido de Sodio (Soda) 100% PC	0,5	0,7	Kg NaOH /Kg I <sub>2</sub>	Energía Agua Fresca impulsada	3,65	4,05	Kwh/Ton Caliche cargado
Metabisulfito promedio en operación normal PC	0,1	0,2	Kg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Energía Mina	2,6	2,9	Kwh/Ton Caliche cargado
Operación solo con Metabisulfito PC	2	3	Kg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Diesel Energía	0,15	0,2	Lts/Ton Caliche cargado
Ácido Sulfúrico PR	3,0	3,3	Kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /Kg I <sub>2</sub>	Diesel Equipos Móviles	0,4	0,45	Lts/Ton Caliche cargado
Hidróxido de Sodio (Soda) 100% PR	0,12	0,15	Kg NaOH /Kg I <sub>2</sub>	Fuel oil 6 Energía y Vapor	0,5	0,6	Lts/Ton Caliche cargado
Metabisulfito PR	0,0	0,01	Kg Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Altura Media	10	11	m
Energía Agua Fresca impulsada	10,9	12,1	Kwh/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Base Pila	32.800	36.200	m <sup>2</sup>
Energía Mina	12,4	13,7	Kwh/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Corona Pila	19.700	21.800	m <sup>2</sup>
Agua Industrial Campamento	6,8	7,5	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Corona y Talud Pila	33.000	36.000	m <sup>2</sup>
Agua Industrial Concentradora	15,8	17,5	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Volumen medio Pila	261.844	319.725	m <sup>3</sup>
Agua Industrial Otros	1,7	1,9	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado				
Agua Industrial Refinadora	8,7	9,6	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	Tasa Riego Corona/Pila	1	3	Lts. Agua Total/m <sup>2</sup> /hora
Diesel equipos motorizados	1,7	1,9	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Total, Agua Riego Mes/Pila	19.700	65.400	m <sup>3</sup> Agua Total/mes
Diesel Generación para Plantas, Lixiviación, Servicios y campamento	0,7	0,8	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Tonelaje medio Caliche/Pila	471.319	610.994	Ton Caliche
Fuel Oil 6 Generación para Plantas, Lixiviación, Servicios y campamento	2,4	2,6	Lts/Kg I <sub>2</sub> Envasado	*Yodo cargado/Pila	181.458	235.233	Kg I <sub>2</sub> /pila
Agua Fresca impulsada	1,4	1,6	m <sup>3</sup> /Kg I <sub>2</sub> Envasado	Densidad media de Pila	1,8	1,9	Ton/m <sup>3</sup>
Tasa Total de riego	5,9	6,5	m <sup>3</sup> /Kg I <sub>2</sub> Envasado	HH Operaciones y Central	0,35		HH/Kg I <sub>2</sub> Envasado
Tasas de Riego Agua Feble	4,6	5,1	m <sup>3</sup> /Kg I <sub>2</sub> Envasado	HH Operaciones y Central	0,092		HH/Ton Caliche cargado
Tasas de Riego Agua Fresca	1,3	1,4	m <sup>3</sup> /Kg I <sub>2</sub> Envasado	• Nota: Parámetros están en función de las dimensiones de las pilas. [Pila Tipo]			

## Presentación de los costos operacionales de los procesos de Yodo y Nitrato y su distribución.

La siguiente tabla muestra los costos operacionales anuales de ambos procesos, así como la distribución de estos en aquellas actividades que son comunes hasta la extracción de las salmueras inclusive, cuyo esfuerzo físico y económico es el mismo para ambos y en otros de carácter administrativo y servicios que igualmente deben ser compartidos. Por lo anterior se ha considerado distribuir dicho esfuerzo en un 50%, salvo algunos en los cuales deben hacerse consideraciones distintas por su naturaleza.

## Tabla de desarrollo de costos unitarios de producción y su distribución según las producciones de Yodo y Nitratos

Resumen de Costos Operacionales estimados en la Producción de Yodo y Nitratos				Distribución de los costos de Yodo y Nitratos (Envasado)			
ítem	Áreas de producción y servicios	Gastos Anuales	US\$/Kg Yodo Envasado	Participación de Yodo	Participación de Nitratos	US\$/Kg Yodo 4.000Ton/año	US\$/Ton Nitratos 200.000 Ton/año
1	Perforación y Tronadura	14.680.000	3,670	50,00%	50,00%	1,8	36,7
2	Construcción Base de Pila	7.640.000	1,910	50,00%	50,00%	1,0	19,1
3	Extracción, Transporte a Base Pila y conformación de la Pila	11.000.000	2,750	50,00%	50,00%	1,4	27,5
4	Costo reposición anual Equipos Mina y Apoyo Mina	3.360.000	0,840	50,00%	50,00%	0,4	8,4
5	Lixiviación	7.940.000	1,985	50,00%	50,00%	1,0	19,9
6	Desarrollo Lixiviación	4.100.000	1,025	50,00%	50,00%	0,5	10,3
7	Costos ESTIMADOS proceso Nitratos	60.000.000	0,000	0,00%	100,00%	0,0	305,0
8	Operación Soluciones Descarte para Nitratos	880.000	0,220	0,00%	100,00%	0,0	4,4
9	Planta Concentradora Yodo	14.000.000	3,480	100,00%	0,00%	3,5	0,0
10	Planta Refinación de Yodo, Envasado, Paletizado y Despacho (FOB)	5.400.000	1,350	100,00%	0,00%	1,4	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>129.000.000</b>	<b>17,230</b>			<b>10,9</b>	<b>431,2</b>
11	Administración y Servicios Generales de Faena	8.000.000	2,000	75,00%	25,00%	1,5	10,0
12	Gastos Oficina Central y Comercialización	3.400.000	0,850	50,00%	50,00%	0,4	8,5
	<b>Subtotal</b>	<b>11.400.000</b>	<b>2,850</b>			<b>1,9</b>	<b>18,5</b>
13	Suministro Agua de Mar	8.000.000	2,000	50,00%	50,00%	1,0	20,0
14	Chancado No considerado		0,000	50,00%	50,00%	0,0	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>8.000.000</b>	<b>2,000</b>			<b>1,0</b>	<b>20,0</b>
	<b>Total, General</b>	<b>148.400.000</b>	<b>22,080</b>			<b>13,8</b>	<b>469,7</b>
	<b>Costo Unitario Operación solo Yodo</b>				<b>22,080</b>		
	<b>Costo Unitario Operación solo Nitratos</b>				<b>645,0</b>		

Cada compañía tendrá sus propios estudios en cuanto a estos porcentajes y podrán variar en el tiempo según sus propias consideraciones operacionales, comerciales y tributarias.

ítem	Resumen costos operacionales estimados por unidad de producción	US\$/Kg Yodo	US\$/Ton Nitratos
1	Costos Operacionales del Yodo asumiendo participación de Nitratos	10,9	431,2
3	Administración Operaciones, OF. Central y Comercialización	1,9	18,5
4	Suministro Agua	1,0	20,0
5	Chancado no considerado	0,0	0,0
	<b>Total, General</b>	<b>13,8</b>	<b>470</b>

Es necesario reiterar la importancia en el origen del suministro de agua, por la incidencia que tiene tanto en los costos de inversión como en los unitarios por unidad de producción. Este solo hecho puede hacer la diferencia del orden de un 5% en el costo entre una u otra empresa.

Se han tenido a la vista todos los antecedentes necesarios para una muy buena evaluación del proyecto relacionado con el Yodo y se ha hecho la mejor estimación de los costos operacionales e inversiones en el Nitrato.

La siguiente tabla tiene como propósito distribuir los gastos operacionales por rubro, a diferencia de la anterior que se hizo por unidades operativas o de proceso.

Allí se muestra una forma diferente de distribuir los gastos, esto es, por los rubros más importantes, esto permite visualizar rápidamente como afectarían las variaciones de precios de estos en el presupuesto de operaciones.

Costos estimados distribuidos por Rubro incluido Subcontratistas y Servicios				
Ítem	Descripción	%	%	%
		Solo Yodo	Solo Nitrato de Potasio	Proyecto Conjunto
1	Mano de Obra	18,7%	14,0%	15,7%
2	Combustible Equipos y Maquinarias	4,3%	7,8%	6,5%
3	Repuestos y Reparaciones Equipos	13,5%	10,0%	11,3%
4	Materias Primas	18,2%	32,0%	27,0%
5	Energía de la Red y/o Autogeneración	14,3%	9,2%	11,0%
6	Materiales e Insumos varios	18,8%	16,0%	17,0%
7	Otros	12,3%	11,0%	11,5%
	Total	100,00%	100,0%	100,0%

Existen muchas formas de presentar los costos, lo más importante que estos puedan comprenderse fácilmente, tengan una trazabilidad y la información este dentro de rangos aceptables de error, de modo de poder ir tomando las acciones correctivas según sea el caso. Siempre es importante mantener los registros históricos mes a mes y año a año para ir comprendiendo variaciones que se producen entre ellos y comparando de modo expreso los frentes extractivos entre sí.

Los costos operacionales aquí presentados no consideran costos financieros de tipo alguno ni el impuesto de primera categoría y como se desprende de los antecedentes, todo está valorizado en dólares, moneda a la cual se transan por lo general los equipos, materias primas y los productos. La minería se maneja en relación con el dólar.

### Resumen de costos, precios y márgenes comerciales antes de impuestos y financiamiento

Costo Total considerando Precio Unitario en Inversiones y costos Operacionales	Costos Unitarios de operación de cada una por separado Yodo y Nitratos					
	Inversiones		Costos Operacionales		Totales	
	Yodo	Nitratos	Yodo	Nitratos	Yodo	Nitratos
	US\$/Kg	US\$/Ton	US\$/Kg	US\$/Ton	US\$/Kg	US\$/Ton
Infraestructura	2.43	64.95				
Costo Financiero estimado			22.08	645	24.5	710

Costo Total considerando Precio Unitario en Inversiones y costos Operacionales	Costos Unitarios de operación conjunta de Yodo y Nitratos					
	Inversiones		Costos Operacionales		Totales	
	Yodo	Nitratos	Yodo	Nitratos	Yodo	Nitratos
	US\$/Kg	US\$/Ton	US\$/Kg	US\$/Ton	US\$/Kg	US\$/Ton
Infraestructura	1,25	43,85				
Costo Financiero estimado			13,8	469,7	15.1	514

La evaluación realizada, los precios de venta FOB de los productos en el mercado, y los diferentes antecedentes y supuestos tenidos a la vista, deja de manifiesto que necesariamente un proyecto de estas características se sustenta en el tiempo como proyecto conjunto de Yodo y Nitratos, no como mono productor, solo Yodo o solo Nitratos, de hacerlo, asume altos riesgos financieros y por ende la pérdida del negocio. La única opción sin riesgo sería que las leyes de su pertenencia de forma independiente sean lo suficientemente altas que las aquí estimadas de modo que permita auto sustentarse como mono productor en cualquiera de ellos.

Entre los años 2015 y 2019 el precio del Yodo ha estado fluctuando dentro del rango de US\$/Kg [ 19.41- 28.54], la media ponderada del periodo fue de US\$/Kg 23.94. El año 2019 con un alza persistente entre enero y diciembre desde US\$/Kg 24.8 hasta US\$/Kg 29.64, cerrando con valor medio ponderado de US\$/Kg 26.99

El Nitrato de Potasio entre US\$/Ton [798 - 671] (precio de exportación), en el mismo periodo 2015-2019 más bien al alza.

En Chile, el Nitrato de Potasio se comercializa casi todo internamente, salvo SQM que exporta gran parte de su producción. El precio en el mercado Nacional es de 900 US\$/Ton y el precio FOB de exportación es de 671 US\$/Ton. Un precio conservador sería considerar el promedio de ambos, este sería de US\$/Ton 785, valor más conservador para los análisis sucesivos.

El precio del Nitrato de Potasio en el mercado Nacional se sustenta sobre la base de que la alternativa puede ser algo más barata o igual, pero los productos son de distinta calidad, uno es natural y el importado sería sintético.

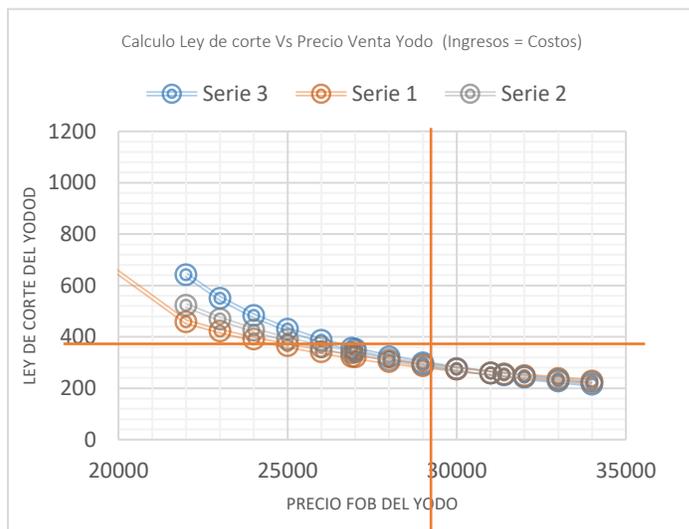
Con estos antecedentes se puede establecer que el punto de equilibrio (break even point) del precio del Yodo y Nitrato debiera estar en estos momentos del orden de los US\$/Kg 15 y US\$/Ton 500 respectivamente para un proyecto donde ambos productos participan del desarrollo de la industria.

Se puede decir que el año 2019 fue un muy buen año para los productores de Yodo y Nitrato teniendo una relación de Precio/Costo de 1.78 y 1.53 respectivamente, considerando el precio promedio del Nitrato de Potasio, relación bajo una operación conjunta, sin duda, la relación Precio/Costo se observa medianamente equilibrada entre ambos productos.

En el caso que solo hubiese sido productor de Yodo, el factor sería  $26.9/24.5 = 1,1$  y si solo hubiese sido solo productor de Nitratos el factor sería  $785/710 = 1,1$ , sin duda, esto no se sustenta, ello independientemente de la fortaleza que pueda tener cada uno.

Entre 2005 y 2019 el precio promedio ponderado del Yodo fue de US\$/Kg 30 apoyado de fuertes externalidades como fue el terremoto del 2011 en Japón. En el caso del Nitrato de Potasio el promedio estimado en el mercado Nacional fue de 1120 US\$/Ton

**Grafica de la ley de corte del Yodo con Beneficio =0 para este proyecto:**



Serie 1 Construida con los datos del proyecto.

Serie 2 Se traslada el costo del agua como gasto general a costo de lixiviación.

Serie 3 Se pasa el costo de construcción de bases a Lixiviación y se saca como costo de mina y se mantiene el costo de agua en lixiviación

Se observa que la fórmula de ley de corte se comporta sin alteraciones importantes en el rango de precios de US\$/Ton Yodo 27.000 en adelante, bajo este precio

comienza a separarse significativamente, de hecho. En este estudio se ha considerado una ley de 385 ppm y el resultado de la formula nos señala que debiera ser 458 ppm (19% mayor) para un precio de US\$/Ton Yodo 22.000, pero resultados de terreno han demostrado que 385 ppm es el valor correcto. Esto está directamente relacionado con la sensibilidad en que se distribuyan los costos. Esto requiere un análisis más acucioso del costo en cada unidad de proceso.

#### 4.4 Análisis Financiero y de Rentabilidad

En este capítulo analizaremos la rentabilidad que tiene este proyecto, según el siguiente detalle:

- 1) Desarrollar el flujo de caja considerando los ingresos por ventas, gastos operacionales, inversiones, depreciaciones, amortizaciones, intereses e impuestos, aportes de socios y financiamiento a una tasa del 5% sobre el dólar del proyecto.
- 2) Se determinará la TIR (tasa interna de retorno) de la caja del proyecto para el proyecto definido y se simularán variaciones de precio tanto del Yodo como del Nitrato para determinar las zonas de riesgo.

El periodo inicial está afectado por las inversiones y capital de trabajo. El periodo final se ve afectado por la disminución gradual de las operaciones, terminando primero el Yodo y luego los Nitratos y posteriormente el desmantelamiento y cierre de la faena minera en su totalidad, quedando la opción de la continuidad de la Planta de Nitratos y servicios anexos necesarios.

El cierre de la faena minera, factor a considerar al final del proyecto y obligado por normativas vigentes y exigidas a contar aproximadamente del año 2015 y que consiste resumidamente en que: "todas las instalaciones y áreas explotadas deben quedar en condiciones tales que no comprometan la seguridad de las personas y no tengan efectos de por vida sobre el medio ambiente". Esto implica desmantelar, hacer cierres que no puedan deteriorarse en el tiempo, evitar que eventuales lluvias puedan causar daño a la infraestructura pública y/o privada aledaña. Estos son costos que deben asumirse en el proyecto, así como los costos de las garantías reales al Estado de Chile durante la vigencia de la explotación. De acuerdo con la norma vigente, las operaciones no podrán iniciarse sin antes que el Estado de Chile cuente con dichas garantías reales.

##### 1. Cierre sin opción de continuidad:

Primero, el valor residual al final del proyecto no influirá significativamente en la TIR, no tiene trascendencia. En segundo lugar, la situación al término de un proyecto sin opción de continuidad tiene el riesgo de que sus precios se puedan ir a la baja al final del periodo y puedan perder trabajadores capacitados, lo que complicaría aún más su operación en su etapa final, algo que no se evaluó, por los márgenes que se muestran en esta etapa del Proyecto. En su debido momento, será el inversionista que deberá evaluar oportunamente ese efecto y tomar los resguardos que estime necesario antes del término de su vida útil. Como contrapartida, y que puede ser favorable, se tiene una inversión importante en agua de mar, ésta puede tomar un valor muy significativo según qué necesidades hallan en ese entonces en el mercado, en la trayectoria de la línea de impulsión. La **Opción de continuidad** con un cierre parcial correspondiente a Mina, manteniendo la continuidad para la Planta de Nitratos por los stocks acumulados es muy probable, y de Yodo, en caso de tener pertenencias cercanas y comercialmente rentables. De haber un proyecto nuevo en otro lugar; en ese caso, no hace sentido evaluar los valores residuales en esta etapa, porque sin duda habrá opciones mucho más beneficiosas que cualquier evaluación que se haga hoy día sin un beneficio agregado.

## Flujo de caja del Proyecto

El flujo de caja entre los años 17 y 25 no varía, son iguales al periodo 16, razón por la cual del 17 al 25 están ocultos.

Flujos de Ingresos, Gastos, Inversiones, Préstamos, Amortizaciones, Depreciaciones, Impuestos, Intereses en Millones de Dólares																									
Periodos en Años	Datos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	26	27	28	29	30	31	31
<b>Ingresos por Ventas asociado a Producciones</b>																									
Producciones Anual de Yodo (miles de Ton) envasado	100		2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2						
Venta a Precio Yodo (US\$/Kg)	26,9		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27						
Producciones anuales de Nitratos (millones de Ton) envasado	5							0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	
Precio Nitrato (US\$/Ton)	785						785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	785	
Venta Yodo millones US\$	2.690		36	90	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	72	18	0	0	0		
Venta Nitratos millones US\$	3.925						0	0	79	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	79
<b>Total, Ingresos</b>	6.615	0	36	90	108	108	108	108	186	265	265	265	265	265	265	265	265	265	229	175	157	157	157	157	79
<b>Costos Unitarios Operacionales y de Gastos Generales</b>																									
Costos Unitario variable produciendo solo Yodo (US\$/Kg)	19,3		19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3
Gasto General Unitario produciendo solo Yodo PU (US\$/Kg)	2,9		2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Costos Unitario variable del Yodo, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub> PU (US\$/Kg)	11,9		11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Gasto General Unitario del Yodo, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub> PU (US\$/Ton)	1,9		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Costos Unitario variable del Nitrato, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub> PU (US\$/Ton)	431,2		431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431
Gasto General Unitario del Nitrato, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub> PU (US\$/Ton)	38,5		38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5

Periodos en Años	Datos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	26	27	28	29	30	31	31	
<b>Costos Totales Operacionales y de Gastos Generales en Millones de Dólares</b>																										
Costos variables produciendo solo Yodo	347		39	77	77	77	77																			
Gasto General produciendo solo Yodo	51		6	11	11	11	11																			
Costos variables del Yodo, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub>	952							48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48								
Gasto General del Yodo, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub>	152							8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8								
Costos variables del Nitrato, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub>	2.113							43	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86			
Gasto General del Nitrato, produciendo I <sub>2</sub> y KNO <sub>3</sub>	189							4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8			
Costo Cierre Mina (en detalle Inversiones)	4,6																				1	1	1	1	1	1
Garantía Cierre de Mina (en detalle Inversiones)	1,4		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
<b>Total, Gastos Operacionales y Generales</b>	<b>3.809</b>	<b>0</b>	<b>44</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>88</b>	<b>102</b>	<b>149</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>1</b>	<b>1</b>										
<b>EBITDA (Ingresos - Gastos Operacionales y Gastos Generales)</b>	<b>2.805</b>	<b>0</b>	<b>-8</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>37</b>	<b>115</b>	<b>135</b>	<b>80</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>156</b>	<b>78</b>									
<b>Depreciaciones, Amortizaciones e Intereses en Millones de Dólares asociado a Producciones</b>																										
Amortización Propiedad minera, exploración e Ingeniería	55		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2								
Depreciación Yodo	98		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10														
Depreciación Nitratos	191							19	19	19	19	19	19	19	19	19										
<b>Intereses</b>	<b>66</b>		<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>								
<b>Total, Depreciaciones, Amortizaciones e Intereses</b>	<b>410</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
Utilidad antes de Impuesto	<b>2.395</b>		<b>-25</b>	<b>-16</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>-34</b>	<b>-2</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>113</b>	<b>135</b>	<b>80</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>62</b>	<b>156</b>	<b>78</b>	
Impuesto 27%	27%		0	0	1	1	1	0	0	21	21	22	24	25	25	25	25	30	36	22	17	17	17	42	21	
<b>Utilidad después de Impuesto</b>	<b>1.727</b>		<b>-25</b>	<b>-16</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-34</b>	<b>-2</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>82</b>	<b>98</b>	<b>58</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>114</b>	<b>57</b>	

Amortizaciones, Depreciaciones, Capital de Trabajo, Inversiones, Prestamos, Pago Prestamos y Caja																									
Amortización Propiedad minera, exploración e ingeniería	55		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2								
Depreciación Yodo	98		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10								
Depreciación Nitratos	191							19	19	19	19	19	19	19	19	19	19								
<b>Capital de Trabajo Yodo (Crédito)</b>	<b>28</b>		13	15																					
<b>Capital de Trabajo Nitrato (Crédito)</b>	<b>83</b>						57	26																	
Inversiones Yodo, Mina, Lixiviación, Infraestructura	244	-244																							
Inversiones Nitratos	100						-100																		
Préstamo Yodo	85	85																							
préstamo Nitrato	35						35																		
Pago préstamo Inversión Yodo	113			-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11								
Pago préstamo Inversión Nitratos	118							-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12	-12								
Saldo Prestamos		85	98	102	91	79	160	163	140	117	93	70	47	35	24	12	-0								
Caja		-159	0	-0	2	3	-5	0	6	64	65	66	64	77	77	77	78	84	98	58	45	45	45	114	57
Caja Acumulada		0	0	0	2	5	-0	0	6	70	136	202	266	343	419	497	575	659	1521	1579	1625	1670	1715	1829	1886
<b>VNA</b>																									<b>382</b>
<b>TIR Flujo Caja con Financiamiento</b>																									<b>16,1%</b>
<b>Tasa de descuento anual para el VAN</b>																									<b>7%</b>
<b>Tasa Interés Bancario</b>																									<b>5%</b>

## Determinación de la TIR y del VAN de la Caja del Proyecto

Análisis de sensibilidad en función de la variación del precio del Yodo y Nitratos para todo el periodo

Inversión inicial en el período “0” de US\$ 244 Millones para el proyecto integral de Yodo y en el periodo “5” la Inversión en la Planta de Nitratos por US\$ 100 millones.

El estudio de rentabilidad esta desarrollado para un precio de 26,9 US\$/Kg de Yodo (I<sub>2</sub>) y 785 US\$/Ton de Nitrato de Potasio (KNO<sub>3</sub>). (media entre valor exportación y precio mercado nacional) y las cantidades de minerales determinadas previamente.

Es importante destacar que aquí la relación Precio/Costo a nivel EBIDTA para el conjunto de las operaciones Yodo y Nitrato es de 1,675.

Como se observa en la tabla siguiente, con el precio del Yodo a 31 o sobre 31 US\$/Kg da una gran tranquilidad financiera a la Industria independientemente del precio del Nitrato.

Precio Yodo US\$/Kg	Precio Nitrato US\$/Ton	TIR	VAN	Capital Trabajo		Intereses	Financiamiento Inversión	Capital Propio
Periodo		%	US\$	Yodo	Nitratos	US\$	US\$	US\$
1 al 26	6 al 31		Millones de Dólares					
31	0	11	74	7	0	30	85	159
31	900	21	652	7	7	40	120	224
20	900	13	272	153	238	115	120	224
27	785	16	382	28	83	62	120	224
20	670	8	22	152	356	124	120	224
23	600	8	46	93	200	96	120	224
31	500	14	215	7	7	40	120	224

En general, los periodos iniciales de inversión son los más complejos en el caso de tener que afrontar bajas de precio o de producciones por estar justamente allí el endeudamiento más importante y los compromisos de pago de la deuda. Estos periodos son del orden de 5 a 10 año.

**Finalmente, la relación de Precio/Costo incluido las amortizaciones, depreciaciones, intereses e impuestos resultó ser de 1.35 para una operación conjunta.**

## 5.-ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE LA INDUSTRIA DEL SALITRE Y YODO EN CHILE

### Breve reseña de las producciones del Salitre desde 1810 a la fecha

El Salitre Natural fue la mayor fuente de ingreso de la economía chilena entre 1910 y 1930, teniendo Chile el monopolio desde 1879 y exporto principalmente a EE. UU., Alemania, Reino Unido y Francia. La producción llegó a casi 3.000.000 ton/año antes y después de la primera guerra mundial para decaer violentamente en años previos a la segunda guerra mundial, luego tuvo una recuperación cercana en promedio a 1.500.000 ton/año, para luego seguir cayendo a casi 500.000 Ton/ año hasta los años 1980 -1983, de allí reinicia un crecimiento sostenido, pero nunca al nivel de producción de 1910 a 1930, ello, producto de la gran depresión mundial de los años 30, los bloqueos comerciales a raíz de las guerras, de los problemas internos en Chile, y el inicio de la producción de Salitre sintético.

### Resumen cronológico

**1800 – 1913** : primer envío de CALICHE antes de 1800 fue a la zona de Concepción para la fabricación de jabón, entre 1810 – 1913 se pasa progresivamente de 368 Ton a 2.738.395 Ton Perú, Bolivia y Chile, en julio 1830 se inician las exportaciones de Salitre a los principales mercados del mundo, en 1853 se inicia la etapa de industrialización con la incorporación de la máquina a vapor por Pedro Gamboni comenzando con la exportación de Nitrato de Sodio, en 1856 Gamboni durante la elaboración del Salitre descubrió la presencia de Yodo en éste, en 1873 Perú intenta controlar el comercio del Salitre, pero fracasó, intenta en 1875 tomar control nacionalizando las empresas Salitreras, no lo logra totalmente. El Salitre del entonces litoral boliviano estuvo siempre en manos de empresas chilenas, un incumplimiento de tratados por Bolivia en materias de impuesto fue uno de los pretextos de la Guerra del Pacífico, lo que termino en manos de Chile luego de la ocupación de Tarapacá en 1879. Desde 1880 Chile comienza a cobrarles impuestos de exportación del Salitre a los poseedores de los certificados peruanos, el estado de Chile comenzó a recibir la tercera parte de la producción del Salitre. Desde 1883 hasta 1890 los británicos lograron tener el 70% de la industria. En 1887 el Estado Chileno era dueño de 71 de los 118 establecimientos Salitreros. En 1889 caen los precios, problemas para enfrentar esta situación por la clase política, la fiebre del Salitre perduró en la Bolsa de Londres hasta 1889. En 1890 se hace presente la primera huelga. Durante los primeros años del siglo XX, chilenos y alemanes aumentaron inversiones, bajando la presencia británica. Guerra Civil de 1891. En 1907 la huelga grande y la matanza de la Escuela Santa María el 21 de diciembre en Iquique.

**1914 - 1929** : se alcanza una producción media de 2.214.279 Ton, en cuatro oportunidades sobrepasaron la producción de 2.900.000 Ton. Primera guerra mundial entre 1914 y 1918 Alemania logra producir el Salitre sintético para poder continuar la guerra y decaen las exportaciones chilenas; pero por la importancia de la pólvora los aliados y en especial los ingleses, para asegurar el abastecimiento de Salitre, estableció un sistema de un comprador único, en consecuencia, la regulación del precio de oferta. Los chilenos reaccionaron de la misma forma, centralizando el sistema de venta, finalmente llegaron a un acuerdo, pero los empresarios buscaron apoyo del gobierno y en 1919 se crea la Asociación de Productores de Salitre de Chile. Para 1920 los costos de producción subieron e hicieron colapsar gran parte de las Salitreras y se vino la gran crisis del Salitre. El movimiento obrero disminuye las movilizaciones. Entre 1925 y 1931 se promulgan las Leyes del Trabajo y el Código del Trabajo. Hasta estos años, el Salitre era el principal ingreso de divisas del país. En 1930 termina el ciclo de expansión Salitrera.

**1930 – 1944 : la producción media llega a 1.234.360 Ton**, la depresión de los años 30, la mayor crisis post guerra, pero también la peor crisis política y económica que pudo haber tenido Chile. Se inicia la segunda guerra mundial 1939 a 1945.

**1945 - 1966 : la producción baja y logra una media de 1.086.904 Ton**

**1967 – 1997 : la producción sigue bajando y logra una media de 735.000 Ton**, En 1968 se crea SOQUIMICH 62.5% privados y 37.5% el Estado y en 1971 se nacionaliza la industria del Salitre y CORFO adquiere el 100% de la propiedad. En 1979 como muchas empresas del estado solo generaban pérdidas y hasta 1983 las producciones no repuntan. Entre 1983 y 1988 se procede a privatizarla, en 1984 comienzan a repuntar lentamente las producciones.

**1998 – 2011 : la producción repunta y logra una media de 1.09.564 Ton**

**2012 – 2018 : la producción baja, llegando a una media de 815.380 Ton**

SOQUIMICH(SQM) cambió su estrategia de mercado en el Salitre y se orientó a desarrollar productos de calidad aprovechando la condición del origen natural del Salitre (Nitrato), eso ha permitido un repunte en esta industria y también de los químicos industriales, que hoy se han transformado en un producto importante para la generación de energía ocupando sales de Nitratos de Sodio y Potasio. El resto de los industriales chilenos, solo optaron por seguir el camino del Nitrato de Potasio, por ser el más vendido y su comercialización es más simple a nivel nacional, al contrario de SQM, quien le ha dado valor agregado al producto y ha invertido mucho en investigación lo que le ha traído dividendos en materias de resultados económicos.

Nota: En el Archivo Nacional hay 1.300.000 documentos producidos entre 1861 y 1977 como parte de la actividad Salitrera de Chile.

### **Breve reseña de las producciones de Yodo desde 1868 a la fecha**

El Yodo, descubierto en 1812 y sus resultados publicados en 1813 en Francia, se transformó en el compañero de ruta del Salitre desde 1861, desde entonces, no ha parado de crecer, solo situaciones puntuales como en 1929 se duplico la producción a 1387 Ton con respecto al año anterior, en 1936 de 463 Ton el año anterior pasó a 1279 Ton, entre el 1937 y el 1939 la producción baja a 824 Ton, y en los años 1940/41/42/43 y 1944 sube aproximadamente en promedio a 1200 Ton, estos últimos coinciden con el periodo de la segunda guerra mundial.

A diferencia con el Nitrato, a la fecha, no se ha encontrado un sustituto para el Yodo, salvo el hecho del reciclaje que por el momento no ha afectado a la industria chilena, pero sí afecta a la incorporación de nuevos actores en el corto y mediano plazo. Sus propiedades son tan especiales que su utilización se ha masificado a todas las áreas de la industria, del alimento y de la salud. Sin desconocer que los Nitratos y derivados de estos también tienen múltiples aplicaciones, pero está la alternativa del sintético.

Si bien hay bastante información del Yodo en el mercado en cuanto a producciones y utilización de este, sin embargo, no hay información en cuanto a inversiones y costos operacionales detallados, a lo más, son números aislados con los cuales no es posible construir un estudio de estas características. En cuanto al Salitre, hay mucha historia de éste e información interesante respecto a la estructura de costo de los años 1900 y los métodos utilizados, como también de Yodo.

## **Influencia en los precios y las producciones**

Es importante destacar que esta industria como cualquier otra, sus proyecciones en cuanto a producciones y precios va a estar favorecida o afectada por tantos factores como los que podemos enumerar a grandes rasgos como: situaciones laborales como los sindicatos en materias de exigencias de mejores remuneraciones, condiciones laborales, de mejor infraestructura en caso campamento, en materias alimenticias, acceso a internet, lugares de descanso apropiado, jornadas de trabajo, tiempos de descanso, más beneficios en salud, etc.; en materias de políticas de estado, materias como impuestos de primera categoría, impuestos a la minería, tasa de interés, tasas cambiarias, estabilidad política, normativas medioambientales, de arqueología, cierres de mina; judiciales como litigios laborales, con terceros o con el estado; desastres de la naturaleza como terremotos, tsunamis, inundaciones; prevención de riesgo en temas relacionados con exigencias importantes para evitar accidentes; la escasez de agua; las variaciones de precio de las materias primas o de la energía; todos ellos y otros, son factores que hacen que los costos y producciones varíen en una u otra dirección comprometiendo los estados financieros y algo muy importante "la Caja" y por ende, según las fortalezas financieras de la empresa podría darle estabilidad o inestabilidad de la industria, además de las condiciones de mercado donde la oferta y la demanda bien entendida y sanamente aplicada son causas naturales de los desequilibrios a los cuales hay que estar adaptándose permanentemente y tener "RESILENCIA" para ajustarse a los cambios de modo que la industria no quiebre.

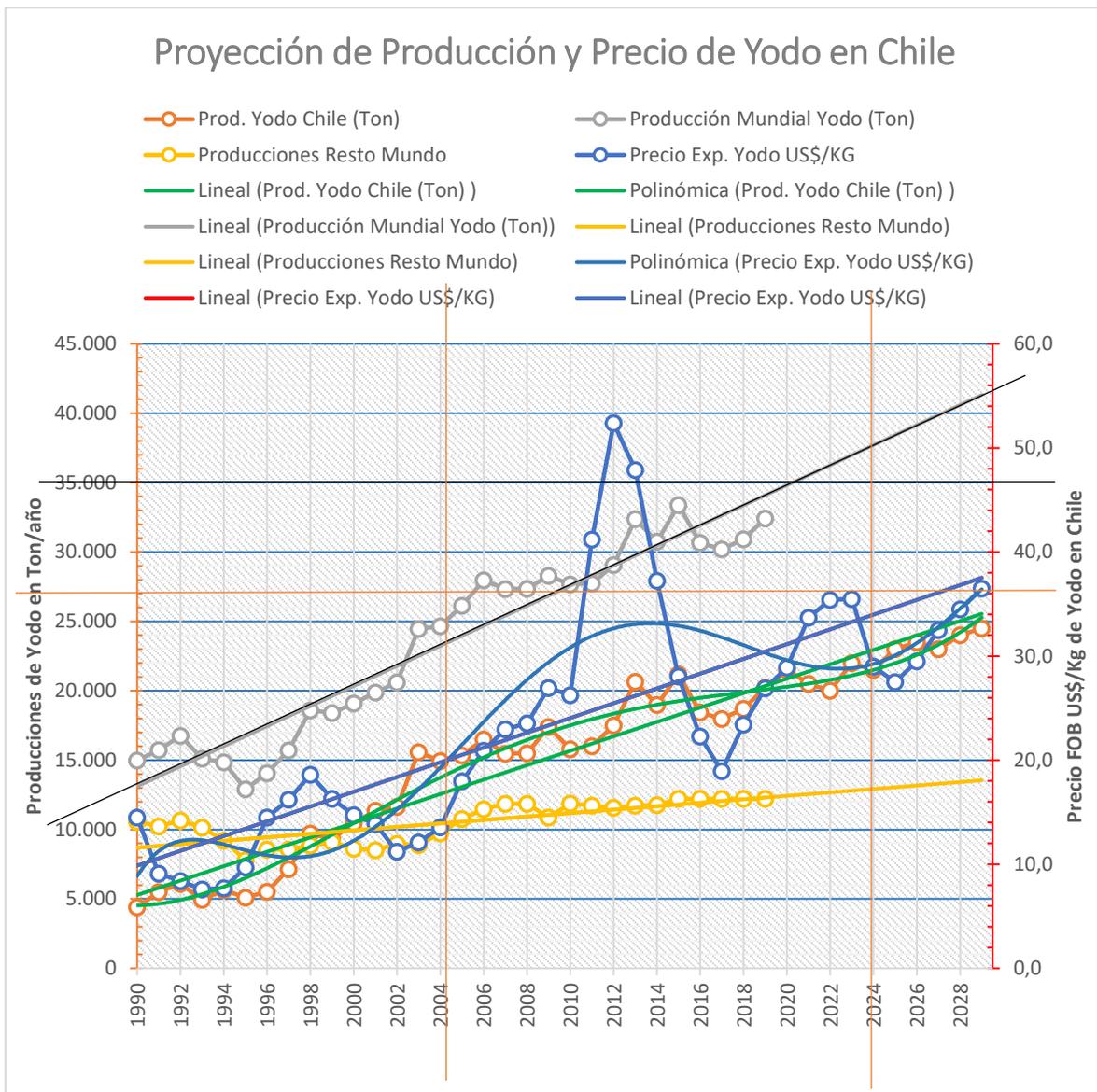
Este año 2020 se está viviendo una situación nunca vista por ninguno de los ciudadanos del mundo y más compleja de lo que fueron las grandes pestes y pandemias del pasado por las características de las economías actuales y la sensibilidad social, incluso las dos guerras mundiales y otras más contemporáneas y las guerras comerciales de hoy en día. Esta pandemia tiene de alguna manera al mundo semiparalizado, sus economías seriamente amenazadas, sin embargo, la minería chilena ha continuado sus esfuerzos para seguir produciendo con las máximas medidas de seguridad, permitiendo que ingresen recursos al Estado y a las Empresas con el objeto de no agudizar más el problema de carácter económico y social.

Los precios del Yodo en los primeros meses del año han seguido al alza, logrando un precio promedio ponderado de US\$/Kg 31.4, esto es un 16.76% más alto que el precio con el cual se evaluó el proyecto. En mayo 2020, el precio medio ponderado del Yodo fue de US\$/Kg 32.73, todos valores FOB.

### **5.1.-Desde el punto de vista de la demanda, oferta y precio del Yodo**

#### **Demanda, Oferta y Precio Futuro**

De los antecedentes históricos tenidos a la vista, la demanda, la oferta y los precios, de quienes la producen y quienes lo demandan, se ha visto una estabilidad en la tendencia, un crecimiento sostenido en las producciones que ha permitido a la industria planificarse adecuadamente, aumentando la capacidad de producción en función de los resultados que se ha ido dando históricamente, en consecuencia, la demanda ha sido cubierta en todo momento y lo será a futuro conforme a la capacidad instalada existente, más aun, teniendo en cuenta la industria del reciclaje que también ha ido creciendo, sin duda, por las cantidades que se reciclan, ha sido un impedimento para el ingreso de nuevos actores en la Industria del Yodo en Chile, pero no ha comprometido y difícilmente comprometerá la estabilidad de ésta.



Gráfica desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, SERNAGEOMIN, Global Industry Markets an Outlook 2013, memorias de SQM, Historia del Salitre contada por el Yodo de Patricio Días 1811-2004, apuntes Curso Tecnología del Salitre y Yodo IN623 2006 de Alejandro Puelles Universidad Arturo Prat.

Para efecto de las proyecciones para los próximos 10 años, se ha omitido el periodo 2011 – 2014 por ser un periodo afectado por una externalidad muy específica y que sin duda se puede repetir en otras zonas, pero seguirá siendo un incidente puntual con el cual no se puede contar para un análisis de estabilidad en el tiempo, por tanto, se ha simulado un comportamiento de la producción y de los precios similares a los habidos antes del 2011 para replicarlo después del 2019 para los próximos 10 años. Se observa que las producciones varían +/- 12% en torno a la media, los precios varían +/- 14%, porcentajes aproximados, ambas medias están influenciada por el periodo 2011-2014. La media de ambos, producciones y precios, se podría decir que se proyectan casi paralelas, lo que es un muy buen síntoma y refleja su estabilidad en el tiempo. También se aprecia muy bien la sinusoide de las producciones que va muy aplanada, lo que es bueno. La sinusoide del precio está afectada fuertemente por el periodo 2011 -2014. Es importante notar que el crecimiento tanto de la producción como el incremento de los precios se están dando por debajo de la línea media, ello, porque el precio está fuertemente influenciado por el periodo 2011 -2014, no así la

producción, porque la producción fuera de los saltos que ha tenido a raíz de la demanda, siempre ha oscilado en torno a una media que no ha sido violentada como lo ha sido la del precio.

Estas proyecciones se han hecho considerando una economía normal, sin catástrofes naturales como terremotos que puedan alterar las producciones como ocurrió el 2011 en Japón, lo que se refleja en la gráfica.

### **Variaciones en la Oferta: (válido para el Yodo y el Nitrato)**

Un aumento de la Oferta puede afectar al precio a la baja, así como una disminución de la oferta pueden llevar el precio al alza. Para el productor por lo general es más conveniente que la oferta siempre esté por debajo de la demanda, sin descuidar ésta, de lo contrario puede entrar otro actor y eso sin duda los afectaría.

### **Disminución de Precio (válido para el Yodo y el Nitrato)**

Una disminución del precio genera una baja en los márgenes comerciales, pudiendo en algunos casos llegar al punto de quiebre o pasar por debajo de éste. Va a depender de la salud financiera de cada empresa y ésta sabrá hasta donde arriesgar y si es necesario mantenerse en el punto de quiebre e incluso asumir pérdidas si fuese necesario con la convicción y la lectura del corto plazo que le permitirá revertir la situación financiera y mantenerse en el mercado.

Aquí no se debe perder de vista que el proyecto está compuesto por dos partes, Yodo y Nitratos, en consecuencia, debe incorporarse el Nitrato a la discusión y cuánto puede aportar éste para ayudar a sostener al Yodo, de lo contrario, si también cae el Nitrato, aumenta la probabilidad que en algún momento pudiese caer algunas de las Industrias, por disponibilidad de caja. Hoy día ambos productos tienen un precio tal que les permite capitalizar y tomar resguardos para afrontar crisis importantes.

Este análisis es válido también para el Nitrato.

### **Baja de la demanda del Yodo:**

Una baja en la demanda del Yodo se vería comprometida por los altos costos de mina, ello implicaría tomar acciones en esas áreas.

La baja se ajusta rápidamente, la dificultad está en recuperar la producción más adelante, esta es más lenta, salvo que siga la carga de mineral, pero esta representa del orden del 50% del costo de producción, lo que es improbable hacer algo así.

Los efectos negativos dependerán de la magnitud de esta baja, su permanencia en el tiempo y la oportunidad en que sorprenda a la Industria en general, es decir su grado de endeudamiento en ese momento que pueda tener cualquiera de ella. Al estar financieramente sana, normalmente hay márgenes y rangos donde moverse sin afectar la estabilidad del negocio, eso se visualiza en el análisis de rentabilidad y financiero del negocio en el capítulo 4.

## **Aumento de la demanda del Yodo:**

En este caso hay capacidad instalada en la industria para absorberla, cada empresario tendrá más o menos ventaja respecto del otro, sin duda los precios tienden al alza, lo que es positivo, eso impacta en forma marginal al Nitrato, éste tendrá más inventario a un costo marginal.

Las proyecciones realizadas han tomado en consideración los siguientes aspectos:

- a) Chile es el mayor productor del mundo, con aproximadamente el 60% de la producción mundial, incluido los volúmenes de reciclaje del Yodo, a Japón se le atribuye el 75 % del reciclaje en el mundo.

En Chile hay 3 compañías que producen el 92% de la producción nacional que representa el 55% de la producción mundial.

- b) Los precios los negocia independientemente cada empresa directamente con sus potenciales compradores.
- c) Sin duda, la importancia del Yodo es evidente, el Yodo todavía sigue y seguirá siendo un producto extremadamente relevante para la humanidad, como se expuso en capítulos anteriores. Por otra parte, estudios que se realizan periódicamente están encontrando cada vez más aplicaciones para éste.
- d) El Yodo a más de 200 años de haberse descubierto (1792) aún no tiene un sustituto que ponga en riesgo esta industria, su uso cada vez se extiende más a diferentes necesidades de la industria de todo tipo, medicina, nutrición, laboratorios, neumáticos, fotografía, etc. Sin embargo, en áreas como desinfectantes y antisépticos hay alternativas y a más bajo costo de aquellos derivados del Yodo. No se visualizan riesgos de algún sustituto, y de haberlo, la conversión sería muy gradual por todas las aplicaciones en las cuales hoy día está comprometido y sin duda, la alternativa no resolverá todos los temas en los cuales hoy está involucrado. El Yodo ha reemplazado en el mundo a sus competidores porque se ha demostrado que no deteriora la capa de ozono.
- e) Considerando lo expuesto en los 4 puntos anteriores, su uso masificado e imprescindible en las diversas aplicaciones señaladas anteriormente, las pocas empresas que participan y la supremacía de éstas en el mundo, sin duda, independiente de la oferta y la demanda, estas tienen una importante decisión en los precios y su participación es vía la oferta, esto es, usando las herramientas del libre mercado, pueden bajar o subir sus producciones conforme a sus necesidades sin entrar en la colusión u otros mecanismos que se riñen con la libre competencia y la seriedad en los negocios.
- f) La capacidad real instalada que existe actualmente (año 2020) para la producción de Yodo es de máximo 28.100 toneladas anuales, aplicando un factor seguridad de cumplimiento de 0.9 esta se reduce a 25.290 ton anuales, una producción capaz de mantenerse por los próximos 10 años con las tendencias actuales. Aquí, las industrias existentes tienen tiempo suficiente para planificar la opción de ampliar su capacidad, esto les permite seguir teniendo un control sobre la oferta y la demanda en cantidad y en precio, de lo contrario, se abre la posibilidad que otros inversionistas ingresen al mercado. Al entrar otro actor, sin duda

tendría un efecto a la baja de los precios si se produce una sobreoferta. Pero dependerá de cuanto más Yodo se produzca marginalmente.

- g) Hay bastante pertenencias en manos de terceros no ligadas a los actuales productores, incluso en poder de otros grupos económicos y personas naturales, por tanto, no habría restricción en este aspecto, lo importante que estas tengan una viabilidad comercial que permita afrontar las condiciones de mercado que aquí se han expuesto.
- h) El agua puede ser una barrera frente a la opción de ampliar capacidad de producción para algunas de las industrias, en caso de no contar con autorización para mayor consumo de ésta, principalmente si se trata de agua dulce en la zona, a diferencia de quienes extraen agua de mar, su aumento de capacidad, fuera de tener costos importantes y plazos de ejecución en algunos casos más largos que la propia ampliación de planta, sin duda su factibilidad y el Know how les favorece.
- i) La materia prima o reactivos que se usan para la extracción del Yodo en las plantas son el azufre, el ácido sulfúrico, hidróxido de Sodio (soda), eventualmente metabisulfito, siendo necesario importarlos. Estas representan del orden del 17% del costo de producción. Chile tiene ácido sulfúrico, incluso se exporta, pero es importante la calidad, de ello dependerá su origen. También debemos considerar el suministro de energía o el combustible en caso de generarla, así como la importancia de la mano de obra calificada, esta última, son pocas las que tienen conocimiento para operar específicamente estas plantas por ser muy pocas las industrias en este rubro.
- j) Se ve en general un comportamiento del precio muy acorde con la oferta y la demanda, aumenta la demanda, aumentan los precios, eso se visualiza muy bien, con los desfases que suelen ocurrir normalmente. Incluso su oscilación respecto de la media se ve equilibrada.

En las Tablas siguiente se resumen los distintos periodos desde 1990. Estos han tenido un comportamiento estable, se muestra como ha variado la producción en cada uno de estos, pudiendo observarse los saltos de producción entre los distintos periodos, sus producciones medias del periodo y el crecimiento anual de cada uno de ellos. Esto último es importante y marca una tendencia muy pareja, un crecimiento del orden de 500 a 600 Ton/año, la media de los periodos, sin embargo, si lo tomamos como un solo periodo, esta tendencia muestra 559 Ton/ año. Los saltos, están normalmente relacionados con aumento de capacidad de la industria o la incorporación de nuevos actores.

La producción chilena para los siguientes 10 año se ha proyectado con un crecimiento de 500 ton/año, es decir 5.000 Ton en ese periodo. Actualmente la producción es del orden de 21.000 Toneladas anuales.

Tabla de producción y tendencias por periodos desde 1990 al 2019

Periodos		Número de Años	Producción Inicial [Ton]	Producción Final [Ton]	Promedio del Periodo [Ton]	Diferencia de los Promedios [Ton]	Crecimiento anual de los periodos [Ton]
1990	1997	8	4400	7154	5546		469
1998	2002	5	9722	11643	10502	4956	
2003	2012	10	15580	17494	16002	5500	550
2013	2019	7	20656	20216	19452	3450	493

Tabla de producción y tendencia de los años 1990 a 2019 y para el periodo extendido hasta el año 2029

Periodos		Número de Años	Producción Inicial [Ton]	Producción Final [Ton]	Promedio del Periodo [Ton]	Crecimiento en el Periodo [Ton]	Crecimiento anual de los periodos [Ton]
1990	2019	30	4400	21.179	13102	16.779	559
1990	2029	40	4400	24.500	15414	20.100	503

De esta tabla se deduce que las proyecciones hechas para los próximos 10 años, bajando la tendencia de 559 de 1990 a 2019 a 500 para el periodo 2020 – 2030. Una visión conservadora.

## 5.2.-Desde el punto de vista de la demanda, oferta y precio de los Nitratos de Sodio y Potasio.

### Demanda, Oferta y Precio Futuro

De los antecedentes históricos tenidos a la vista, SQM es el mayor exportador y “casi” único en Chile con el 50% de Nitrato de Potasio y del 30 al 35 % del Nitrato de Sodio.

Se ha mostrado en capítulos anteriores las bondades de estos productos naturales, sus usos, la importancia de ellos y la existencia de sustitutos sintéticos y las diferencias con los naturales. También se ha hablado de la demanda de abonos y fertilizantes a nivel mundial, en que toda la producción de Chile no alcanzaría a cubrir el 1% del requerimiento mundial.

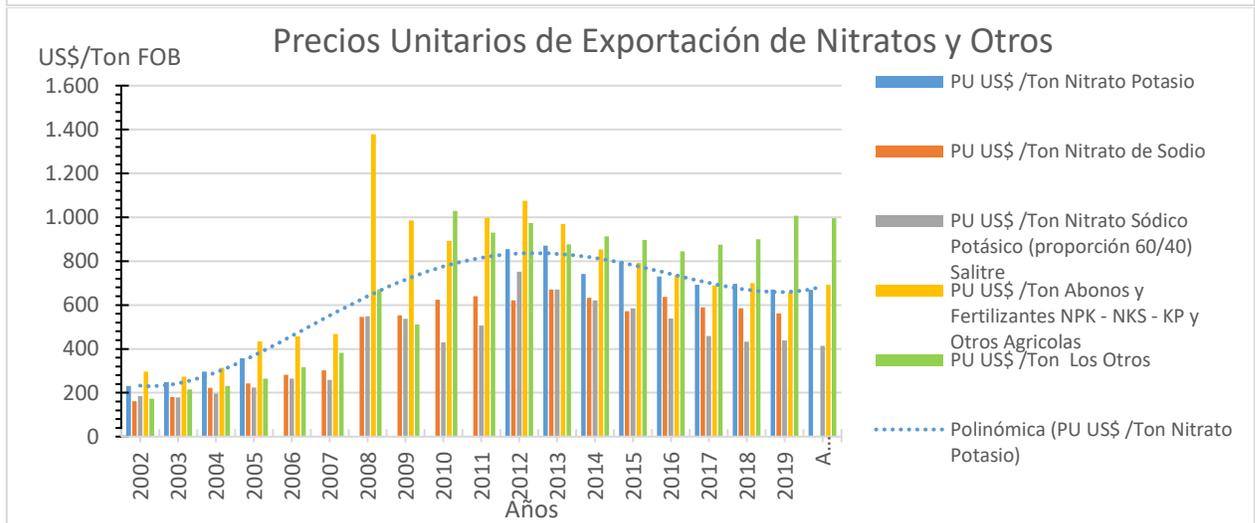
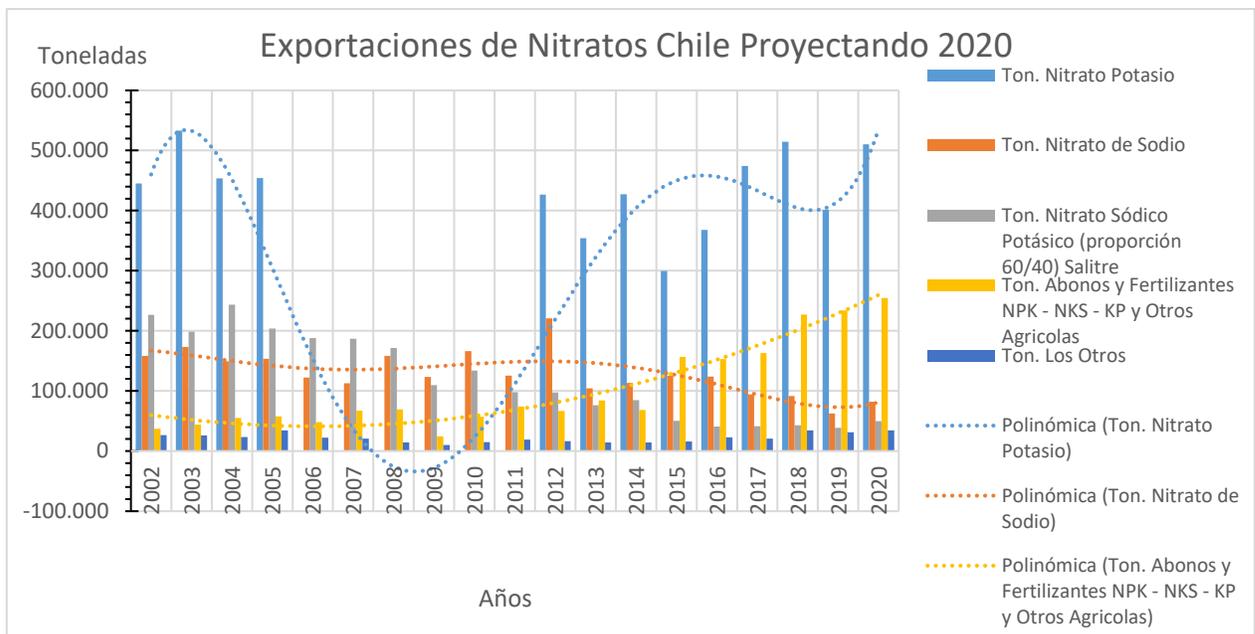
Chile tiene las mayores extensiones de Caliche en el mundo y son las únicas cuya extracción es comercialmente rentable, existe Nitrato para aproximadamente 380 años para una producción equivalente a la capacidad instalada hoy día de 1.750.000 Ton/año para Nitrato y 300 años para el Yodo a razón de 28.100 Ton/año, sin duda, importante tener estas reservas, sobre todo que hoy día son fundamentales para la humanidad y son productos naturales.

En general podemos establecer a grandes rasgos la cantidad de Nitrato de Sodio que contiene el Caliche en toda su extensión en el norte de Chile, la capacidad instalada para su extracción y a que países se exporta.

Las producciones del año 2018 fueron de 949.434 Ton versus las exportaciones que fueron 692.565 Ton., la diferencia de 256.869 Ton corresponde a las producciones del resto de la Industria Chilena y que la comercializa dentro del país. El precio de Nitrato de Potasio el año 2019 bordeaba los US\$/Ton. 900 y el de exportación US\$/Ton. 670, por ello para el estudio económico se tomó una media de US\$/Ton. 785 como precio más conservador.

El año 2019 las producciones de Nitratos fueron del orden de 1.000.000 Toneladas, con tendencia al aumento como lo muestra la gráfica y según la memoria de SQM y por otra parte ACF en su planta en Algorta Norte. Esto puede significar que la suma de todas ellas llegue el 2020 a 1.200.000 Ton, coincidente con la tendencia que marcaría el año 2017 y 2018, pero ello este sujeto a las condiciones actuales del mundo, hasta el momento muestra una tendencia positiva hasta la mitad del año 2020, proyectando que la segunda mitad del año sea igual o mejor.

SQM	1.000.000 Ton/año
ACF/Algorta	150.000 Ton/año
Cosayach	50.000 Ton/año



Gráfica desarrollada por el autor, basada en información del Banco Central, Aduana, COCHILCO SERNAGEOMIN,

## Cambios en la oferta, la demanda y el Precio

### Aumento de la demanda:

El año 2019 se produjeron del orden de 1.000.000 Toneladas, el 2020 se espera aumentarla a 1.200.000 Ton o más. La capacidad instalada es de aproximadamente 1.750.000 Ton, reducida a un 90% por seguridad de cumplimiento, esta quedaría del orden de 1.575.000 Ton, es decir con un margen del orden del 30%, es un margen importante, pero un 15% más bajo del margen que tiene el Yodo, tiene menos tiempo la industria para aumentar capacidad y estas plantas son más complejas que las del Yodo.

Al comienzo, no habría inconveniente en cubrirla, no produciría efectos en el Yodo considerando la relación Yodo/Nitrato que aproximadamente como gran promedio es del orden de 5-10 Kg de

Yodo o algo más por 1 ton de Nitrato, es decir hay importantes almacenamientos de sales de Nitratos aun no procesadas. Esto afecta de forma diferente a una u otra industria de la competencia, cada una tienes sus propias características, tanto del yacimiento, de plantas, de estructura humana, etc.

Estos inventarios sumados al margen de capacidad instalada permitirían dar una respuesta rápida a un aumento de la demanda.

Es altamente probable un aumento de precio, sin embargo, debe manejarse responsablemente porque el mercado tiene alternativas, aunque de menor calidad y también con una capacidad limitada, pero está la opción de tomarla según las condiciones del momento.

Antes de tomar una opción de aumento de capacidad o una nueva planta, hay que tener muy claro la demanda, es decir, si esta fuese fluctuante y no se sostiene en el tiempo, habría que postergar la inversión por el alto costo y riesgo que tiene.

### **Disminución de la demanda:**

Tampoco afecta al Yodo directamente, las producciones de éste siguen adelante, generando un aumento de stock de sales de Nitrato que deberán ser puestas en pila en la medida que las piscinas de evaporación solar lo vayan exigiendo.

Altamente probable que el precio baje, bajando su margen comercial.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **Conclusiones:**

En primer lugar, el trabajo de título desarrollado ha cumplido a cabalidad con el objetivo que se propuso, entregando valor agregado en detalle de todo el proceso, el mercado, los montos en inversiones, costos operacionales y su evaluación económica, todo ello de gran utilidad para quien quiera incorporarse a esta actividad minera nutrido de una información completa y consistente.

Como se ha expuesto, los yacimientos de Caliche que contiene estos minerales no metálicos se encuentran en el norte de Chile, en las zonas desérticas con casi nula pluviometría, estos cuentan con reservas para más de 300 años a los niveles de producción actuales.

El mercado es estable para ambos productos, Yodo y Nitrato de Potasio, incluso para el Nitrato de Sodio, pero mucho más para el Yodo que para los Nitratos en términos de proyecciones de precios y volúmenes.

Esta industria por la misma razón señalada anteriormente y como fue expuesto en el desarrollo del trabajo, se mantiene estable y con riesgos controlados en la medida que esta contemple la explotación y comercialización conjunta tanto de Yodo como de Nitratos.

Eventualmente, si las leyes de cualquiera de ellos fuesen lo suficientemente altas podría permitir auto sustentarse con cualquiera de ellos que cumplan esta condición.

A la fecha la capacidad instalada para la producción de Yodo y Nitratos permite cubrir las proyecciones de la demanda de los próximos 10 años y pudiese ser más, ello dependerá del volumen de reciclaje que pueda incorporarse al mercado y la calidad de éste.

El mercado no tiene restricciones para el ingreso de nuevas industrias, solo que su ingreso podrá significar sin duda una baja de los precios, con el riesgo de quienes están en el mercado bajen aún más sus precios para impedir su acceso ya sea antes, durante o después, con altos costos para quien ingrese, dependiendo en qué momento se genera esta acción comercial en caso de producirse.

No puede perderse de vista la importancia de la exploración del yacimiento, si esta es deficiente, no hay posibilidad que se pueda garantizar la estabilidad del proyecto.

Respecto del impacto o externalidades negativas en la producción de Yodo y Nitratos se puede decir que algo propio de ésta es el impacto visual del territorio explotado, ello, dada las grandes extensiones que compromete, hay impactos en el consumo de agua dulce, impacto dada la escasez de ésta, pero esta industria ya está utilizando agua de mar para su proceso más importante que es la lixiviación que representa más del 90% del consumo de ésta. El nivel de contaminación ambiental hacia la atmosfera es casi nulo y se extiende no más de 10 km según la dirección y velocidad del viento, en general lejos de áreas poblada y corresponde al polvo generado durante la remoción y extracción del Caliche. Antes de su explotación hay que verificar la existencia o no de sílice, de haberla, se deben tomar las consideraciones establecidas en la normativa existente. Respecto a contaminantes químicos, esto pudiera principalmente deberse al ácido sulfúrico presente en el agua feble, la infiltración se evita considerando la utilización láminas de HDPE para

los distintos procesos recolectores y de almacenamiento de las soluciones de Brine o del resto de las sales, este riesgo se reduce aún más en caso de no haber aguas subterráneas en el lugar o estar éstas a profundidades inaccesibles. Los impactos en materias arqueológicas hoy en día están regulados y son parte de las medidas a considerar para efectos de obtener la autorización de la explotación de todo yacimiento minero en Chile.

### **Recomendaciones:**

Más que recomendaciones, que correspondería más bien entregarlas por un equipo mucho más capacitado que el autor de este trabajo, es preferible referirse a riesgos y consideraciones a tener presente para contribuir al éxito del negocio.

### **Riesgos inherentes al negocio:**

Si bien mucho de los puntos que a continuación se mencionan, son riesgos comunes a la industria en general, sin embargo, se ha considerado necesario considerarlos todos ellos por tratarse de un todo y no solo de algunos en particular.

### **Riesgos:**

Mercado	<p>La volatilidad de los precios de los Nitratos y del Yodo como se ha podido observar en los análisis del mercado expuesto y las razones de ello.</p> <p>Los niveles de inventarios que puedan aumentar por razones operacionales y económicas.</p> <p>Ingreso de nuevos competidores al mercado pueden llevar a la baja los precios</p> <p>Las fluctuaciones de precio de las materias primas.</p> <p>Mayores exigencias en cuanto a los estándares de calidad de los productos.</p>
Naturaleza	<p>Las variaciones que puedan surgir en la explotación de los recursos naturales que puedan traer mayores impurezas o disminuyan las leyes.</p> <p>Catástrofes naturales de carácter sísmico y sunamis, también las tiene Japón y algunas zonas de EE. UU.</p> <p>Lluvias considerablemente mucho mayores a las registradas históricamente y en las zonas de los yacimientos propiamente tal.</p> <p>Riesgos en el suministro de agua desde las fuentes naturales por agotamiento de estas o restricciones impuestas por el Estado.</p>
Cambio de tecnologías	<p>Pueden afectar el uso del Yodo y/o Nitratos en algunos rubros.</p>
Laborales y Legales	<p>Los incumplimientos de cualquier tipo traen consigo juicios que tienen costos.</p> <p>Perdida de personal especialistas claves.</p> <p>Riesgos de huelga y mayores exigencias salariales.</p> <p>Accidentes laborales</p>

Financiero	<p>Las variaciones de las tasas de interés. (dependen de los impactos de la economía mundial) pero han sido bastante estables.</p> <p>Variaciones en la Tasa de cambio \$/US\$</p> <p>Materias relacionadas con Acciones y ADSs (ADS acciones subyacentes al ADR, que como mínimo correspondes a 3 acciones de la misma sociedad que permite el Nyse (Wall, Street)). ADR American Depositary Receipt permite a una empresa emitir acciones directamente en la bolsa estadounidense.</p> <p>Crisis económicas como la actual Pandemia del Covid 19 a nivel mundial, de la cual no tenemos claridad como afectara a este rubro en particular al término del año 2020, hasta el momento el Yodo ha mantenido su tendencia al alza, siendo el precio promedio a mayo del 2020 de US\$/Kg de 31.4, un 16.7% más alto que el promedio del año 2019 que fue de US\$/Kg 26.9, todos valores FOB.El precio a nivel Nacional fue de US\$/Kg 900 y el de exportación de US\$/Kg 670, los análisis, se han hecho con un precio medio de US\$/Kg 785.</p>
Políticos	<p>Cambio de políticas en materia de concesiones</p> <p>Variaciones en el comportamiento Político en los distintos periodos presidenciales.</p> <p>Cambio condiciones tributarias. (ley del Royalty, leyes y normas por derechos de agua, cambios en materias de concesiones mineras o portuarias). (Se discuten en el Parlamento y el propósito que estas sean estables en el tiempo)</p> <p>La ratificación de la Convención 169 Internacional del Trabajo acerca de pueblos indígenas y tribales.</p> <p>El Riesgo País (o riesgo soberano) sobre tasa que paga el país para financiarse en el mercado internacional. (el riesgo de no pagar sus compromisos comerciales internacionales en plazos o simplemente que no lo pague). Es la diferencia de la tasa que paga el gobierno de Chile y la que paga el Tesoro de los EEUU</p>

**Consideraciones para tener presente con el objeto de que la industria se mantenga estable en el largo plazo:**

Estudio Ingeniería

Hacer un muy buen trabajo y estudio de exploración de la mina.

Desarrollar una buena Ingeniería, lo más automatizada posible con monitoreo a distancia.

Buen análisis de los tipos de energía disponible en el mercado y los costos asociados a cada uno de ellos y su estabilidad en el tiempo. Esto es, considerar conectarse a redes del sistema interconectado o la autogeneración mediante grupos generadores, eólica o paneles solares o mixtas.

Una correcta selección de equipos para las distintas áreas y unidades operativas, tanto en su materialidad como en su eficiencia.

Comercial

Mantener e incorporar más compradores para colocar la producción proyectada.

Alianzas estratégicas con los proveedores de materias primas y materiales de alto consumo.

Alianza con los proveedores de combustible y lubricantes.

Alianza con proveedores de equipos, repuestos y overhaul

Cumplimiento con los compromisos de pago de proveedores y contratistas.

Operacionales	<p>Planificar la explotación conforme a los estudios realizados y mantener el seguimiento estricta a de esta.</p> <p>Control permanente sobre las operaciones revisando periódicamente sus KPI de todos y cada uno de los procesos operacionales.</p> <p>Seleccionar técnicamente los diversos equipos a utilizar en las distintas áreas y unidades operativas.</p> <p>Hacer las mantenciones conforme a las sugerencias de fabricantes o del personal con experiencia.</p> <p>Mantenimiento de los stocks críticos.</p>
Laborales	<p>Conocer a cabalidad las normas laborales y sus actualizaciones, hoy en día de acoso sexual, acoso laboral y las relacionadas con la silicosis son aspectos importantes que controlar.</p> <p>Mantener una estrecha y buena relación laboral con los trabajadores.</p> <p>Cumplimiento con los compromisos asumidos con los trabajadores.</p> <p>De ser factible, construir un campamento confortable sin diferenciación entre los trabajadores que son parte de la minera y los contratistas y velar por el bienestar de todos ellos.</p> <p>Incentivar la productividad, las buenas prácticas, la seguridad y el cuidado de los bienes de la Empresa y también el aporte de ideas que conduzcan a mejoras técnicas, económicas y de carácter social.</p> <p>Mantener a los trabajadores con capacitación técnica, en calidad, en prevención de riesgo, en medio ambiente y otras.</p>
Contractual	<p>Cumplimiento de los compromisos asumidos en la EIA y RCA, en general relacionadas con el medio ambiente, arqueología y la comunidad.</p>

## 7.-BIBLIOGRAFÍA

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Publicaciones sobre SQM S.A
- Synthesis Aventura del Pensamiento “El exceso de Nitratos: un problema actual en la Agricultura” Enero marzo 2011
- Estimación recursos y reservas proyecto de Yodo: Abelco Andrés Beluzan P.C. Geoestadística # 2015
- Comisión Chilena del Cobre Dirección de Estudios y Políticas Públicas Exportaciones Chilenas de Productos Mineros no Metálicos años 2005 – 2016 datos del Servicio Nacional de Aduanas
- Producción Nacional de Rocas y Minerales Industriales Periodo 2015-2016 SERNAGEOMIN Capitulo II Producción Minera
- Depósitos de Salitre en Chile agosto 2014 Aníbal Gajardo Cubillos, Geólogo; SERNAGEOMIN Fuente Anuario Minería Producción Nitratos 2006-2013
- Yodo y Nitratos de Sodio – Recopilación de información y antecedentes Ingeniería de Minas INACAP Carrera Ingeniería de Minas - Evaluación económica de proyectos mineros metalúrgicos – Docente: Bernardo Tapia Ugalde
- Tecnología del Salitre y Yodo – Capitulo 4 Parte I Extracción y Lixiviación del Caliche – Profesor: Ximena Veloso V Universidad Arturo Prat Iquique
- Explotación y Obtención del Salitre y Yodo en Chile – Integrantes: Camilo Bastias Aguirre -Erick Trincado Cabeza
- Minería del Caliche – Víctor Mohana Cifuentes abril 2011
- Apuntes Curso Tecnologías del Salitre y Yodo IN 623 - Universidad Arturo Prat – Departamento de Ingeniería – Alejandro Puelles Ocaranza Ingeniero Civil en Minas 2006
- Dra. Ingrid Garcés Millas: La industria del Yodo en Chile – Procesos, Producción, Mercado y Usos Salitre – Nitrato de Potasio
- La industria del Salitre contada por el Yodo 1811-2004 Patricio Díaz V
- Adquisición y tenencia de Propiedades Mineras – Javier Jara Cáceres Abogado Jefe Departamento de Propiedades Mineras de SERNAGEOMIN
- Sistema de concesiones en Chile: el acceso a la propiedad minera junio 2014 Minería Chilena
- Recursos Naturales e Infraestructura – La agenda minera en Chile: revisión y perspectiva Juan Carlos Guajardo B. febrero 2007 CEPAL Naciones Unidas
- CESCO Centro de Estudios del Cobre y la Minería Informe final: Restricciones que impiden el aumento de la Exploración Minera en Chile diciembre 2016 – Marcelo Olivares, José Joaquín Jara Arturo Prieto, Nicolas Fuster y Fernando Acosta.