

NITRATO DE POTASIO (NITRO, SALITRE)

1 INTRODUCCION

Los únicos yacimientos naturales de nitratos conocidos mundialmente son los chilenos. Estos depósitos conocidos como “depósitos de nitratos y sales asociadas” se presentan en la región norte del país, a lo largo de 700 Km desde Zapiga (19° 36' sur 70°14' oeste) por el norte, hasta Taltal (25° 24' sur-70°29' oeste) por el sur, ver Figura N°2, apartado Salitre.

La explotación de esta mena llamada comúnmente “caliche”, produce nitrato sódico y potásico, además de otros subproductos, los cuales son utilizados como fertilizantes, nitrato de potasio (13-0-44), salitre sódico (nitrato de 1600-0) y salitre potásico (nitrato sódico potásico 15-0-14), yodo y otros productos.

Chile posee enormes reservas de nitratos, que según Ericksen (1983), se estiman en 250 millones de toneladas de salitre. Los campos de nitratos, corresponden a un complejo de sales entre los cuales se encuentran sulfatos, cloruros, cloratos, nitratos, carbonatos de sodio, potasio, magnesio, yodatos, percloratos, etc., esta diversidad y complejidad de sus componentes se refleja en la Tabla N°4, apartado Salitre, cuyo contenido en potasio varía entre 1 a 3% .

La explotación del caliche en Chile es realizada por la Sociedad Química y Minera S. A, SQM, quien además de otros subproductos, produce cloruro de potasio el que es integrado al proceso de obtención del nitrato de sodio para producir KNO_3 . El plan de inversión de SQM para los próximos años, considera fortalecer la posición de la compañía en la producción y comercialización de fertilizantes, por ello aumentó su producción de nitratos desde 850 a 1.200.000 toneladas anuales.

Los fertilizantes de especialidad tienen ventajas técnicas respecto a los fertilizantes de tipo urea y cloruro de potasio, traduciéndose en mejor rendimiento y cultivos de mayor calidad. Una de las ventajas técnicas es que se fabrican fertilizantes muy solubles, libre de cloro al ser de origen natural, por otra parte, el nitrato se absorbe y reduce la acidez del suelo rápidamente, además, de proveer de micro nutrientes necesarios para el cultivo. Los fertilizantes de especialidad son usados en cultivo de alto valor, como tabaco, café y otros. SQM participa en el mercado de fertilizantes de especialidad con 3 productos básicos, nitrato de potasio, nitrato de sodio y nitrato sódico potásico. Adicionalmente, se agregan las mezclas de fertilizantes de más de 200 diferentes formulaciones elaboradas en base a los productos de SQM que contienen los nutrientes básicos que los cultivos requieren. Lo anterior se ha traducido en aumento en la calidad y precio por toneladas vendidas. Además, cuenta con plantas para mezcla de fertilizante en Chile, Perú, México, Francia, Bélgica y los Emiratos Árabes Unidos.

2 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

Los nitratos son sales fácilmente solubles en agua que contienen nitrógeno que se presenta de origen atmosférico. Las estructuras de los minerales de este grupo son muy parecidas a las de carbonatos, con el grupo triangular plano NO_3 cumpliendo un papel equivalente al del grupo CO_3 .

El ion N^{+5} , fuertemente cargado y polarizado, une los tres átomos de oxígeno que le rodean en un grupo compacto, siendo los enlaces entre iones de este grupo más fuertes que los demás enlaces posibles en el cristal. Estos grupos se combinan en proporción 1/1 con cationes monovalentes, formando minerales isoestructurales con los carbonatos.

Así la *nitratina* ($NaNO_3$) tiene dos polimorfos isoestructurales con la calcita y el aragonito, mientras que el *salitre* (KNO_3) presenta la estructura del *aragonito*.

El nitrato de potasio es una sustancia blanca de forma cristalina triclinica, algunas de sus propiedades físicas y químicas se describen en las Tablas N°1 y N°2. Esta sal es muy poco soluble en alcohol pero muy soluble en agua. Su solubilidad aumenta notablemente con la temperatura, lo que puede observarse en la Tabla N°3. Si comparamos su solubilidad en agua respecto al sulfato de potasio, ésta es mucho mayor, propiedad que le confiere al nitrato una aplicación más amplia a nivel industrial, principalmente en relación a los fertilizante, Tabla N°4.

Otra fuente de obtención de KNO_3 es aprovechando las relaciones de solubilidad del sistema $KCl-NaNO_3-H_2O$.



TABLA N°1: Propiedades físicas y químicas del nitrato de potasio

P.M. (g/mol)	T.Ebullición (°C)	Dureza (mohs)	forma / color	T. Fusión (°C)	Densidad relativa	Indice refracción
101.1	400	2.11	Rómbica, trigonal, blanco	334	2.11	1.5038

FUENTE: Kirk-Othmer, 1966

TABLA N°2: Propiedades termodinámicas molares del nitrato de potasio

	S° ₂₉₈ (J/mol)	V° ₂₉₈ (cc/mol)	ΔH° ₂₉₈ (J/mol)	ΔG° ₂₉₈ (J/mol)
KNO ₃	133.09	48.04	-494460	-394544

FUENTE: Kirk-Othmer, 1966

TABLA N°3: Solubilidad del nitrato de potasio en agua

T(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	125
gsal/100gH ₂ O	13.3	20.9	31.6	45.8	63.9	85.55	110	138	169	202	246	300	394	493

FUENTE: Perry R y Chilton C., 1986

TABLA N°4: Solubilidad del KNO₃ y NaNO₃

T (° C)	KNO ₃ (g/l)	K ₂ SO ₄ (g/l)
0	133	76
10	209	92
20	316	111
30	458	130

FUENTE: Perry R. y Chilton, C., 1973

2.1 Nitrato de potasio natural: Fertilizante único

El consumo mundial de fertilizantes primarios, nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio (medido desde el punto de vista de N, P₂O₅, y K₂O) creció a un valor anual de 2.5% entre 1980 y 1990. Durante esta década, el consumo aumentó desde 112 millones de toneladas métrica a 143 millones de toneladas métrica de los tres elementos primarios. Hoy en día, se esperan proyecciones de un crecimiento mundial en el consumo de alimentos, lo que aumentaría el consumo de los fertilizantes. Una de las principales ventajas del nitrato de potasio natural en relación con el sintético, es que mejora la productividad de la tierra arable, mejorando así los rendimientos de las cosechas.

2.2 Ventajas del nitrato de potasio como fertilizante

- Proporciona potasio exento de cloro

Una abundancia de cloro puede disminuir los rendimientos y deteriorar la calidad de muchos cultivos. Esta cualidad del nitrato de potasio lo diferencia del cloruro de potasio, el cual contiene 47% de cloro y es el fertilizante potásico más usado. El nitrato de potasio contiene menos del 1% de cloro.

Cantidades perjudiciales de cloro para los cultivos pueden presentarse como consecuencia de un elevado aporte de este elemento por parte de los fertilizantes, suelos, agua de riego y algunos plaguicidas. El estiércol y materias orgánicas también aportan cloruro y sales a los suelos.

El único síntoma visual general de exceso de cloro consiste en hojas de tamaño reducido y una menor velocidad de crecimiento. En algunas especies se producen síntomas específicos, como quemaduras en las puntas o



márgenes de las hojas, color tabaco y caída prematura de ellas y, en algunos casos, clorosis. El nitrato de potasio está prácticamente libre de cloro, ya que su contenido es menor al 1%.

- Es altamente soluble en agua

Esta cualidad presenta ventaja al poder ser aplicado disuelto en agua. Su solubilidad es mucho mayor que la del sulfato de potasio, que es la otra fuente de potasio exenta de cloro.

- No incluye elementos innecesarios.

El potasio y el nitrógeno nítrico pueden ser absorbidos en su totalidad por las plantas, sin dejar residuos que puedan provocar acumulación de sales en el suelo o en otro medio de cultivo.

- El nitrógeno está en forma de nitrato

El nitrógeno en forma de nitrato es inmediatamente aprovechable por las plantas sin necesidad de transformaciones previas. Ello aún en suelos finos, mojados, ácidos y fumigados, como también en periodos de tiempo semi-secos. El nitrato tiende a estimular la absorción de potasio, magnesio y calcio y a deprimir aquellas de cloruro, mientras que el amonio presenta los efectos opuestos.

- Es un fertilizante doble

El KNO_3 , aporta dos de los tres elementos nutritivos minerales primarios de las plantas: Nitrógeno Nítrico y Potasio. La presencia del ión nitrato (NO_3^-) estimula la absorción de potasio, magnesio y calcio, por lo tanto, la aplicación simultánea de potasio y nitrógeno nítrico a través del KNO_3 , presenta una mejor eficiencia en la absorción del potasio y otros elementos secundarios.

3 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

Los yacimientos de nitratos, son cuerpos mineralizados en que su unidad económica “caliche”, se ubica en la parte inferior de un perfil característico y pueden alcanzar potencias variables de hasta algunos metros. Este conglomerado de sales se encuentra acompañado de calizas, arcillas y areniscas interestratificadas. En un perfil característico se distingue una capa superficial llamada *chusca*, luego le sigue una sobre carga de 2-5 % en salitre, para finalmente encontramos con el caliche, capa que contiene entre un 7 a 9 % en salitre con potasio entre 0.4 a 0.6 %, un análisis típico de la composición química del caliche se detallan en las Tablas N°1 y N°2, típico que se encuentra ampliado en el apartado Salitre.

TABLA N°5: Conversión de Kg de KNO_3 en Kg de N y K_2O

KNO_3	N	K_2O
50	7	22
100	13	44
150	20	66
200	26	88
250	33	110
300	39	132
350	46	154
400	52	176
450	59	198
500	65	220
550	72	242
600	78	264
650	85	286
700	91	308
750	98	330
800	104	352
850	111	374
900	117	396
950	124	418
1000	130	440

4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE POTASIO A PARTIR DEL CALICHE

La tecnología de obtención de sales potásicas, en SQM corresponde a procesos que siguen la misma línea de obtención del salitre. Se recupera cierta cantidad de potasio en el ciclo de lixiviación del caliche, sin embargo, ésta no es suficiente para la obtención de salitre potásico. De allí que en la actualidad esta empresa cuenta con una planta de cloruro potásico, para satisfacer sus necesidades. El KCI es obtenido de procesos de evaporación solar en pozas, a partir de las salmueras del Salar de Atacama.

4.1 REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y LIXIVIACIÓN DEL CALICHE

El caliche diariamente es transportado desde la mina a un chancador de tipo Blake (84"*66"), para ser sometido a una segunda molienda, previa separación del material de rechazo. La etapa de molienda consiste en la alimentación a tres conos Symons de 7', pasando por una batería de harneros, que clasifican el material fino en: - 35 mallas y +35 mallas. En esta operación genera un 25% de finos que deben de ser separado del grueso, para evitar por una parte, un posterior atochamiento y, por otra, que la arcilla presente en la fracción fina no se disgregue en la solución, ocasionando retardo en la tasa de lixiviación de la fracción gruesa. El descarte de finos posteriormente es lixiviado con agua, hasta alcanzar una concentración de 130 g/l en nitrato (solución débil) solución que es enviada a la planta de lixiviación (solución de botadero en Figura N°1, o solución débil en Figura N°2).

Aproximadamente, el 75% del caliche de 1/2', se envía por correas transportadoras a estanques de concretos ("cachuchos") de 7500 toneladas de capacidad cada uno, en donde se efectúa el proceso de lixiviación del caliche. A través de los cachuchos se hace circular una solución proveniente de los otros cachuchos, a fin de aumentar la concentración de la solución. Esta solución denominada de retorno de cristalización, MLR, es previamente calentada con agua de refrigeración de la casa de fuerza y vapor de caldera. La solución lixivante se introduce por la parte inferior de los estanques, haciéndose circular hasta que alcance los 41°C, temperatura máxima de lixiviación del sistema en María Elena. Una vez alcanzado la temperatura y el tiempo de lixiviación, 20 horas por cachucho (un ciclo total toma 120 horas), el nitrato de sodio contenido en el caliche pasa a la solución, la que se concentra desde 320 g/l (MLR) a 420 g/l (SSNa) en nitrato de sodio. Esta solución débil en sulfato y enriquecida en nitrato (SSNa), se envía a la Planta de Cristalización de Salitre Sódico (Figura N°2, apartado nitrato de sodio) y las soluciones fuertes de sulfato (SSS) o débiles en nitratos, son enviadas a la Planta de Cristalización de Sulfato.

La planta de lixiviación consta de 10 cachuchos, interconectados entre si, de tal forma que es posible procesar la carga de un cachucho con soluciones provenientes de otro estanque. El ciclo de lixiviación dura entre 8 a 14 horas en cada estanque. Cuando la concentración de la solución alcanza un valor determinado, ésta se traslada a un estanque con mayor ley, donde el proceso se repite. Los ciclos completos de lixiviación duran alrededor de 4 días antes que el mineral lixiviado sea removido y trasladado a los botaderos de rípios, donde se recupera la solución de impregnación.

La solución entrante originada de las distintas fuentes (botadero de finos, agua de alcantarillado purificada, solución residual de procesos de obtención de sulfato y salitre, agua del río loa, etc.), tiene una concentración promedio de 60 g/l de nitrato de sodio, y alcanza finalmente 320 g/l, la que es enviada a la planta de Coya Sur para su concentración en pozos de evaporación solar.

4.2 PLANTA DE CRISTALIZACIÓN DE SALITRE SÓDICO

En la planta de cristalización, cristaliza el salitre sódico por enfriamiento de la solución (SSNa), utilizando amoníaco. La temperatura final es de 4° C. El producto cristalizado se envía a los espesadores y la pulpa resultante se bombea a centrífugas continuas. El producto centrifugado se lava para desplazar las soluciones de impregnación, obteniéndose nitrato de sodio con un 4 % a 6% de H₂O. Este se seca y se envía a la planta de pilado, para producir NaNO₃ de tipo fertilizante, o bien se recristaliza para remover las impurezas y obtener nitrato de sodio del tipo técnico para usos industriales, en la Figura N°1 se ha representado un esquema general.



La solución que entregó el salitre sódico cristalizado, correspondiente al rebalse del espesador, MRL, se utiliza en la recuperación del calor de enfriamiento de la solución, la que es aprovechada en un 60% en el proceso de lixiviación del caliche y el 40 % restante, en el proceso de obtención del yodo.

La solución que se envió a extraer el yodo recibe el nombre de MLF (feble), se utiliza para la producción de salitre potásico cristalizado (640 m³/día). El MLF se retorna al proceso de lixiviación. Un esquema de las corrientes en detalle se representa en la Figura N°2.

4.3 PRODUCCIÓN DE NITRATO DE POTASIO

El nitrato existente en la pampa es nitrato de sodio, presentándose el nitrato de potasio en muy baja proporción, lo que hace necesario su producción por medio de la reacción directa del nitrato de sodio con cloruro de potasio. El nitrato de sodio cristalizado también se puede combinar con nitrato de potasio existente, para producir nitrato de sodio y potasio. Refiérase a la Figura N°2, luego de pasar por la planta de muriato, la solución se envía a la planta de cristalización, donde la solución es enfriada desde 27° a 4°C, por medio de intercambiadores de placas y tubulares que utilizan como líquido refrigerante el amoníaco anhidro y la solución de retorno de la cristalización (MLK) del salitre potásico. El salitre sódico y potásico, precipita en forma de cristales finos, los que se separan del líquido por decantación y centrifugación. El salitre se funde entre 300°C y 350°C y se bombea a una torre granuladora de 70 m de altura. El salitre líquido es enfriado en contracorriente con el aire frío, formando gránulos esféricos o pellet que llegan al suelo a 130° C. El salitre granulado se enfría a 40° C por medio de un intercambiador de calor tipo tubular.

4.4 PRODUCCIÓN DE SALITRE POTÁSICO CRISTALIZADO

Para el proceso de producción de salitre potásico cristalizado, se utilizan diez pozas de evaporación solar, las que concentran dos tipos de soluciones, una proveniente de la planta de yodo (MLF) y otra débil. La alimentación diaria de la corriente MLF son 640 m³/ día de solución de concentración 316 g/l en nitrato y 12 g/l en potasio. La solución más débil que alimenta a la Planta de Yodo 'B', contiene una concentración de 178 g/l en nitrato y 8.0 g/l en potasio.

Las soluciones que alimentan las pozas contienen otras sales, como los cloruros y astrakanita, las que son cosechadas por medio de máquinas (elefantes).

En lo referente al nitrato, por medio de la evaporación y el equilibrio, avanzan las soluciones hasta llegar a la poza N°10 correspondiente a la cabeza, en la cual la concentración de nitrato se encuentra saturada y en equilibrio con otras sales como magnesio, sulfatos, cloruros. El caliche que no tiene el suficiente potasio para lograr una ley adecuada en el producto, es agregado como muriato (KCl) en la solución de alimentación de la planta de cristalización del salitre potásico de Coya Sur, Figura N°2. La precipitación del producto se efectúa de igual forma que el salitre sódico cristalizado, en este caso se opera con una temperatura de 2°C, devolviendo las soluciones de retorno a las pozas de evaporación.

La producción completa de KNO₃ está basada, en el principio de equilibrio de las pozas; tan sólo es necesario agregar mayor cantidad de potasio y corregir el equilibrio con adición de agua, de forma de lograr bajar la concentración del cloruro, mejorando la calidad del KNO₃ cristalizado.

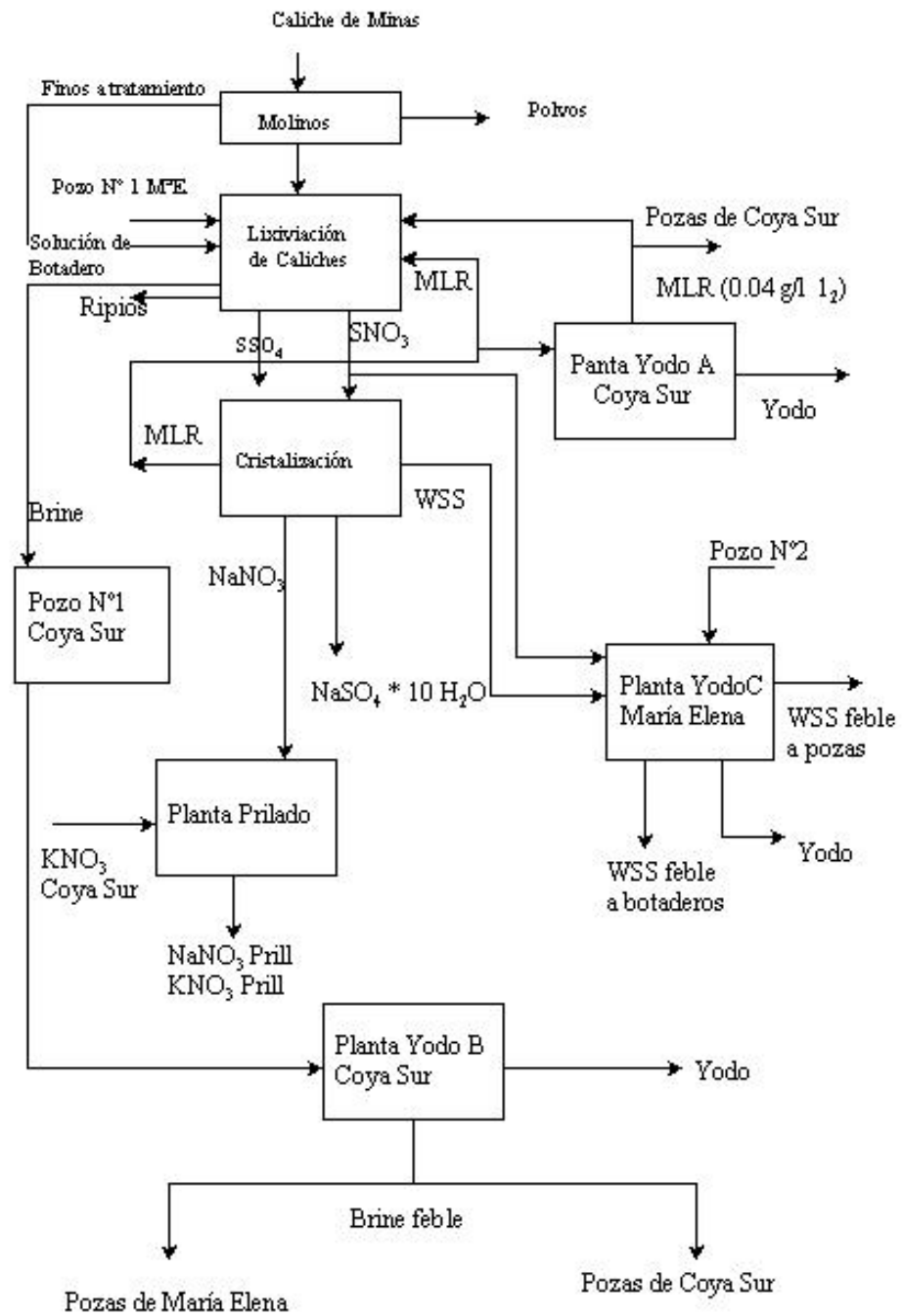


FIGURA N°1: Proceso global de producción del nitrato de potasio y nitrato de sodio.

4.5 PRODUCCIÓN DE SALITRE POTÁSICO GRANULADO

El salitre potásico cristalizado, entra en su última etapa de elaboración a la Planta Granuladora de María Elena, Figura N°2, se seca, funde y granula en el secador, se enfría en intercambiadores de calor (enfriaderas) y por último se almacena o ensaca para su posterior embarque.

Los carros cargados con salitre potásico que llegan a la cancha de almacenamiento son muestreados en forma individual. Una vez conocido el porcentaje de potasio, son vaciados y distribuidas en la cancha de acuerdo a la ley en potasio.

La mezcla de salitre se alimenta a un desintegrador que muele el salitre endurecido. La mezcla de salitre se pondera según la ley de salitre potásico y se agrega según las necesidades salitre sódico y potásico, tal que, al secar, fundir y granular el producto cumpla con las especificaciones requeridas.

La etapa siguiente es registrar las toneladas de salitre ingresadas al sistema a través de un pesómetro, el que descarga el salitre a un secador rotatorio aislado con lana mineral. Si se trabaja en condiciones normales, con una carga de 32 a 35 ton/h de mezcla de salitre al 12% en K, con humedad del 6% y temperatura de 17°C, la operación de secado entregará un producto de 0.5% de humedad a 110° C. El producto se descarga en un estanque de fusión en la planta Bertrams.

La planta de fusión Bertrams está constituida por 4 estanques de 12m³ cada uno, para partida, fusión, circulación y torre, de 2 calefactores para el recalentamiento del salitre fundido y un decantador.

La carga de salitre cristalizado seco se funde por contacto con una gran masa de salitre fundido recalentado a 350°C. El rebalse del fundido cae a un decantador, donde las partículas sólidas caen en suspensión y son sacadas desde el fondo manualmente con una cuchara.

La mezcla que se produce en el estanque de fusión es de 27 ton/h de nitrato a 120°C, 240 m³/h de nitrato fundido a 360°C y 12 m³/h de nitrato fundido a 290°C, provenientes del secador, calefactor Bertrams y retorno de la torre de goteo respectivamente.

El exceso de salitre fundido del estanque de circulación fluye por un desnivel, a un estanque de circulación, que se encuentra aproximadamente a 315° C. Desde el estanque torre, por medio de bombas verticales, se envía el salitre a la torre de goteo de 70 m de altura, recorriendo aproximadamente 100m de tubería aislada. En la cima de la torre, el fundido alcanza una temperatura próxima a los 300°C. En su trayectoria intercambia calor con el medio circundante, solidificándose y obteniendo salitre granulado a 120° C. Este se transporta a través de correas transportadoras a un buzón que descarga en dos elevadores tipo capacho, que alimentan a harneros vibratorios, encargados de separar la fracción de granulada embarcable (-8 + 35 mallas), del material de rechazo (+8 -3 5 mallas).

El salitre granulado obtenido está a 100° C, por lo que es necesario reducir su temperatura, ingresándolo a intercambiadores de calor tipo tubo y coraza, con la finalidad de reducir su temperatura a 50° C (el agua de refrigeración entra con 20° C y sale a 45° C). El granulado frío, es transportado y envasado para su posterior comercialización.

4.6 CRISTALIZACIÓN: COYA SUR

El nitrato existente en la pampa es nitrato de sodio, que contiene poco contenido en potasio, el potasio adicional se obtiene agregando muriato (KCl) a la solución concentrada proveniente de las pozas de evaporación ver Figura N°1 y N°2.

La solución enriquecida en potasio, es tratada en la planta de cristalización de Coya Sur, donde es enfriada hasta que se logra la precipitación del salitre en forma de cristales muy finos. Esta pulpa es separada del líquido por espesadores (agua vieja o solución débil), posteriormente es cristalizada, el que es fundido y granulado en la siguiente etapa.

Las soluciones residuales de María Elena y Pedro de Valdivia, son enviadas a Coya Sur para concentrar las soluciones por medio de pozas de evaporación solar.

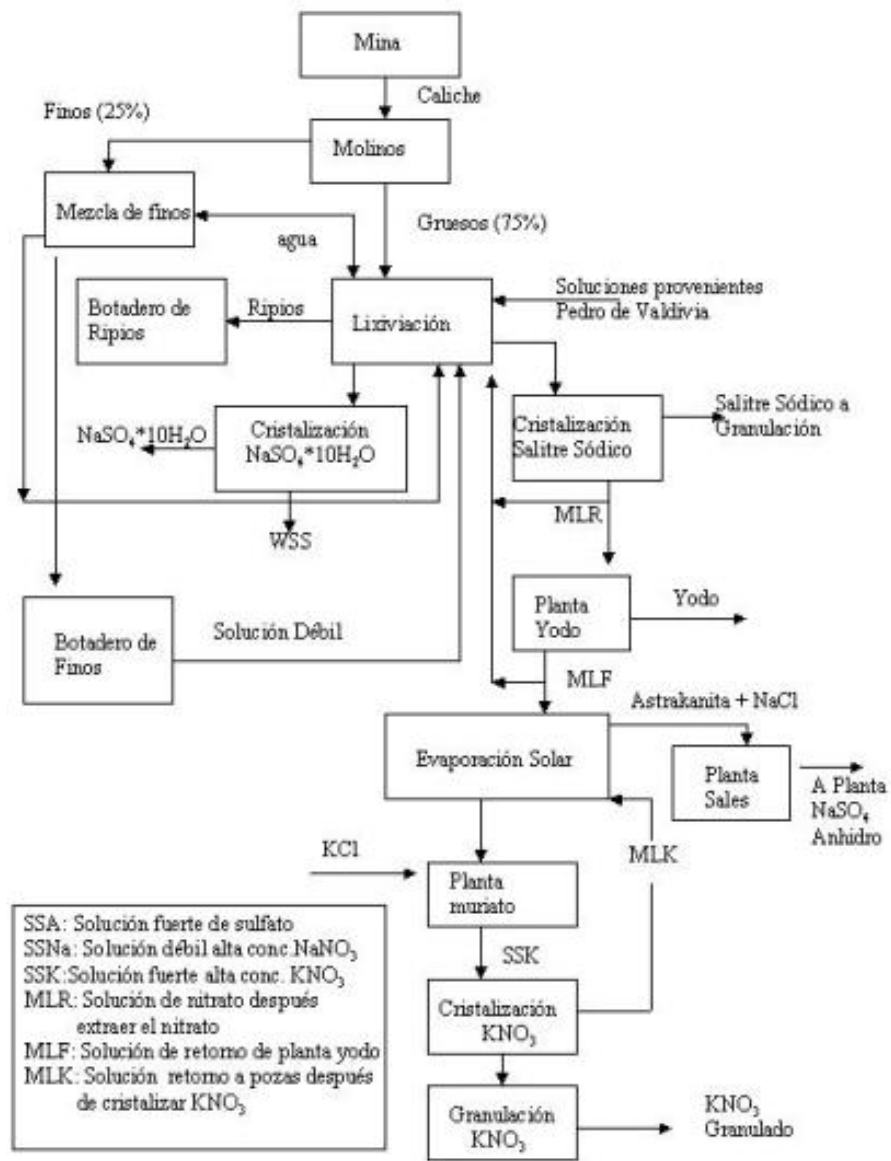


FIGURA N°2: Proceso productivo de María Elena y Coya Sur.

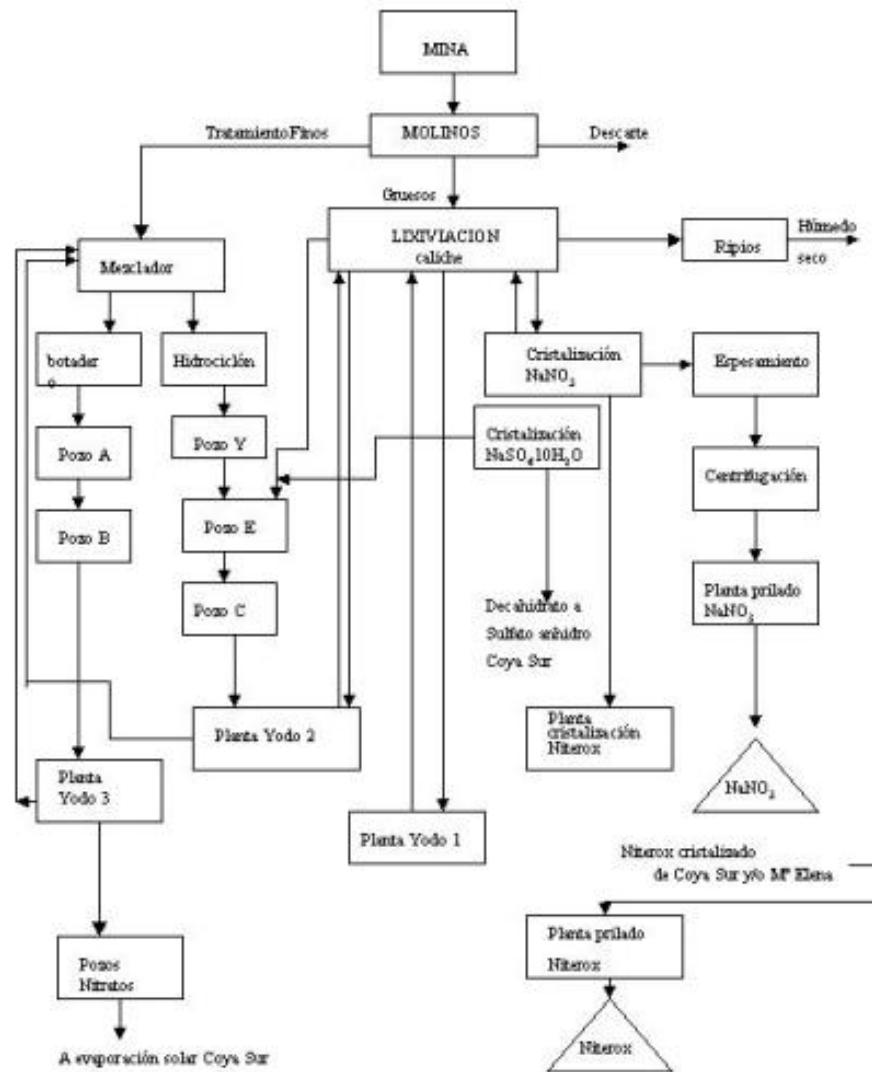


FIGURA N°3: Diagrama de flujo operacional para los diferentes fertilizantes de la planta de Pedro de Valdivia

5 CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA PRODUCCION DE NITRATO DE POTASIO DE SQM

El nitrato de potasio de SQM se expende en dos formas físicas, granulado y cristalizado, proporcionando los dos nutrientes minerales que las plantas necesitan en mayor cantidad, nitrógeno y potasio. Contiene 13% de nitrógeno (N) y 44% de potasio (K_2O), siendo su grado fertilizante 13-0-44. Posee una relación $N:P_2O_5:K_2O$ de aproximadamente 1:3:5, en consecuencia, es un fertilizante NK predominantemente potásico de alta concentración, ya que ésta asciende al 57% de los elementos nutritivos.

El nitrato potásico granulado, puede aplicarse directamente al suelo. La N°4.6 da cuenta de las especificaciones a tomar en cuenta para su comercialización a nivel nacional. En cultivos anuales, debido a su alto contenido de potasio, se usa preferentemente en la fertilización de base, que se efectúa antes o durante la siembra o trasplante. Debido a su amplia relación N:K:O de 1:3:5, el nitrato de potasio puede aplicarse en combinación con un fertilizante fosfatado; posteriormente se agrega más nitrógeno en una o más aplicaciones. En algunos casos, también es aplicable después de la época de siembra. En cultivos perennes se usa en una o más aplicaciones según sea necesario.

La Tabla N°6 resume ejemplos de dosis comunes de aplicación de nitrato potásico en varios tipos de cultivos. Estas dosis pueden ser suplementadas con la aplicación de otros fertilizantes y pueden variar considerablemente según sea el caso. La Tabla N°8 entrega las especificaciones comerciales en el extranjero respecto al nitrato cristalizado y granulado.

MEZCLAS NPK (Bulk Blending): El nitrato de potasio granulado puede mezclarse con otros fertilizantes granulares en plantas especiales. La mezcla puede despacharse al predio ensacada. Estas mezclas permiten producir una gran variedad de formulaciones NPK, de acuerdo a las necesidades específicas de los agricultores. El empleo de mezclas NPK, ha ido en aumento en muchos países.

El nitrato de potasio puede mezclarse con otros fertilizantes y otros procesos industriales, con el objeto de obtener un producto NPK granular en que todos los gránulos tengan la misma composición. En algunos países a estos NPK se les denomina fertilizantes complejos.

Otra característica que presenta el nitrato de potasio es el de usarse como componente de fertilizantes fluidos, ya sea líquidos o en suspensiones. Puede aplicarse disuelto en agua de riego. El riego por goteo y el sistema por aspersión son una de las características de su uso.

La disolución del nitrato de potasio es un proceso endotérmico, pues la temperatura de la solución disminuye al disolverse el producto. Para fines prácticos, en la preparación de una solución madre de nitrato de potasio, generalmente se considera una solubilidad de 130 g/l.

En la fertirrigación continua, la concentración final de nitrato de potasio en la solución emitida por el sistema de goteos al suelo, comúnmente es de 0.25 a 0.5 g/l, dependiendo de los requerimientos del cultivo. Concentraciones superiores pueden aumentar la conductividad eléctrica y el pH de la solución a niveles inconvenientes. En aquellas aguas de riego que tienen cantidades significativas de sales disueltas, debe emplearse el nitrato de potasio en concentraciones más bajas.

Otra ventaja en cuanto a la fertilización foliar es que se puede aplicar disuelto en agua para el follaje en una o varias aplicaciones durante la temporada, obteniéndose así una rápida respuesta por parte de las plantas. El nitrato de potasio es compatible con una amplia gama de productos agroquímicos. Las concentraciones de nitrato potásico en la solución varía de acuerdo a la especie vegetal y son más concentradas cuando el volumen líquido es pequeño. En general, se pueden usar concentraciones de 2 a 5 % (Kg de KNO_3 /100 litros de agua) en cítricos, 1 a 4% en hortalizas y 5% a 1% en árboles frutales de hojas caducas y uva. Las aplicaciones aéreas pueden ser más concentradas, porque se emplea un menor volumen de agua.

5.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y COMERCIALES DEL KNO_3

Los productos tipo fertilizantes de especialidad ofrecen una variedad de productos basados en nitratos naturales y potasio libre de cloro, los cuales poseen ventajas técnicas respecto a los otros tipos de fertilizantes. En todos los casos pasan por un exhaustivo control químico, en donde se les determina los límites de control y sus especificaciones, tanto al nitrato cristalizado como al granulado. Las Tablas N°7 y N°8, dan cuenta de este tipo de control.



TABLA N°6: Contenidos de nitrógeno, potasio y nitrato potásico

	KNO ₃	N	K
Pradera mixta (siembra)	150	20	66
Pradera manual (mant. anual)	100	13	44
Pradera Ballica/avena (siembra)	150	20	66
Trigo	200	26	88
Papas	350	46	154
Remolacha	350	46	154
Raps	200	26	88
Avena	150	20	66
Cebada	150	20	66
Tricale	150	20	66
Maiz forrajero	300	40	132
Coles forrajero	350	46	154
Trebol rosado	250	33	110
Alfalfa	250	33	110
Lupino	250	33	110

TABLA N°7: Especificaciones de los productos terminados de KNO₃ granulado

Características	Límite	% lím.control laboratorio	% Especific.
Nitrógeno	-	15.08	15.00
K ₂ O	-	14.19	14.00
NaNO ₃	MN	65.81	65.81
KNO ₃	MN	30.05	30.05
NaCl	MX	1.79	1.80
SO ₄ c/Na ₂ SO ₄	MX	1.36	1.40
H ₂ O	MX	0.23	0.25
KClO ₄ c/ KClO ₄	MX	0.75	0.80
Insoluble	MX	0.09	0.10
H ₃ BO ₃	MX	0.58	0.60
K	-	11.62	11.62

FUENTE: Kirk Othmer, 1966

TABLA N°8: Especificaciones comerciales del KNO₃ puro

Característica	Cristalizado (nacional)	Granulado (nacional)	Extranjero
K (2.5857)	36.2	36.2	37.51
NaCl	0.55	0.55	0.50
SO ₄ c/Na ₂ SO ₄	0.70	0.70	0.60
KClO ₄	0.99	0.99	0.30
KNO ₃	93.60	93.6	97.0
Insoluble	0.10	0.10	0.10
Reflectancia	85.0	85.0	85.0
Humedad	0.15	0.15	0.15

FUENTE: Kirk Othmer, 1966

5.2 NITRATOS Y SUS DERIVADOS: INFORMACIÓN TÉCNICA

-NITRATO DE POTASIO (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, fertirrigación (aplicación de aguas de riego), aplicación foliar.

-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, sirve para la preparación de acetato de bismuto, benzoato de silicato, disilicato, galato básico, ditanato, albúmina de bismuto, nasofén-bismuto, rodanato quinolinbismútico, tribromofenol-bismuto, tribromo-pirocatequín-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 SODIO (NaNO_3): 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. 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 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 FÉRICO ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 9\text{H}_2\text{O}$): Se usa en medicina, como mordiente, en tintorería, para dar cuerpo a la seda y en curtiduría.

-NITRATO DE CESIO (CsNO_3): Es una sal ideal para separar del cesio el litio, sodio y potasio.

-NITRATO DE PLATA (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 (HgNO_3): Se usa como antiséptico; la solución (líquido de Ballot) se emplea para curar las úlceras sifilíticas 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 (NH_4NO_3): Principalmente utilizado en la preparación de explosivos de seguridad, así como en la obtención de N_2O , 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 (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.

-NITRATO DE NIQUEL ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): Es el principal reactivo en la preparación de catalizadores de níquel. Además, sirve como reactivo para la obtención de hidróxido y carbonato de níquel relativamente puro y por medio de éstos, otras sales de níquel no derivadas fácilmente por reacción directa entre el níquel y los ácidos.

6 MERCADO

Este producto se comercializa en las calidades de fertilizantes o químico industrial, ambos del tipo granulado. El primero se vende como nitrato de sodio (de color blanco) o de potasio (de color rosado pálido), siendo el de sodio el producto natural con un 16% de nitrógeno; el de potasio incluye este último elemento y la razón, nitrato de sodio / nitrato de potasio, es del orden de 2 / 1. Las especificaciones más generales para ambos productos, se describen en la Tabla N°9. A nivel mundial, los requerimientos de fertilizantes son cada vez mayor, por lo que la producción en términos de potasa se incrementa anualmente, véase gráfico N°1.

El KNO_3 ha experimentado un gran aumento en su producción, toda vez que, la producción chilena de cloruro de potasio así lo hizo. Las exportaciones tanto del KNO_3 , salitre potásico aumentaron significativamente debido a la mayor demanda que presenta la agricultura y a la importancia que esta tiene en el rubro del medio ambiente.

La Tabla N°10 da cuenta de las toneladas de producción por año, pero sólo hasta 1995 tenemos datos de producción por separado de nitrato de sodio y nitrato de potasio. A partir de esta fecha, los valores corresponden al total en nitratos producidos por la industria SQM.

TABLA N°10: Producción de nitratos en toneladas métricas

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995*	1996*	1997*	1998*
KNO_3	297.400	292.500	234.000	230.000	280.000	94.750	900.000	847.000	881.000

*: Incluyen NaNO_3 y KNO_3

FUENTE: La Minería No-Metálica de Chile. Anuario Estadístico, 1996, 1998

TABLA N°11: Exportaciones chilenas valoradas en miles, US\$ FOB y valor unitario en promedio anual US\$/ton

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	%VAR. 97/96	%VAR. 98/97
TonMétricas	111.027	129.702	135.343	154.227	181.715	206.260	189.225	224.555	226.770	19	29
PromUS\$/ton	257	252,2	257,1	200,6	243,1	257,9	291,1	291,1	292,2	0	2
Miles US\$FOB	28.500	32.709	38.788	30.931	44.187	53.190	55.084	65.353	66.258	19	31

FUENTE: Indicadores de Comercio Exterior, Banco Central de Chile, 1998

Los principales destinos del KNO_3 son Bélgica, España, Estados Unidos, China e Italia, cubriendo un sin número de países.

La Sociedad Química y Minera de Chile S.A., es la única empresa del mundo que produce fertilizante basado en nitratos naturales

Pese a la caída del valor del nitrato de potasio en 1993 a US\$ 200,6 la tonelada, se recuperó rápidamente al siguiente año y a partir del año 96 éste ha permanecido estable en un valor de US\$ 291,1 por tonelada. El valor promedio entre el período 90-98, ha sido US\$ 256,26 lo cual es un buen indicador de la estabilidad del precio del nitrato en los mercados mundiales.

Chile importa a partir del año 1995 fertilizantes de potasio, con un valor promedio de US\$ 152,6 por toneladas, lo cual indica un incremento positivo para las exportaciones de este producto.



TABLA N°12: Formas de aplicaciones del nitrato potásico, según sea su utilización

Usos	Formas
Aplicación directa al suelo	Cristalizado o granulado
Mezcla (Bulk Bleding)	Cristalizado o granulado
Fabricación de fertilizantes	Cristalizado o granulado
Compuestos granulados	
Fertilizantes líquidos	Cristalizado o granulado
Fertirrigación (aplicación en H ₂ O de riego)	Cristalizado o granulado
Aplicación foliar	Cristalizado o granulado

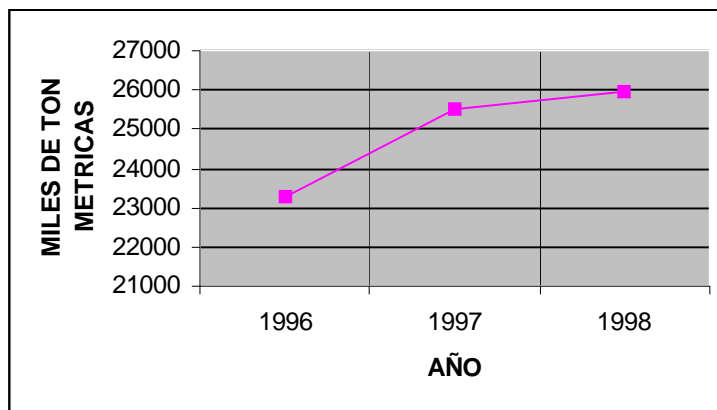


GRAFICO N°1: Producción mundial de potasa, entre los años 1996 y 1998

7 USOS Y ESPECIFICACIONES

Se expende en forma de polvo, cristalino o granular en los siguientes tipos: técnico, U.S.P., reactivo puro doble refinado y puro triple refinado. La siguiente tabla, muestra en que formas se utiliza el KNO₃, según sea el uso.

Otros usos:

El nitrato de potasio, grado industrial se le utiliza en la industria del vidrio por su aporte de óxido alcalino, el que actúa como fundente y por la acción del nitrato que actúa como agente de refinación. Cabe destacar que la sal potásica se utiliza en vidrios de mejores calidades.

En los aspectos específicos se destacan los siguientes usos basados en las correspondientes propiedades:

- Explosivos (agente oxidante)
- Vidrio (agente oxidante, fundente, fuente de Na₂O)
- Cerámicos adhesivos (agente oxidante, fundente y fuente de Na₂O)
- Tratamiento en el calentamiento de metales (agente oxidante y fusión)
- Refinamiento de metales (agente oxidante)
- Industria de acero inoxidable (fusión)
- Ladrillos de carbón (propiedades de electrolitos)
- Industria química inorgánica (fuente de nitratos y oxidantes)

- Industria química orgánica (fuente de nitratos y oxidantes)
- Tratamiento de aguas (agente oxidante)
- Preservación de alimentos (agente oxidante)

8 INDUSTRIAS ASOCIADAS. PROYECTOS FUTUROS

Durante el año 1995 SQM adquirió el control del proyecto Minsal, para obtener cloruro de potasio, a partir de las salmueras del Salar de Atacama. Con esta finalidad construyó su planta de nitrato de potasio en Coya Sur, al sur de María Elena. Esta planta agrega a SQM una capacidad productiva de 100.000 ton de nitrato de potasio. El costo de la planta fue de US\$ 13 millones y produce productos de grado técnico para uso industrial y agrícola.

En el año 1997, SQM comenzó con la explotación de caliche en pampa Blanca, que sumado a las operaciones mineras de María Elena y Pedro de Valdivia, le permitió aumentar la producción de nitratos en 80.000 toneladas. Esta compañía con una capacidad de producción de 450.000 ton anuales de Cloruro de Potasio, proyecta ampliarse a 150.000 toneladas anuales para finales de 1999. Este incremento tiene como principal objetivo, proveer de materia prima a la creciente producción de nitrato de potasio. Además, SQM participa en el negocio de los químicos industriales con el nitrato de potasio de grado técnico. El mercado de este tipo de producto, abastece las industrias que requieren productos de alta calidad que se encuentran principalmente en países desarrollados, como por ejemplo, el nitrato de potasio de grado técnico que se requiere en la fabricación de vidrio de alta resolución para pantallas de computadores y televisión.

La Sociedad Química y Minera de Chile S.A., SQM, utiliza el cloruro de potasio en conjunto con el nitrato de sodio provenientes del caliche como materia prima en el proceso de producción de nitrato de potasio. La integración en la obtención de ambas materias primas, como la adecuación e implementación en el proceso productivo hacen de esta industria líder en la producción de nitrato de potasio. Las reservas de nitrato natural son cuantiosas en Chile y la producción de nitrato de potasio de SQM ha ido en aumento para satisfacer la creciente demanda mundial. El plan de inversiones de SQM considera fortalecer la posición de la compañía en la producción y comercialización de fertilizantes de especialidad, por ello espera aumentar la producción de nitratos para el año 2000 desde 850 a 1.200.000 toneladas.

En Junio 1993, el proyecto en el que participa Minera Atacama, con su proyecto de Aguas Blancas ubicada a 5 Km al sureste de Antofagasta, espera producir 1.035 toneladas de yodo, 300.000 toneladas de sulfato de sodio y 70.000 toneladas de nitrato de potasio, a partir del séptimo año desde la puesta marcha programada a fines de 1999. Este proceso se basa en evaporar las soluciones, para concentrarlas a través de pozas solares.

La propiedad de Aguas Blancas abarca una superficie de 9.200 hectáreas. Las reservas del proyecto ascienden a 27 millones de toneladas de caliche con contenidos de 15.000 ton de yodo y 4.5 millones de ton de sulfato de sodio. Sus leyes son 683 ppm de yodo, 33% de sulfato de sodio y 4.5% de nitrato de potasio.

Los recursos geológicos suman 97 millones de toneladas de yodo y 37 millones de toneladas de sulfato de sodio. Según estas reservas y el ritmo de procesamiento de 5.000 toneladas por día de mineral, con una vida útil de 20 años.

Durante el año 2000, Sociedad Química y Minera de Chile S. A., SQM, tiene contemplado la entrada en operaciones de su nueva planta de nitrato de potasio, que demandará un inversión de US\$ 20 millones. Esta inversión se enmarca en el acuerdo con la empresa noruega Norsk Hydro, para enfrentar en forma conjunta el mercado internacional de fertilizantes. Se estima que la planta entrará en operaciones a mediados del próximo año y producirá 160.000 ton al año de fertilizantes químicos.

9 REFERENCIAS

- Diagnóstico de la Minería No Metálica en el Norte de Chile. CORFO-INTEC, vol 1, Santiago de Chile, 1989
- International Critical Tables of Numeric Data, Physics, Chemistry and Technology, 1ª ed., McGraw Hill Book, Company Inc, N.Y., vol.4, 236-248, 1928
- Indicadores de Comercio Exterior. Banco Central (edit.), ISM 0716 1 2405, 1998.
- Industrial Minerals: SQM to increase capacity for nitrates, lithium and potash: Industrial Minerals, N°380, May, 1-9, 1999.



- Kirk-Othmer, Enciclopedia Tecnología Química. 1ª ed. Español, Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, México, 1966.
- Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology. 4ªed., vol. 22,1997.
- La Minería No-Metálica de Chile Anuario Estadístico. Comisión Chilena del Cobre, Santiago de Chile, 1998.
- Perry y Chilton, C.: Chemical Engineers Handbook. 5ªed., McGraw-Hill Ltda., 1973.
- Perry y Chilton, C.: Chemical Engineers Handbook 1986.
- Reconocimiento de la Industria Nacional como mercado para la minería No Metálica de Chile. Comisión Chilena del Cobre y Sociedad Nacional de Minería (edit.), Santiago de Chile, 1995.
- U.S. Geological Survey. Minerals Information, Reston VA 20192 USA;
URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>
- Vila, T.: Recursos minerales no Metálicos de Chile. 3ª Ed. actualizada, Editorial Universitaria S.A, Santiago de Chile, 1953.
- Whiter, D. y Brooks J.: Diccionario de Geología. Ed., Editorial Alianza, 1986.
- www.bcentral.cl/ Registro de Exportaciones del Banco Central de Chile