



UNIVERSIDAD  
**Finis Terrae**

UNIVERSIDAD FINIS TERRAE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

**FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN  
DE HIDRÓXIDO DE LITIO A PEQUEÑA ESCALA A PARTIR DE  
SALMUERAS**

Catalina Velásquez Carrasco

Memoria de título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad  
Finis Terrae, para optar al título de ingeniero civil industrial.

Profesor Guía: PhD. Víctor Benigno Cabrera Álvarez

Santiago, Chile

2019

## **Dedicatoria**

*A Erika Carrasco Lara y Miguel Velásquez Cortés, mis padres  
Sin ellos, nada de esto hubiese sido posible.*

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que con su apoyo han colaborado en la realización del presente trabajo. En primer lugar quisiera agradecer a Dios, por todo lo que me ha dado, por la hermosa vida que me ha brindado, por estar ahí en cada uno de mis logros, escuchándome y guiándome siempre.

A PhD. Víctor Cabrera, mi profesor guía, por la orientación, el seguimiento y supervisión continua, pero sobre todo por la motivación, el apoyo recibido en estos meses y por el tiempo que me ha dedicado.

Quisiera agradecer también a Patricio Campos, Ingeniero Civil de Minas de la Universidad de Chile, con 45 años de experiencia en minería. Con su experiencia y voluntad me guió en el desarrollo de este trabajo, fue un gran apoyo en todo momento. Le agradezco por haber compartido conmigo sus conocimientos.

A mis padres, con todo mi amor, admiración y respeto, que han sido mi ejemplo continuo de lucha para lograr los objetivos que me he propuesto, y así mismo me han enseñado a valorar lo que he realizado durante todos estos años. Les agradezco por siempre haber confiado en mí, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y porque sin ustedes no habría podido lograr este sueño tan anhelado. Sólo espero recompensarles todo lo que me han dado, estaré eternamente agradecida.

A mi hermana Macarena, por ser una parte fundamental en mi vida, por escucharme y darme los consejos que he necesitado, por llenar mi vida de alegría, por ser mi compañera y por todos esos momentos que hemos pasado juntas.

Agradezco a mis compañeros, que fueron un gran apoyo en los momentos difíciles en los que debimos ser un equipo de trabajo y estuvieron ahí. A los que fueron compañeros y amigos. Gracias por los momentos enriquecedores junto a ustedes y por la confianza que han tenido en mi para compartir momentos. Han sido muy importantes en formación.

Finalmente les agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en la realización de este trabajo.

## ÍNDICE

Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes generales .....	1
1.2 Usos del litio .....	2
1.3 Problema a resolver .....	2
1.4 Propósito .....	2
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo General .....	3
1.5.2 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Justificación.....	3
1.7 Metodología de la investigación.....	4
1.8 Alcance.....	5
1.9 Limitaciones .....	5
<b>CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>7</b>
2.1 Historia .....	7
2.2 Principales actores .....	7
2.3 Revisión de la industria minera .....	8
2.4 Revisión histórica.....	9
2.4.1 Revisión histórica de la industria del litio .....	100
2.4.1.1 Situación de la minería no metálica a pequeña escala.....	121
2.5 Impacto ambiental .....	122
<b>CAPÍTULO III BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>15</b>
3.1 Introducción .....	15
3.2 Carbonato de litio.....	15

3.3 Hidróxido de litio .....	15
3.4 Electrólisis .....	16
3.5 Electrodiálisis.....	16
3.6 Minería a pequeña escala.....	17
3.7 CAPEX .....	18
3.8 OPEX .....	19
3.9 ANÁLISIS INTERNO - EXTERNO .....	19
3.10 CONSUMO DE POTENCIA .....	19
3.11 Densidad .....	20
3.12 Energía de Gibbs.....	20
3.13 Bernoulli.....	20
3.14 Pérdidas de carga primarias .....	21
3.15 Ley de Faraday .....	21
3.16 Ley de Faraday .....	21
3.17 Métodos de extracción de litio.....	22
3.17.1 Método tradicional .....	22
3.17.1.1 Ventajas .....	23
3.17.1.2 Desventajas .....	24
3.17.2 Método de Salmueras .....	24
3.17.2.1 Ventajas .....	25
3.17.2.2 Desventajas .....	25
3.17.3 Método de obtención de litio en arcillas.....	26
3.17.3.1 Ventajas .....	26
3.17.3.2 Desventajas .....	26
3.17.4 Litio en cenizas de alimentos.....	26
3.17.4.1 Ventajas .....	27
3.17.4.2 Desventajas .....	26

<b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA ACTUALMENTE .....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO V METODOLOGÍA PROPUESTA.....</b>	<b>36</b>
5.1 Metodología de la electrodiálisis .....	36
5.2 Metodología del electrólisis.....	37
5.3 Metodología propuesta .....	38
5.4 Materiales a utilizar .....	45
5.4.1 Parámetros del diseño de celda.....	48
<b>CAPÍTULO VI PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO VII EVALUACIÓN TÉCNICA .....</b>	<b>515</b>
7.1 Análisis Interno: Metodología Cadena de valor .....	55
7.1.1 Actividades primarias.....	55
7.1.2 Actividades de apoyo.....	56
7.2 Análisis Externo: metodología Cinco Fuerzas de PORTER .....	58
7.2.1 Poder de negociación con clientes.....	58
7.3 Análisis FODA .....	67
<b>CAPÍTULO VIII EVALUACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>73</b>
8.1 Ingresos.....	73
8.2 Costos .....	75
8.2.3 Costos de exportación .....	76
8.2.4 Costos de implementos de seguridad .....	76
8.2.5 Costos de materiales requeridos.....	77
8.2.5.1 Costo de mano de obra para instalación .....	78
8.2.6 Costo Recursos Humanos .....	78
8.2.6.1 Mano de obra directa .....	78
8.2.6.2 Otros empleados.....	79
8.2.7 Maquinaria .....	79
8.2.8 Porcentaje de costos.....	80

8.3	Activos .....	81
8.4	Flujo de caja .....	81
8.5	Indicadores económicos .....	83
8.5.1	TIR.....	83
8.5.2	VAN .....	83
8.5.3	ROI .....	84
8.5.4	EBITDA.....	84
8.6	Utilidades en el tiempo.....	86
8.7	CAPEX .....	88
8.7.1	CAPEX de producción de hidróxido de litio a partir de salmueras con pozas de evaporación solar .....	89
8.7.2	CAPEX de producción de hidróxido de litio a partir de electrodiálisis .....	89
8.8	OPEX.....	90
8.8.1	OPEX producción de hidróxido de litio a partir de salmueras con pozas de evaporación solar .....	90
8.8.2	OPEX de producción de hidróxido de litio por electrodiálisis .....	90
8.8.3	Punto de inflexión .....	87
8.9	Posicionamiento en el mercado .....	91
8.10	Comparación de metodologías .....	92
<b>CAPÍTULO X CONCLUSIÓN.....</b>		<b>977</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>988</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>1077</b>	

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CLP</b>	Pesos Chilenos
<b>LCE</b>	Carbonato de litio equivalente
<b>CAPEX</b>	Costos de inversión
<b>OPEX</b>	Costos Operacionales
<b>USD</b>	Dólares Americanos
<b>BCC</b>	Cubo Centrado en el Cuerpo

## RESUMEN

La electrificación de nuestro mundo está impulsando un fuerte aumento en la demanda de litio y sobre todo de hidróxido de litio, ya que es una materia prima vital para la acumulación energía en baterías de ión de litio. Hoy en día, aproximadamente el 60% de la producción mundial de compuestos de litio se extrae de salmueras, una práctica que evapora el agua, en promedio un millón de litros por tonelada de carbonato de litio equivalente producida. Debido a eso, esta investigación presenta un nuevo método para producir hidróxido de litio directamente a partir de salmueras, basado en la electrólisis, en el desierto de Atacama, Chile, enfocado en una minera a pequeña escala. Esta región presenta condiciones particulares de clima desértico donde el agua es escasa y para ayudar a resolver este problema del proceso de producción convencional, se planteó un proceso modificado, con un consumo eficiente de agua, para mejorar la sostenibilidad ambiental de la planta de producción. En este se analizó en términos generales la factibilidad técnico – económica de implementar esta nueva metodología y se encontró que el consumo de agua por kilogramo de producto se modificó de un millón de litros de agua[46] por tonelada de carbonato de litio equivalente producido a 2596 litros y el costo fijo del proceso se estima en aproximadamente 3 dólares por kilogramo. Finalmente, se puede decir que los resultados presentados pueden considerarse como pautas para abordar la optimización del proceso industrial para obtener el LiOH.

## **Abstract**

The electrification of our world is driving a strong increase in demand for lithium and lithium hydroxide, because is a vital raw material for the build-up currently available lithium-ion batteries. Currently approximately 60% of the world's production of lithium compounds is extracted from brines, a practice that evaporates water on average a million litres of brine per ton of lithium carbonate equivalent.

Due to that the present text is an investigation of a novel method to produce lithium hydroxide from brines, based on electrolysis, in the Atacama Desert, Chile.

This region presents particular desert climate conditions where water are scarce and to help solve this problem of the conventional production process, a modified process was developed, with an efficient consumption of water, for improving the environmental sustainability of the production plant.

It was found that the water consumption per kilogram of product was modified from one million litres of water per ton of lithium carbonate equivalent to 2596 litres and process cost is estimated to approximately 3 dollar per kilogram of lithium carbonate equivalent.

The corporate process for lithium hydroxide (LiOH) production is also mutually beneficial and the results presented can be considered as guidelines to address the optimization of the industrial process for obtaining the LiOH.

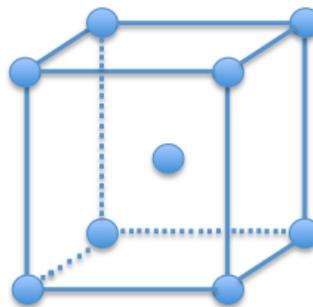
**KEYWORDS:** Lithium hydroxide, lithium, brines, Chile, electrolysis, water consumption.

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes generales

El litio es un metal alcalino, blanco, ampliamente utilizado actualmente en el mundo, para diferentes aplicaciones y, por sus propiedades químicas, es cada vez más importante mundialmente. Su símbolo químico es Li y corresponde al primer elemento del grupo IA de la tabla periódica, teniendo una masa atómica es de  $6.94 \frac{g}{mol}$  [1]. Se considera un material fundamental, gracias a sus propiedades fisicoquímicas, dentro de las cuáles se destacan que es el metal sólido más ligero, inclusive teniendo una densidad equivalente a casi la mitad de la del agua, de  $0.53 \frac{g}{mL}$ . Tiene un bajo punto de fusión y además es muy reactivo [2]. El núcleo de su átomo está constituido por tres protones y cuatro neutrones [1]. Posee tres electrones orbitando alrededor del núcleo; dos en el nivel interno  $n = 1$  y uno en el externo  $n = 2$ ; por ello posee tendencia a perder ese electrón haciendo reactivo a su átomo.

Este mineral es posible extraerlo desde diferentes reservas naturales, como las salmueras naturales, las pegmatitas, los pozos petrolíferos y el agua del mar. Cristaliza en el sistema cúbico centrado en el cuerpo (BCC), siendo una estructura metálica estable a 296K [3], sus electrones libres se desplazan dentro de la red cristalina con suma facilidad pudiendo conseguir y transferir cargas negativas con poca resistencia, lo cual le confiere las propiedades como conductor eléctrico.



Body Centered Cubic

Figura 1.1. Estructura cristalina del litio [3]

## **1.2 Usos del litio**

Debido a las propiedades que posee este elemento, existen una gran cantidad de aplicaciones en la industria y estas varían dependiendo de sus compuestos. Por ejemplo, el carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) es utilizado en la fabricación de cerámica y en la formulación para de esmaltes para porcelana; el citrato de litio ( $\text{Li}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ), se emplea en tratamientos psicológicos, y además, es un componente común en las aleaciones de aluminio, cobre y manganeso utilizadas en la construcción aeronáutica. La aplicación más relevante en la actualidad descubierta es el desarrollo de baterías, con el compuesto hidróxido de litio ( $\text{LiOH}$ ), que puede acumular energía y cuyo mercado está empujando la demanda mundial. Así la oferta e interés de los países que poseen este recurso ha aumentado, existiendo un fuerte interés por desarrollar nuevos proyectos en esta industria [7].

## **1.3 Problema a resolver**

Debido principalmente a la contaminación que se genera por el desarrollo de la minería, en la actualidad la preocupación por el desarrollo y los impactos de esta industria han aumentado, sumado a las proyecciones crecientes en la demanda del hidróxido de litio. A raíz de esto surge la necesidad de que Chile replantee dinamizar su explotación, en forma sustentable, sobre todo con actores a pequeña escala y que los esfuerzos tiendan a mejorar los procesos actuales al extraer este recurso desde salares naturales en el norte de Chile.

## **1.4 Propósito**

En base a lo mencionado anteriormente, se propone una vía de producción de hidróxido de litio tecnológica, basada en la electrólisis, que permita obtenerlo de manera directa desde el salar de Atacama, de esta forma atender las demandas actuales que existen en ese sector. Si bien, a pesar del alto requerimiento de energía, es considerada una alternativa, porque no tiene el impacto al medio ambiente que se genera en la actualidad. Este trabajo busca evaluar esta vía de producción haciendo un análisis técnico y económico.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Proponer un método alternativo para la obtención de hidróxido de litio mediante electrólisis, aplicada en una minera a pequeña escala y evaluar su factibilidad técnico – económica.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- a) Investigar la bibliográfica previa, relacionada con los procesos de producción utilizados actualmente en compuestos de litio, resaltando ventajas y desventajas.
- b) Establecer condiciones de operación más adecuadas en celda de electrodiálisis para la obtención de hidróxido de litio de alta pureza, mediante un metodología.
- c) Comparar las mejoras y el impacto que se genera con la nueva metodología que se plantea, respecto de la existente en la actualidad.
- d) Comparar los costos operacionales e inversión inicial necesaria para implementar esta nueva metodología de producción y los necesarios en el método actual.

## **1.6 Justificación**

Este trabajo busca una alternativa de producción más efectiva, puesto que se detectaron varios puntos críticos relacionados a la baja calidad que existe actualmente en los procesos de producción de hidróxido de litio con altos niveles de calidad es un problema:

- a) El proceso actual de extracción de litio a partir de salmueras fue creado en la década de los ochenta, en Estados Unidos. En este se utiliza la evaporación como principal método de separación de elementos en la salmuera. Sin embargo, tiene la deficiencia que se requieren grandes cantidades de terreno para instalar pozas de evaporación solar y además de gastar ingentes recursos hídricos, cada vez más escasos.

- b) La alta inversión inicial que se necesita en la instalación de pozas con evaporación solar no permite que mineras, de pequeña y mediana escala, se desarrollen en la industria.
- c) La ubicación del salar de Atacama en el Desierto hace que la escasez de agua sea un gran problema, y con la evaporación se requieren de aproximadamente 1.000.000 de litros de agua [15] para producir cada tonelada de litio, agravando aún más el problema.
- d) Aumentando los costos de producción actualmente, no es posible producir hidróxido de litio directamente desde las salmueras, sino que es necesario producir primero carbonato de litio y obtenerlo a partir de éste.

Desde esta información inicial, se genera la idea de buscar mejores formas de llevar a cabo los procesos asociados a la producción de litio.

### **1.7 Metodología de la investigación**

El desarrollo de esta investigación consta de cinco etapas.

- a) Se recopila y estructura la información: se plantea un contexto de estudio, definiendo el litio, sus usos, sus impactos en el medioambiente. Lo que se lleva a cabo mediante la recopilación de información desde la bibliografía, además de reuniones con expertos.
- b) Se compara metodologías de extracción de litio; la evaporación y electrólisis, mediante un análisis interno-externo, resumido en tabla.
- c) Se realiza un análisis externo e interno: describiendo y analizando la oportunidad de la incursión en el sector económico que se pretende entrar. Las conclusiones de este estudio son representadas en un FODA, que se obtiene a partir del análisis interno mediante la cadena de valor, y el análisis externo, mediante las cinco fuerzas de PORTER.
- d) Se realiza la evaluación económica: definiendo la inversión inicial, los beneficios futuros y los costos de operación; permitiendo determinar la viabilidad de un proyecto.

Este es un estudio exploratorio el cual desarrolla una metodología cualitativa, y para esto, se utiliza una mezcla de los métodos acordes a la investigación, donde se encuentran los siguientes; explicativo: centrándose en determinar y conocer cómo y por qué se utiliza el actual proceso de extracción de litio. Método Delphi [60]: donde se recurrirá a expertos en el tema, garantizando la disposición de estos a retroalimentación controlada asegurándose que la solución y datos obtenidos sean representativos de la realidad. Además, está presente también el método lógico deductivo, ya que mediante éste se aplican los principios utilizados actualmente a otras metodologías de extracción a la nueva metodología.

### **1.8 Alcance**

En el contexto del trabajo se investiga el proceso productivo del litio, generando una herramienta descriptiva, que responda las siguientes preguntas: ¿Qué método utilizar en cada caso?, ¿Cuáles de estos métodos son factibles y adecuados económicamente?, ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada método de extracción?, ¿Es posible reemplazar la metodología de extracción de hidróxido de litio por evaporación?

Dicho lo anterior, el presente trabajo es capaz de:

- a) Plantear una nueva metodología de extracción que permita obtener hidróxido de litio de manera directa, sustentado en las evaluaciones técnico-económicas.
- b) Realizar el procedimiento experimental de la obtención de litio puro con la finalidad de comprobar si es posible obtener este metal mediante la electrólisis.
- c) Plantear mejoras en el impacto medioambiental, en cómo afecta a los recursos hídricos, la flora y fauna.
- d) Desarrollar un análisis externo e interno del mercado en el que se desenvuelve la minera.
- e) Desarrollar un análisis financiero de la producción de hidróxido de litio a partir de salmueras en una minera a pequeña escala.

Para lograrlo, se describirán los métodos de extracción del litio, junto con sus ventajas y desventajas, y como esto se aplicaría a una producción de hidróxido de litio, lo que finalizará con un análisis técnico y económico con la idea de analizar la factibilidad de una minera a pequeña escala que quisiera comenzar a producir hidróxido de litio a pequeña escala, además de dar a conocer los costos permanentes para el funcionamiento del negocio. Adicionalmente, se enfatizará en la extracción por salmueras, debido a que esta metodología de extracción de litio ha cambiado notablemente [8]. En el año 1995 la producción de litio provenía en un 65% del mineral, y tan solo 35% de salmueras, mientras que en el 2007 el 86% era proveniente de salmueras, gracias a las grandes ventajas que esta metodología tiene [9].

### **1.9 Limitaciones**

El presente proyecto contempla un estudio, diseño y experimentación del desarrollo e implementación de la metodología propuesta, basado en el estado del arte de las técnicas existentes en la actualidad sin considerar la ejecución de éste en una minera. Teniendo en cuenta los alcances de este trabajo, mencionarán a continuación las principales limitaciones y que, el estudio se realizará dentro de estas fronteras:

- a) La lejanía de Santiago, lugar donde se desarrolla este trabajo, con la II Región de Antofagasta (lugar donde se aplicaría la solución), lo que impide la visión en terreno del contexto, empresas, operarios, etc.
- b) Poco material bibliográfico de la aplicación de electrodiálisis en procesos de separación distintos a la desalinización del agua de mar.
- c) El precio de las membranas de intercambio iónico es muy elevado, llegando a costar sobre US\$3500 cada una, impide la experimentación tal como sería implementada en la minera.
- d) En este estudio se realiza una búsqueda de información y se plantea una alternativa a la extracción de hidróxido de litio, comparando los costos de ambas metodologías.

## **CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 Historia**

El litio fue descubierto por Johan August Arfwedson, un químico sueco, en el año 1817 mientras analizaba una mina, quien, en el análisis de dos minerales, el espodumeno y la petalita, encontró que la suma de sus integrantes identificables nunca coincidía con el 100% del total, lo cual le llevó a postular que debía existir un componente no identificado. Sin embargo, no logró separar el elemento del compuesto y fue en el año 1818 cuando Humphry Davy y William Thomas Brande lograron aislarlo por medio de la electrólisis del cloruro de litio [4].

### **2.2 Principales actores**

Los compuestos del litio están difundidos en la naturaleza, aunque su proporción es escasa y, por la cantidad de propiedades que tiene, su uso en los últimos años ha aumentado considerablemente. La distribución de este metal en el mundo es variada [5]. Sin embargo, se destaca Chile mediante el salar de Atacama, Bolivia con el salar de Uyuni y Argentina a con el salar del Hombre Muerto, Rincón y Olaroz, ya que concentran cerca del 85% de las reservas de litio en salmueras y el 50% de los recursos totales de litio. En estos tres países es posible encontrarlo en salmueras, donde se encuentran mezclados con otros tipos de minerales, siendo aprovechados: el potasio, sodio, boro, sulfatos y cloruros [5]. Las salmueras pueden explotarse con el método de evaporación eólico – solar, el cual es más económico en su extracción, convirtiéndose en un método enormemente atractivo para la industria.

En la Figura 1.2 se presentan las reservas y recursos de litio estimados, en diferentes países (Cochilco).

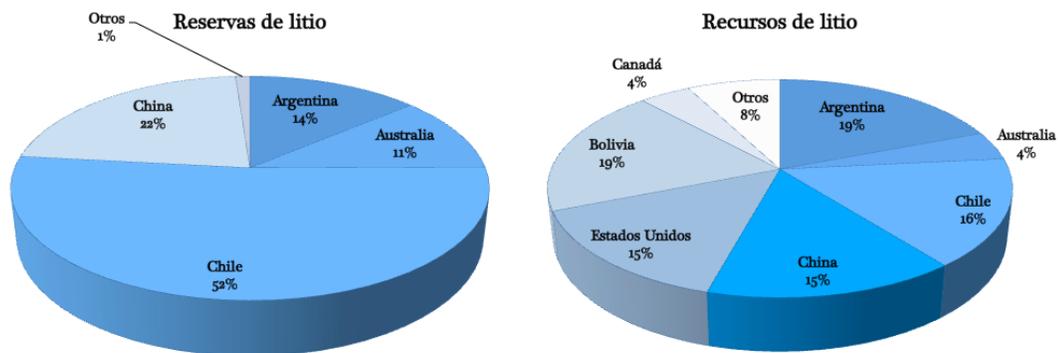


Figura 1.2. Reservas y Recursos de litio por país. Obtenido de Cochilco presentado en informe mercado internacional del litio y su potencial en Chile, 2017 [6]

Chile tiene las mayores reservas de litio en salmueras del mundo, representando el 52% del total de las reservas de litio a nivel mundial, convirtiéndolo en un actor fundamental y, por ende, generando la necesidad de aprovechar estos recursos naturales. Por otro lado, cuenta también con aproximadamente el 16% de los recursos mundiales [6]. La diferencia entre ambos es que las reservas son los recursos económicamente factibles.

### 2.3 Revisión de la industria minera

La minería es una actividad económica primaria en Chile que consiste en la obtención selectiva de minerales de la corteza terrestre que, luego de procesos físicos y químicos, se pueden comercializar y obtener un beneficio económico. Dependiendo del tipo de material a extraer, la minería se divide en metálica y no metálica [10]. En esta investigación, se trabajará con la minería no metálica.

La minería no metálica es la actividad de extracción de recursos minerales que son tratados y transformados en productos utilizables de manera industrial y/o agrícola. Existe una amplia variedad de minerales no metálicos que son considerados de interés, y es en el grupo I (extracción), en el que se incluye el litio. Se encuentran presentes aquellos productos que son caracterizados por tener muy buenas perspectivas geológicas, lo que le permite obtener ventajas comparativas importantes en el mercado mundial. Éstos provienen de recursos

salinos y de salmueras existentes en el norte de Chile, con reservas de calidad y ubicación favorables para una prolongada explotación. Su mercado actual y potencial es principalmente de exportación [11].

Por otro lado, también se hace necesario destacar que la industria minera es, en general, una industria de commodities, es decir, de materias primas transadas en las bolsas de metales. La principal característica de este tipo de industria es la no existencia de diferenciación cualitativa del producto. Así, es muy importante que la gestión que deben realizar las empresas pequeñas sea efectiva, de manera de disminuir los costos de producción, objetivo de este trabajo. Además los recursos presentes en la corteza terrestre son del tipo no renovables: mientras el desarrollo de la actividad minera avanza, éstos se van agotando. Pese a ello, la industria minera en Chile, tanto en cobre como en litio, no se han caracterizado por desarrollar nuevas tecnologías e innovaciones que mitiguen los efectos de la explotación. Esto, sumado a que es una industria de materias primas, hace sumamente importante buscar formas que permitan asegurar la sostenibilidad de la minería en el tiempo, y es ahí donde la innovación, ya sea en tecnologías o gestión, debe ser la piedra angular del futuro del negocio, objetivo de este trabajo.

## **2.4 Revisión histórica**

De acuerdo al Ministerio de Minería [12] Chile se ha destacado siempre por ser un país minero, que ha ido evolucionando a lo largo de los años en sus diferentes etapas. El primer ciclo, que tuvo lugar a partir del año 1830, estuvo ligado a la explotación de cobre y plata del norte chico, donde Chile logró llegar a ser el primer productor de cobre en el mundo. Esta posición de líder la ocupó en las dos décadas siguientes.

Pasada esta etapa llegó la era del salitre, que se desarrolló aproximadamente entre los años 1880 – 1930, las principales características de ésta y su crecimiento tenía que ver con las condiciones políticas y económicas que se perfilaban en el mundo durante el siglo XIX e inicios del XX. Debido al aumento de la urbanización hubo una fuerte explosión demográfica y los países comenzaron a buscar la mejor

forma de hacer rendir sus campos para alimentar a la población, considerándose el salitre como principal fertilizante. En esa época el auge de las exportaciones salitreras dio un fuerte impulso al sector externo chileno, transformándolo en el motor del crecimiento [12].

La siguiente etapa se solapa con la anterior, ésta tuvo lugar, entre los años 1920 a 1970 aproximadamente, teniendo como protagonista al cobre. El boom por este metal se debió a la aparición de la industria eléctrica, la expansión del sector de la construcción y una importante innovación tecnológica en Estados Unidos. Aunque la participación nacional en las exportaciones de la Gran Minería del Cobre (GMC) se elevó a 66% durante la década de 1960, se pensaba que el cobre era demasiado importante para el desarrollo de Chile como para que estuviera bajo control extranjero, por lo que se nacionalizó la GMC. Paralelamente, en el año 1962, surgió en Chile un tercer mineral de interés, el litio, cuya historia comienza a partir del hallazgo de la compañía Anaconda Copper, una de las principales empresas mineras de inicios del siglo XX. Durante el período de 1970 al 1982 se realizaron estudios de suelo en el salar de Atacama, con el objetivo de concluir si las condiciones en esa región eran aptas para producir litio. Finalmente, la Sociedad Chilena del Litio (SCL) produjo por primera vez en 1984. Desde 1990 al 2002, el sector minero mostró un dinamismo sin precedentes, resultado de una abundante inversión extranjera [12].

#### **2.4.1 Revisión histórica de la industria del litio**

El litio tiene en Chile un poco más de 50 años de trayectoria. Comenzando desde el hallazgo por la Compañía Anaconda en 1962. Posteriormente a este hallazgo el Ministerio de Minería encargó al Instituto de Investigaciones Geológicas en 1969 la realización de un estudio en el salar de Atacama con el objetivo de conocer su potencial en cuanto a este y recursos hídricos [13]. La investigación fue realizada por A. Moraga, G. Chong y M.A. Fortt, publicada en 1974 considerándose un hito clave que establecía el potencial del salar para producir a un costo inferior a los depósitos de salmuera de los Estados Unidos. En este año, además, el gobierno estableció el Programa de Sales Mixtas en Corfo, el que posteriormente se

transformándose en el Comité de Sales Mixtas. A su vez, la Foote Mineral Company, empresa norteamericana que en ese momento era la mayor productora de litio del mundo, había tomado conocimiento de este nuevo yacimiento y llegó a Chile, confirmando con mediciones propias las altas concentraciones existentes en el país. En 1975 se estableció el primer convenio base con el gobierno de Chile, el que permitió a Foote realizar estudios de factibilidad para producción de litio en el salar [13].

En el año 1977 la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, solicitó y obtuvo 59.820 pertenencias mineras en el salar de Atacama. Luego en octubre de 1979 se promulgó el Decreto Ley 2.886, que declaraba al litio como un recurso del Estado. En este año se confirmó también la posibilidad de producir carbonato de litio en forma económica en el salar de Atacama, a raíz de lo cual el 13 de agosto de 1980 el coronel Rolando Ramos (Vicepresidente Ejecutivo de CORFO) y el presidente del Directorio de Foote William Walsh, firmaron la constitución de la Sociedad Chilena de Litio y produciéndose por primera vez en 1984 [13].

Hoy el litio se posiciona ya como un importante actor del desarrollo económico y social. La participación actual chilena en el total de la producción mundial del litio es del 40%, convirtiéndose en el segundo productor y exportador en el mundo. A la luz de estos resultados, el sector minero es de gran importancia para la región de Antofagasta, tanto como para el resto del país [13].

Entonces, como la demanda por litio está directamente relacionada con el crecimiento mundial, en especial de países desarrollados e industrializados, es importante que se invierta, se busquen nuevas formas de producción, que complementen los beneficios económicos que conlleva la producción, con los esfuerzos que se hacen en generar políticas que eviten un alto impacto medioambiental. Es por ello que aquí se busca abrir el debate hacia esas nuevas prácticas que podría adoptarse [13]. En la Figura 2.1 se observa la línea de tiempo de la industria minera.

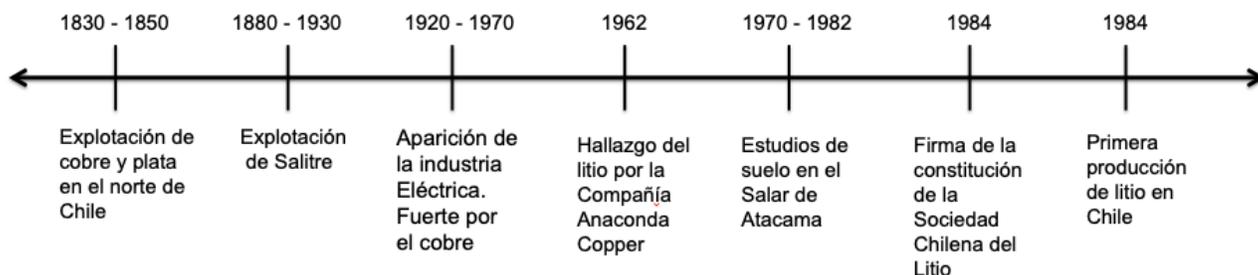


Figura 2.1. Línea de tiempo de la industria minera [12, 13].

#### 2.4.1.1 Situación de la minería no metálica a pequeña escala

La economía nacional basada en la minería del litio, con el crecimiento significativo de los últimos años ha traído como consecuencia que muchos productores, especialmente los pequeños, deseen incursionar en el mercado, rentabilizando positivamente las actividades de las posibles mineras a pequeña escala [13].

Si bien es cierto, actualmente son solo dos mineras a gran escala las que lo explotan en Chile, ambas tienen una única forma de extracción, la cual no han modificado desde la década de los 60 [56]. Debido a esto es posible generar efectos positivos en todos los aspectos, por ejemplo: los ingresos de los habitantes de la región, los ingresos para el país, disminuir el impacto al medioambiente, en especial sobre la pequeña minería.

Lograr cambios significativos en favor de una producción más eficiente en pequeños empresarios no es una tarea fácil y requiere de tiempo para realizarlos.

Afortunadamente, este ciclo de alta demanda del litio se estima que seguirá en aumento en el futuro, por lo que serían un gran aporte para cumplir con esa demanda y mantener el posicionamiento de Chile en el mercado mundial.

### 2.5 Impacto ambiental

La gran mayoría de los ecosistemas del planeta se encuentran en distintas fases de degradación, producto de la acción directa e indirecta del hombre [14] y la minería es una actividad que contribuye notablemente a esta situación, generando ingentes repercusiones en el medioambiente y sus ecosistemas. De forma

contraproducente, en Chile el rol de la minería ha sido y sigue siendo clave para el desarrollo del país, constituyendo la principal actividad económica a nivel nacional, merced a dos grandes industrias mineras, las cuáles son: la extracción de cobre y litio [11]. Justamente por la importancia que tiene el desarrollo de la minería en este país, se hacen necesarios los estudios de impacto ambiental y debido a ello generar medidas de mitigación que los disminuyan.

Durante el siglo XIX y mediados del XX no existía conciencia ambiental, centrándose la explotación en el progreso económico, los ingresos monetarios y la generación de empleo, por sobre el impacto medioambiental, generando contaminación de ríos y mares debido a la descarga de relaves; la disminución del caudal de los ríos debido al requerimiento de agua en actividades mineras, entre otros problemas [14]. Actualmente, y debido a los estudios ambientales, se han tomado medidas relacionado con el impacto que genera la industria minera. Se analizará el impacto de la minería no metálica en términos medioambientales, y más adelante se buscará una solución frente esta problemática.

El litio se extrae en el norte de Chile, en el salar de Atacama. Sus ecosistemas corresponden a desérticos, estos son territorios que se caracterizan por tener ambientes áridos y secos, ocasionado por la escasez de lluvias. Sin embargo, aún existe una amplia variedad de flora y fauna, por ejemplo: guanacos, vizcachas, zorro culpeo, chinchilla, flamenco, colibrí, cactus, llareta, entre otras [15], los que son enormemente afectados debido a las explotaciones en la Región. Algunos de los problemas se mencionan a continuación:

- Impacto sobre el suelo: se relacionado con los cambios en la morfología del lugar debido a la extracción de los materiales. Específicamente relacionado con la extracción de la salmuera, donde se deben realizar grandes perforaciones, además de las pozas de evaporación que concentran las sales.
- Impacto atmosférico: tiene relación con la emisión de gases a la atmósfera. Para la producción de carbonato de litio, hidróxido de litio o cloruro de litio,

son necesarias reacciones químicas, donde algunos de los gases resultantes son liberados a la atmósfera, generando contaminación.

- Impacto sobre las aguas: uno de los mayores impactos que tiene la extracción del litio sobre el medio ambiente es la cantidad de agua que se necesita evaporar para producir una tonelada de carbonato de litio, debido a que es necesario concentrar la salmuera en pozas, lo que ocasiona un descenso del nivel freático del agua subterránea y por ende el descenso de agua de las lagunas cercanas. Se requiere de 1000 litros de agua a evaporar por kilo de carbonato de litio equivalente [15].
- Impactos sobre la flora y fauna: se produce una disminución de especies de flora y fauna debido al impacto atmosférico y sobre las aguas, y estos son imprescindibles para mantener los seres vivos.
- Impacto sobre el paisaje: se produce impacto visual debido a la propia actividad de extracción; en especial ocurre en la minería del litio a partir de salmueras, debido a la cantidad de superficie dentro del desierto que son utilizados para la instalación de las pozas de evaporación.

En esta memoria se propone una nueva metodología que reemplace la evaporación; de esta manera se mejorarían varios aspectos, mencionados anteriormente.

## **CAPÍTULO III BASES TEÓRICAS**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se realiza la investigación bibliográfica relacionada con conceptos y bases que permiten comprender el contexto del presente proyecto.

Para ello, se inicia con la descripción de uno de los dos compuestos que son más importantes en la industria minera del litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$  y  $\text{LiOH}$ ). Posteriormente, se hace una revisión de las distintas técnicas de separación de elementos, en las cuales se fundamentará la solución planteada.

### **3.2 Carbonato de litio**

El carbonato de litio,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , es usado actualmente en diversas industrias, que abarcan desde la psiquiatría, pasando por la cerámica, los vidrios y llegando a utilizarse en la electrónica. En las baterías de ion litio es usado como material de cátodos, además de electrolito [8, 20]. Hace 30 años atrás el uso de carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) era amplio, llegando a consumirse hasta un 90% de este tipo de compuesto. Actualmente su consumo ha disminuido, debido a la masificación de otros tipos de compuestos, principalmente el hidróxido de litio.

### **3.3 Hidróxido de litio**

El hidróxido de litio ( $\text{LiOH}$ ) es un compuesto químico básico e inorgánico y no se encuentra libremente en la naturaleza. Es el único hidróxido alcalino que no presenta polimorfismo [16], y su red tiene una estructura tetragonal, versátil para usar en la síntesis orgánica, porque son bases más fuertes que reaccionan fácilmente [16]. El proceso básico para producir hidróxido de litio es a través de una reacción acuosa de causticación entre cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Este proceso produce aproximadamente 3% en solución acuosa, del cual el hidróxido de litio se obtiene por concentración y cristalización [16]. Es el método que se usa en la minera SQM y Sociedad Chilena del Litio, mediante la siguiente reacción química:



Otra forma con la cual se puede obtener este compuesto es a partir de la reacción del litio con el agua, mediante la siguiente reacción química [16]:



### 3.4 Electrólisis

La conductividad eléctrica es el desplazamiento de la carga eléctrica a través de sustancias que están interactuando, la cual puede producirse de dos maneras diferentes; mediante el flujo de electrones o, en caso contrario, a través del movimiento de los iones, que son partículas cargadas eléctricamente [17]. El primer caso, consiste en el flujo de electrones: ocurre en los metales, a los que se les conoce como conductores de primera clase (movimiento de electrones libres), sin que estos sufran ninguna modificación química. En cambio, en el segundo caso (a través del movimiento de los iones positivos y negativos), ocurre cuando una solución conduce la corriente, pero sufre, alteración química, conocido como conductividad electrolítica. Por ende, la electrólisis es un proceso químico que usa la propiedad de la conductividad eléctrica de las sustancias para generar una reacción de oxidación-reducción no espontánea [17]. Este punto será utilizado cuando se explique la reacción química que ocurre al momento en que el litio debe ser separado y obtenido a partir del cloruro de litio.

### 3.5 Electrodialisis

La electrodiálisis consiste en el suministro de energía eléctrica para generar una fuerza directora que obliga a migrar iones a través de membranas [18]. Los electrolitos son normalmente transferidos desde una solución menos concentrada, hacia una solución más concentrada. Por el compartimento diluido circula una disolución cuyos iones se desea extraer, y por el concentrado, la disolución en la que dichos iones se va a concentrar. Este es un proceso de separación electroquímica, de especies iónicas y otros componentes no cargados de una solución acuosa.

Ha sido ampliamente utilizado en el campo del tratamiento hídrico, desmineralizando y desalando el agua salobre, incluso en algunas zonas del

mundo es el proceso principal para la producción de agua potable, debido también a que los costos que conlleva son considerablemente menores a los procesos existentes [18] (Figura 3.1).

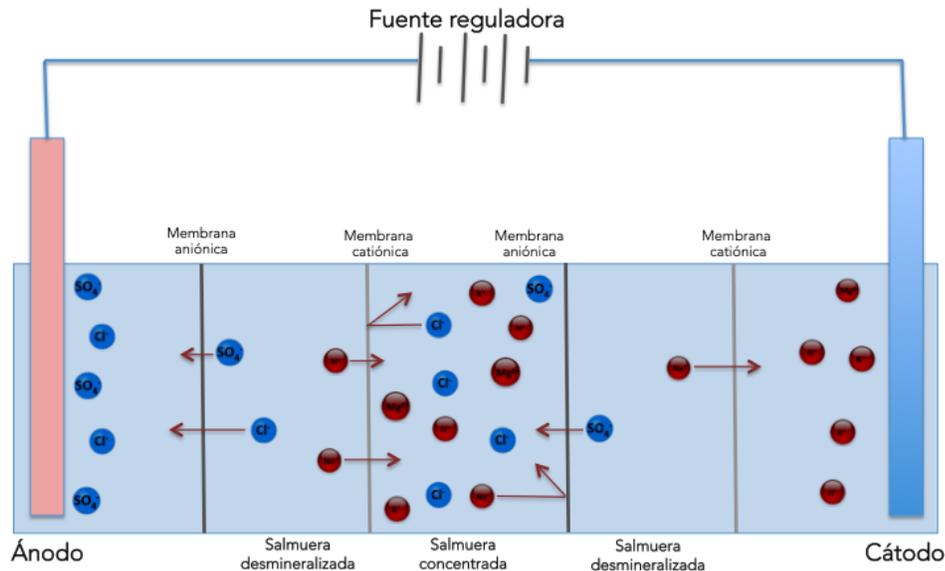


Figura 3.1. Esquema general de la electrodiálisis.

En la imagen observa un sistema que consta de un conjunto de membranas de intercambio catiónico y aniónico espaciadas alternadamente. Los iones son atraídos hacia la membrana cargada con el signo contrario; por ejemplo, los iones de Cloro ( $\text{Cl}^-$ ) hacia el ánodo y los iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) hacia el cátodo.

La principal diferencia entre la electrólisis y la electrodiálisis, es que esta última se basa en hacer circular una solución iónica en presencia de una corriente eléctrica continua; los iones cargados positivamente se desplazan al electrodo negativo, así mismo con los iones negativos, y si se ponen membranas semipermeables (una para cationes y otra a aniones), paulatinamente se va formando una zona de baja salinidad entre las membranas.

### 3.6 Minería a pequeña escala

La minería a pequeña escala puede diferenciarse de la minería a mediana y gran escala por una serie de características, tales como su distribución geográfica, legislación nacional, ejecución de política minera, cantidad de horas trabajadas,

cantidad de mineral producido, etc [19]. Sin embargo, no ha sido establecida, incluso en Chile que es un país minero, una norma que defina en forma única a la pequeña minería, sino que se le da la definición dependiendo de cada estudio. Por ello, durante el desarrollo de este trabajo, se definirá la minería a pequeña escala en base a la producción de carbonato de litio equivalente anual, entre 1000 a 5000 toneladas, considerando aproximadamente 200 hectáreas de salmueras ubicadas en el norte de Chile.

### **3.7 CAPEX**

En los estados financieros se pueden encontrar dos tipos de beneficios; los beneficios contables, que son reflejados en los estados financieros y los beneficios económicos, que se reflejan en el estado de flujos de efectivo. El CAPEX se encuentra siempre en el estado de flujos de efectivo, por actividades de inversión. CAPEX, es el acrónimo de capital expenditure, y es traducido como gasto de capital: son inversiones de capital que crean beneficios futuros en alguna empresa. Es decir, el CAPEX es la cantidad de dinero gastado en la adquisición o mejora de los bienes de capital de una empresa. Éste será negativo, ya que conlleva salidas de efectivos, para la inversión, que pueden ser por ejemplo cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible. Además, la magnitud que tenga este valor también puede indicar en que parte del ciclo de vida se encuentra aproximadamente. Por ejemplo, si la magnitud del CAPEX es muy alta relaciona a una empresa en su fase de inicio, ya que requiere de mucha más inversión en activos fijos como por ejemplo maquinaria, edificios, oficinas, etc. Por otro lado, cuando las empresas no tienen crecimiento el CAPEX será bajo en comparación con los flujos de caja [21]. En el caso particular que se está estudiando, se calculará el CAPEX necesario para comenzar con la operación, se comparará también con el CAPEX requerido al realizar el proceso de producción tradicional.

### 3.8 OPEX

OPEX es el acrónimo de operating expenditure, traducido como gastos operacionales; es decir tiene una relación directa con el costo de las operaciones y servicios. A diferencia del CAPEX, es un costo permanente en el que se tiene que incurrir para el funcionamiento del negocio. Estos gastos son costos en los que la compañía incurre como parte de las actividades regulares del negocio, reflejados en el estado de resultado en los estados financieros [21]. Al igual que en el caso de CAPEX, se analizará el OPEX necesario para el funcionamiento de la operación diaria y se comparará con los OPEX necesarios en las mineras tradicionales, de manera de saber si la nueva metodología mejora o no en este aspecto.

### 3.9 ANÁLISIS INTERNO - EXTERNO

Se describe el sector donde se desarrollará la actividad, su evolución y oportunidades de acceso para nuevas empresas, junto con estudiar y definir el mercado al que será dirigido el producto. Por otro lado, es necesario saber dónde se está, cuáles son los requisitos y barreras que se deben cumplir o pasar respectivamente, a dónde se quiere llegar y para conocer esto, se debe cumplir con lo siguiente [22].

- a) Identificación y tamaño del mercado total del hidróxido de litio
- b) Descripción del grado de madurez que tiene la industria actualmente
- c) Aspectos económicos, medioambientales y tecnológicos.
- d) Estudio y análisis de la competencia
- e) Estudio y análisis de los clientes

### 3.10 CONSUMO DE POTENCIA

Al hacer funcionar el agitador se necesita potencia para mover las palas. Para calcular este consumo de potencia se usa la siguiente ecuación [23]:

$$P = \frac{K_L n^2 D_a^2 \rho}{g} [W] \quad (3.3)$$

donde:

$g$ , aceleración de gravedad  
 $K_L$ , constante de turbinas  
 $n$ , velocidad de giro del agitador  
 $\rho$ , suma de pérdidas de carga

### 3.11 Densidad

Es una medida del grado de compactación de un material o sustancia. Es por tanto cantidad de masa por unidad de volumen [24].

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.4)$$

### 3.12 Energía de Gibbs

La ecuación de Energía de Gibbs indica la espontaneidad para una reacción química. Para que se dé esta condición de espontaneidad  $\Delta G$  debe ser mayor a cero. En caso contrario el proceso no es espontáneo [23].

$$\Delta G = -n\Delta E \quad (3.5)$$

donde:

- $n$ : Número de electrones recibidos y transferidos
- $\Delta E$ : Potencial electroquímico

### 3.13 Bernoulli

El principio de la conservación de la energía, para el flujo de fluidos se define mediante la siguiente ecuación [25, 26]:

$$y_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum \lambda \quad (3.6)$$

donde:

$g$ , aceleración de gravedad

$y_i$ , altura

$\rho$ , densidad del fluido

$v$ , velocidad de un fluido

$\Sigma \lambda$ , suma de pérdidas de carga

### 3.14 Pérdidas de carga primarias

Si se supone una tubería horizontal de diámetro constante, se cumple la siguiente relación [25, 26]:

$$h_r = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} [m] \quad (3.7)$$

donde:

$g$ , aceleración de gravedad

$f$ , factor de fricción

$L$ , longitud de la tubería

$v$ , velocidad de un fluido

$D$ , diámetro de la tubería

### 3.15 Pérdidas de carga secundarias

Son pérdidas debido a elementos singulares de la tubería, por ejemplo, codos, válvulas, etc y que provocan una disipación de energía. La ecuación que las define es [25, 26]:

$$h_s = K \frac{v^2}{2g} [m] \quad (3.8)$$

donde:

$g$ , aceleración de gravedad

$K$ , coeficiente de fricción

$v$ , velocidad de un fluido

### 3.16 Ley de Faraday

La primera ley de Faraday plantea que [25]:

- La cantidad depositada de una sustancia es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa.
- Las cantidades de sustancia depositada son proporcionales a su peso químico.

Y con esos postulados se llega a la siguiente ecuación:

$$M_d = \frac{mm \cdot i \cdot A_t \cdot t \cdot \eta}{z \cdot F} \quad (3.9)$$

donde:

$M_d$ : masa depositada

$mm$ : masa molar del elemento

$i$ : densidad de la corriente

$A_t$ : área total expuesta

$t$ : tiempo

$\eta$ : eficiencia de la corriente

$z$ : número de electrones intercambiados

$F$ : constante de Faraday

### 3.17 Métodos de extracción de litio

#### 3.17.1 Método tradicional

Una de las fuentes de obtención del litio más importantes, antes de que se explotara el contenido en las salmueras, era mediante los minerales. Aproximadamente 145 minerales existentes en la corteza terrestre contienen litio, pero sólo algunos lo poseen en cantidades que son comercializables. Los más conocidos son: espodumeno: su fórmula química es  $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ , Lepidolita:  $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$ , petalita:  $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ , ambligonita:  $\text{LiAlPO}_4\text{F}$ , Eucryptita:  $\text{LiAlSiO}_4$ , Trifilita:  $\text{LiFe}^{2+}\text{PO}_4$ , Zinwaldita:  $\text{KLiFe}^{2+}\text{Al}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ .

De los anteriores minerales, los más importantes desde el punto de vista económico son el espodumeno, la pelatita y la lepidolita. En este sentido cabe destacar el espodumeno, el mineral más abundante rico en litio [27].

En el proceso de extracción, el espodumeno se concentra por flotación [28], hasta que se logra un concentrado de un 3% de litio. Debe ser calcinado con caliza y luego debe ser tratado por procesos de molienda, lixiviación o precipitaciones sucesivas y con un agente tratante se obtiene litio con un alto porcentaje de pureza. Teniendo ya ese mineral se puede obtener carbonato de litio, hidróxido de litio o cloruro de litio. En la petalita y lepidolita el proceso por el que se obtienen los compuestos de litio es similar al del espodumeno. Resumiendo, los procesos químicos de este método son cuatro: tratamiento con ácido sulfúrico, lixiviación, purificación y concentración y precipitación del  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  [27].

En la Figura 3.2 se observa la roca de Espodumeno.



*Figura 3.2. Roca Espodumeno.*

A modo de comparación se destacan las ventajas y desventajas de este tipo de extracción:

#### **3.17.1.1 Ventajas**

- En estos depósitos también se extrae tantalio, mediante el cual el litio es generado como subproducto.
- Actualmente este proceso de extracción se utiliza en las minas de Greenbushes y McCattlin en Australia, y como se ha mencionado anteriormente los países que más consumen el mineral son China, Corea

del Sur y Japón. La cercanía de Australia con los países consumidores puede facilitar y establecer mejores relaciones comerciales, en detrimento de la producción chilena.

### **3.17.1.2 Desventajas**

- La principal desventaja que presenta este método son los altos costos en comparación con el litio que es obtenido de las salmueras, ya que debe pasar por variados procesos químicos adicionales para finalmente obtener los compuestos.
- La concentración de litio en el mineral es generalmente baja, por lo que requiere mayores esfuerzos y procesos, tanto químicos como físicos.

### **3.17.2 Método de Salmueras**

La mayor cantidad de litio en la naturaleza se encuentra en salmueras naturales y no en minerales pegmatíticos [29]. Dependiendo de la cantidad de minerales que posea el litio como potasio, magnesio, calcio, sodio, cloruros, nitratos, etc. variando dependiendo del salar, es el tipo de extracción por salmueras que conviene más utilizar, es decir el tratamiento es específico y de acuerdo a su composición [20]. La extracción del litio de los salares se realiza mediante la perforación de pozos o sondajes que puede alcanzar los 200 metros de profundidad, o incluso más, y de donde se efectúa el bombeo de la salmuera, que es enviada luego a pozas de evaporación en las que se mantienen por un periodo aproximado de 15 a 180 meses, a través de las cuales se obtienen las salmueras concentradas y algunas sales como cloruro de potasio ( $KCl$ ), sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ), Boro ( $B$ ). Como lo que se necesita a través de este proceso es la obtención de litio, se deben separar los demás minerales que contienen las salmueras concentradas, para obtener litio en estado líquido. Este proceso se realiza en plantas de procesamiento, mediante precipitación y agregado de reactivos químicos (ceniza de soda ó  $NaCO_3$ ), el litio se obtiene como carbonato de litio, el cual debe tener una pureza mínima de 99% para que pueda ser comercializado [27]. Para efectos del análisis de este trabajo, se detallará en el Capítulo V la metodología utilizada específicamente en Chile, en el salar de

Atacama, tanto por Soquimich como por la Sociedad Chilena del Litio. En la Figura 3.4 se puede observar el salar de Atacama, de donde son extraídas las salmueras en Chile.



*Figura 3.4.* Salar de atacama, foto de Michelle Carrere [30].

### **3.17.2.1 Ventajas**

- En general, cuando se extrae el litio de las salmueras, estas se encuentran en los salares que están ubicados en lugares donde las condiciones climáticas son áridas, al ser desiertos. Por ende, contribuyen a la evaporación haciendo más simple y económico el proceso de producción de carbonato de litio.
- Teniendo en cuenta el punto anterior, la ubicación privilegiada de las salmueras aminora también los costos de producción respecto a los demás métodos utilizados para la extracción del litio.
- Las salmueras se concentran principalmente en tres países; Chile, Argentina y Bolivia, lo que beneficia a las relaciones internacionales.

### **3.17.2.2 Desventajas**

- Como ocurre también con la minería metálica del cobre, oro, etc, una de las principales desventajas de la explotación del litio por salmueras es el consumo y contaminación de agua, la generación de residuos sólidos y químicos, y por consiguiente el impacto en la flora y fauna.

- Actualmente la manera de obtener hidróxido de litio es a través de carbonato de litio, lo que hace que los costos de producción de este compuesto aumenten.

### **3.17.3 Método de obtención de litio en arcillas**

Además de encontrarse en minerales y en salmueras, el litio también está presente en un cierto tipo de arcillas. Cabe destacar que puede encontrarse como parte de su estructura cristalina, como es el caso de la hectorita (arcillas blanquecinas del grupo de las esmectitas), o bien puede ser el resultado del movimiento de aguas termales o subterráneas [28]. La hectorita es la más común, pero se conocen también otras arcillas que contienen litio. La hectorita contiene un 0.54% de litio y se encuentra en su estructura, habiendo un fuerte enlace entre el litio y el silicio, lo que hace que sea muy difícil romper la estructura de estos fuertes enlaces y por ende no es una opción económica factible para llevar a cabo. Esta arcilla es posible encontrarla principalmente en Serbia, Estados Unidos de Norteamérica y México [28].

#### **3.17.3.1 Ventajas**

- Esta fuente de litio no convencional puede tener un potencial en el futuro, si se desarrollan nuevas aplicaciones que permitan aprovechar los fuertes enlaces que existen entre el litio y el silicio.

#### **3.17.3.2 Desventajas**

- El proceso de extracción de litio a partir de arcillas no es económicamente factible en este momento, debido a que su extracción de la red cristalina complica mucho el proceso.

### **3.17.4 Litio en cenizas de alimentos**

El litio es utilizado para tratar enfermedades psiquiátricas, además puede ser importante en el desarrollo fetal temprano y el funcionamiento correcto de las enzimas, las hormonas y las vitaminas [31, 32], es necesario en el organismo en muy pequeñas cantidades y debe ser aportados por la dieta, por lo que es un mineral que se encuentra en el organismo y que, por ende, también se puede

encontrar en pequeñas concentraciones en cenizas de alimentos y en plantas. El estudio de la nutrición mineral de las plantas ha podido demostrar que el litio se encuentra principalmente en la caña de azúcar, la remolacha, el tabaco, el pepino, la col, el tomate y los champiñones [29].

#### **3.17.4.1 Ventajas**

- Al encontrarse este mineral en alimentos, puede ser consumido directamente, sin la necesidad de consumir suplementos en base a litio.

#### **3.17.4.2 Desventajas**

- No es posible obtener litio que sea de importancia comercial a partir de las cenizas, debido a que la concentración del mineral es mínima.

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA UTILIZADA ACTUALMENTE

Actualmente el 85% de las reservas mundiales de litio en forma de salmueras se encuentran en América del Sur, específicamente en Chile, Bolivia y Argentina. De estos tres países, Chile es que el posee las mejores condiciones para su explotación, debido a que el salar de Atacama permite la extracción de este metal en forma natural mediante la energía solar, gracias a la gran tasa de evaporación por calor, sequedad existente y ausencia de elementos contaminantes, genera que su extracción tenga los menores costos a nivel mundial [33]. A pesar de que Bolivia y Argentina concentran una gran cantidad de este mineral en sus tierras, Chile y Australia son actualmente los dos productores de litio más importantes del mundo, mientras que China, Corea del Sur y Japón los mayores consumidores. En la Figura 4.1, se muestran los mayores productores de litio contenido por país del mundo en el año 2016 [34], debe considerarse que los reportes de la industria se realizan en términos de carbonato de litio equivalente (LCE).



Figura 4.1. Principales productores de litio en 2016 en toneladas.

Fuente: Statista, el portal de estadísticas en portal web [35].

Para saber a cuanto equivale cada tonelada de litio equivalente en cada uno de los compuestos, se presenta en la Tabla 4.1 los factores de equivalencias.

Tabla 4.1

*Factores de equivalencia de compuestos de litio*

	Conversión a <i>Li</i>	Conversión a <i>Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	Conversión a <i>LiOH</i>
Litio	1	5.323	3.448
Carbonato de litio	0.188	1	0.648
Hidróxido de litio	0.290	1.543	1

Información obtenida de Cochilco, presentado en Mercado internacional del litio y su potencial en Chile, en Dirección de Estudios y Políticas Públicas 2017 [6].

A modo de ejemplo, si se quisiera calcular en el caso anterior la producción de carbonato de litio equivalente para cada país, es necesario realizar la siguiente operación:

Caso de Australia

$$\text{producción LCE: } 14.300 \text{ ton} \cdot 5,323 = 76.119 \text{ toneladas de LCE.}$$

Caso de Chile:

$$\text{producción LCE: } 12.000 \text{ ton} \cdot 5,323 = 63.876 \text{ toneladas de LCE.}$$

Caso de Argentina:

$$\text{producción LCE: } 5.700 \text{ ton} \cdot 5,323 = 30.341 \text{ toneladas de LCE.}$$

En el año 2016, Australia fue el mayor productor del mundo con 14.300 toneladas métricas de litio contenido. En este país se obtiene a partir del mineral espodumeno [33], aun cuando tiene reservas inferiores a Chile, un 11%, es el principal productor mundial generado por las inversiones que ha tenido el país durante los últimos años. En segundo lugar, se encuentra Chile, y aun cuando tiene un 52% de las reservas mundiales su participación en el mercado ocupa el segundo lugar con 12.000 toneladas métricas.

Cabe destacar que Chile tiene ventajas significativas para la explotación en relación con Australia, ya que además de contar con un alto porcentaje de las reservas mundiales, también el litio es obtenido en el Salar de Atacama, donde existen altas concentraciones de este mineral, con bajos niveles de impurezas, y la explotación de subproductos como el potasio, permite que sea aún más factible, en términos económicos, por lo que es factible posicionar a Chile como el mayor productor de litio a nivel mundial en el corto plazo [30]. En la Figura 4.2 se presentan los principales países productores de litio en el año 2017. Al igual que en el caso anterior, los valores se encuentran expuestos en toneladas métricas de litio contenido.



*Figura 4.2.* Principales productores de litio en 2017 en toneladas.

Fuente: Statista, el portal de estadísticas en portal web [35].

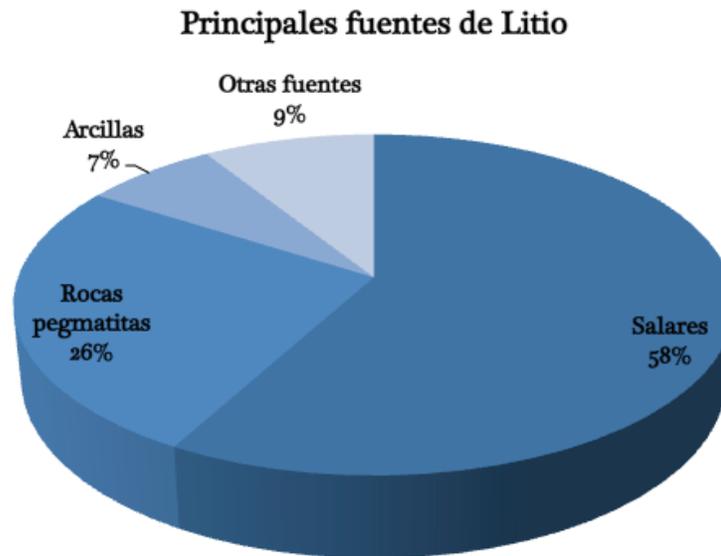
En este año se repite lo del año anterior: el primer país productor de litio fue Australia, con 18700 toneladas métricas, seguido de Chile, con una cifra de 14100 toneladas métricas, ambos países lideran la producción mundial,

De un año a otro, se ve como la cantidad de litio producida por Australia y Chile aumentaron, en un 30.8% y un 17.5% respectivamente. Lo anterior, implica que la

participación de mercado de Chile se disminuyera de 37.6% en 2016 a 32,8% en 2017; y la de Australia aumentara, desde 36.8% a 43.5% en el mismo lapso.

Existen variadas fuentes en las que se encuentra presente el litio en la corteza terrestre, tales como en minerales, salmueras, arcillas, océanos e incluso en cenizas de algunos alimentos [7], lo que se ha sido detallado en la sección Bases Teóricas.

En la Figura 4.3 se muestran las principales fuentes de litio.



*Figura 4.3.* Principales fuentes de litio. Obtenido de Cochilco presentado informe mercado internacional del litio y su potencial en Chile (2017) [7].

Sin embargo, a pesar de que existen variadas fuentes, actualmente son solo dos procesos económicamente factibles: extracción mediante salmueras y minerales. En resumen, el proceso por el que pasa el mineral hasta obtener hidróxido de litio se muestra en la Figura 4.4. Una vez repasado el contexto general, se procede a explicar el método que se utiliza específicamente en Chile para la extracción.

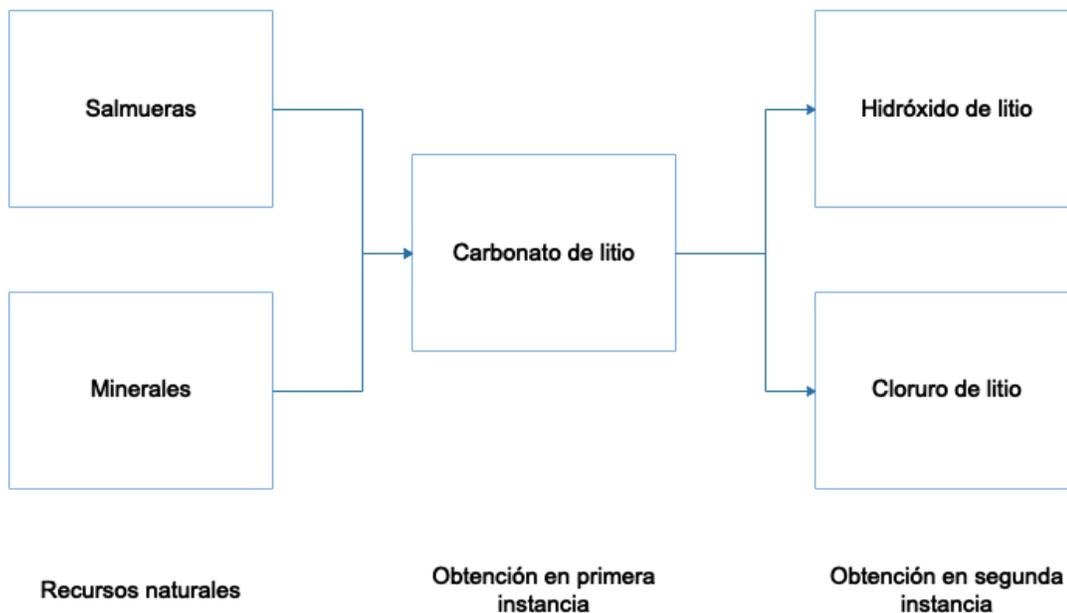


Figura 4.4. Obtención de los compuestos en las diferentes etapas. Información obtenida de Cochilco presentado en informe *mercado internacional del litio y su potencial en Chile* [7].

La metodología que se utiliza actualmente para obtener hidróxido de litio a partir de salmueras en el norte de Chile, específicamente el salar de Atacama, consiste en lo siguiente: la salmuera es extraída desde el salar, la que luego se concentra en estanques de evaporación, donde es depositada en dos fases para eliminar las impurezas [36]. En el primer lugar se precipita agua y además de otros compuestos (por ejemplo, el cloruro de sodio); luego es llevada a la segunda fase de concentración de salmuera mediante evaporación. La salmuera en este salar contiene aproximadamente 1,5 g. de litio por cada litro de salmuera (según información de Sernageomin). Por lo tanto, conociendo la densidad de este elemento es de  $1.23 \frac{g}{mL}$ , se calcula el porcentaje de litio en la salmuera contenida en el salar de Atacama utilizando la ecuación (3.4), de la siguiente manera:

$$1.23 \frac{g}{mL} = \frac{1,5g}{x}$$

$$x = 1.22 \text{ g de } \frac{Li}{kg} \text{ de salmuera } \text{ ó } 0.122\% \text{ de Li.}$$

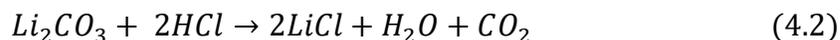
Lo que indica que existe 0.00122 kilogramos de litio por cada kilo de salmuera, un 0,122% de concentración. Debe mencionarse que el litio existente se encuentra en forma de cloruro.

Luego del proceso de evaporación, que dura aproximadamente un año, se logra llegar a concentrar el litio hasta valores del orden de 4.5% a 5.5% de Li, la salmuera purificada, se filtra para separar los sólidos suspendidos.

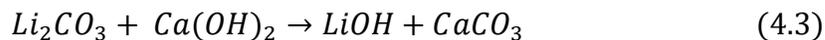
El proceso posterior consiste en la producción de carbonato de litio. Esto se hace en la planta química y consiste en carbonatación, precipitación y secado de los cristales. Se añade a la solución carbonato de sodio y cal, con lo que es posible eliminar los restos de magnesio y calcio que quedan de la evaporación. La salmuera que queda reacciona con carbonato de sodio y se obtiene el carbonato de litio a través de la siguiente reacción [37]:



Una vez realizado todo ese proceso, es posible proceder a la reacción para generar hidróxido de litio o cloruro de litio, para lo cual existen las respectivas plantas, en las que se realizan las reacciones' necesarias. El cloruro de litio se produce mediante el agregado de ácido clorhídrico al carbonato de litio, donde se obtiene [37]:



Finalmente, para el caso del hidróxido de litio se le debe agregar al carbonato de litio hidróxido de calcio, y la ecuación es la siguiente [37]:



Con lo que finalmente el proceso concluye, pudiendo obtener mediante la extracción de salmuera desde el salar de Atacama, los tres compuestos de mayor interés de la industria.

Durante el proceso que se ha explicado, se obtienen también sales de descarte, que no serán utilizadas, y que son acopiadas hidráulicamente en rumas de sal. Parte de esta salmuera es reinyectada de manera directa al salar y otra parte e

drenada, de manera natural, hacia la napa recirculando al sistema. Sin embargo, el porcentaje de agua que se recupera es menor al 10%, puesto que la gran mayoría se evapora y en todo este proceso, por cada tonelada de mineral extraído se eliminan, vía evaporación, cerca de un millón de litros de agua [46]. En la Figura 4.5 se muestra el proceso por el que debe pasar la salmuera.

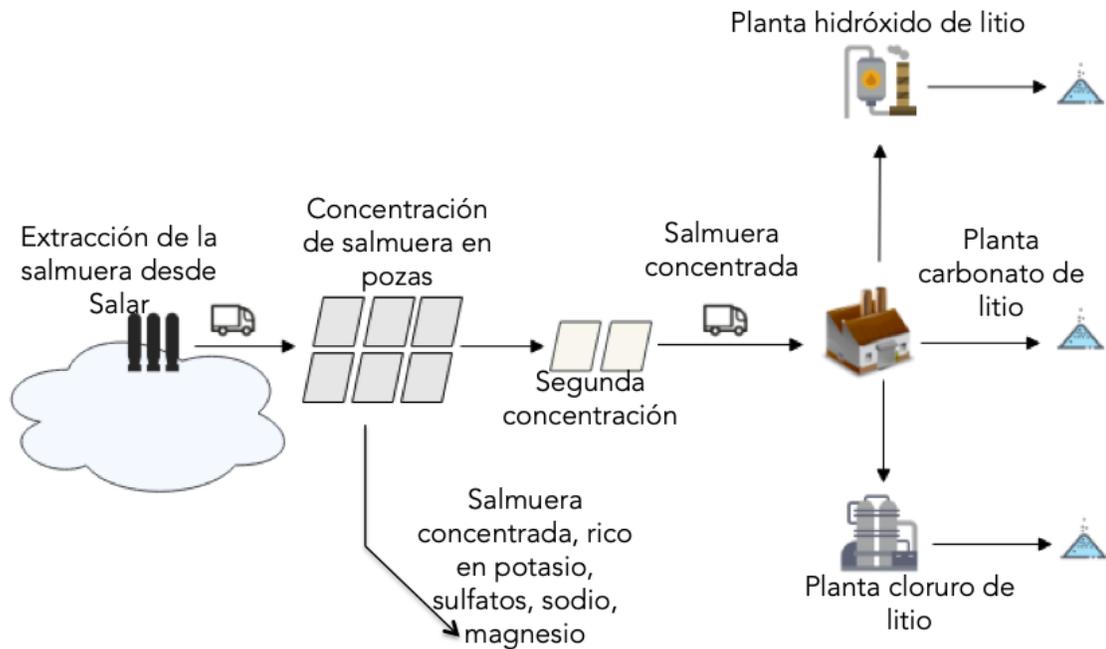


Figura 4.5. Procesos de compuesto de litio, información obtenida del portal web de Soquimich.

Existen en Chile varios salares (aproximadamente 52), repartidos entre 105.000  $km^2$  de desierto [46], siendo candidatos para la extracción de litio. La mayoría se encuentran ubicados en las II y III Regiones de Antofagasta y Atacama, a excepción del salar de Surire, que se encuentra en la I Región de Arica y Parinacota. Con el objetivo de poder comparar la cantidad de gramos de este metal por cada litro de salmuera, en la Tabla 4.2 se presenta el valor aproximado de litio contenido en algunos salares que posee Chile.

Tabla 4.2

*Especificación de la composición de salares en Chile*

Salar	Superficie del salar [Km <sup>2</sup> ]	Concentración de litio [ $\frac{g}{L}$ ]	Reservas estimadas [Ton litio]
Salar de Atacama	3.000	1,22	6.300.000
Salar de Maricunga	145	1,05	540.000
Salar de Pedernales	335	0,35	375.000
Salar de Punta Negra	250	0,28	220.000
Salar de la Isla	156	0,55	270.000
Salar de Aguilar	71	0,3	70.000
Salar las Parinas	40	0,35	50.000
Salar de Surire	144	0,4	180.000

Información obtenida de Corfo presentado en Comité de Sales Mixtas, Sernageomin, DGA [39].

Se buscará producir hidróxido de litio a partir de la salmuera contenida en el Salar de Atacama, ya que es la fuente más rica de litio en Chile y cubre un terreno de 3.000 Km<sup>2</sup>.

La composición química que tiene específicamente este Salar de Atacama, se expone en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3

*Especificación de la composición del Salar de Atacama*

Componentes	[ $\frac{g}{L}$ ]	% masa
Sodio	93.18	7.6
Potasio	22.00	1.87
Magnesio	14.40	0.93
Calcio	0.36	0.03
Sulfatos	21.8	1.78
Cloro	198	16.0
Boro	1.1	0.1
Litio	1.5	0.122

Información obtenida de Corfo presentado en Comité de Sales Mixtas, Sernageomin, DGA [39].

## CAPÍTULO V METODOLOGÍA PROPUESTA

### 5.1 Metodología de la electrodiálisis

La electrodiálisis es una técnica basada en el transporte de iones a través de membranas selectivas bajo la influencia de un campo eléctrico. Mediante este proceso se consigue separar iones o moléculas cargadas. La concentración de los componentes de la alimentación se basa en la migración eléctrica a través de membranas iónicas. El proceso que tiene lugar es el siguiente: cuando se aplica una diferencia de potencial los cationes son atraídos por el cátodo o electrodo negativo, lo que da lugar a una reacción de reducción, en este caso el cátodo sería el cloro ( $\text{Cl}^-$ ). Los aniones son atraídos por el ánodo o electrodo positivo, lo que da lugar a una reacción de oxidación en este caso los ánodos serían el Hidrógeno( $\text{H}^+$ ), el Sodio( $\text{Na}^+$ ) y el Litio( $\text{Li}^+$ ). Las membranas de transferencia catiónica sólo permiten el paso de los cationes y las membranas de transferencia aniónica sólo permiten el paso de los aniones. Para realizar el proceso de electrodiálisis, se utiliza la energía eléctrica. En este sentido la diferencia principal con la electrólisis es que, como se puede observar, la electrodiálisis es capaz de eliminar variados elementos que componen una salmuera. En la Figura 5.1 se muestra el proceso

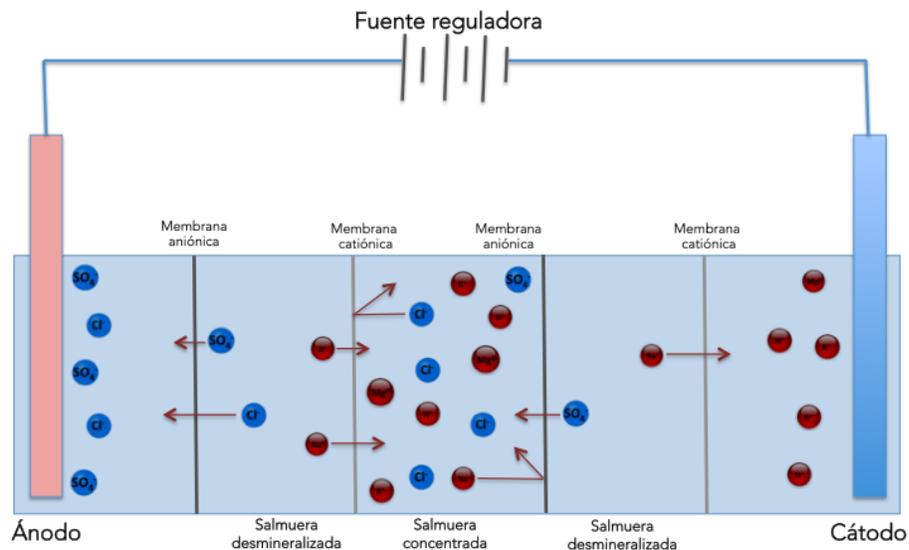


Figura 5.1. Esquema general de la electrodiálisis.

## 5.2 Metodología de la electrólisis

Existen una gran cantidad de procesos que se utilizan para separar sustancias con el objetivo de obtener como resultado sustancias más puras. En esta búsqueda se ha encontrado la electrólisis. Éste es un proceso químico que genera una reacción de oxidación-reducción, es la separación de elementos químicos por acción de la electricidad [47, 48]. Es importante definirla claramente debido a que es la forma en la que se obtiene el litio de alta pureza, ya que este elemento no se encuentra libre en la naturaleza. La reacción que ocurre es la siguiente.



A continuación, y con el objetivo de hacer más simple el entendimiento del proceso que ocurre, en la Figura 5.2 se muestra la forma en la que se obtiene el litio puro a partir de cloruro de litio, mediante la electrólisis, en este caso se debe hacer pasar una corriente eléctrica mediante una batería con un cable conectado al lado positivo (ánodo) y otro al negativo (cátodo). Primero se prepara una solución salina que tenga un pH básico, por el tipo de reacción para que se logre conducir la electricidad [48], luego se introduce el compuesto cloruro de litio a una celda electrolítica, se instalan ambos cátodos, uno selectivo a litio y otro selectivo a cloro.

Mediante una reacción química que no es espontánea, los cationes del litio serán atraídos al lado negativo y los aniones de cloro al lado positivo, tal como si se simulara un imán y con este proceso químico se obtienen litio metálico puro y cloro gaseoso. También es interesante notar que en la electrólisis el ánodo es positivo y el cátodo es negativo.

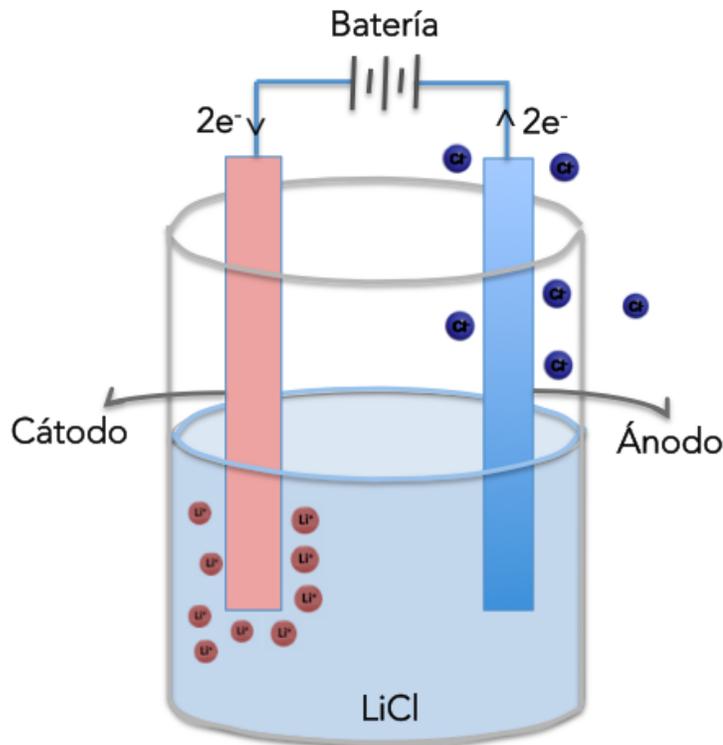


Figura 5.2. Electrólisis del cloruro litio.

### 5.3 Metodología propuesta

Una vez expuestas las principales bases en las cuales se fundamentará esta nueva metodología, se procederá a realizar el análisis correspondiente.

Con la electrólisis es posible obtener el elemento Li, que no se encuentra libre en la naturaleza, sin embargo, existe otro proceso que es de mucha relevancia también, debido a que con este se hace posible sustituir la evaporación, el cuál es la electrodiálisis. La metodología que se propone en este trabajo de investigación se basa justamente en la electrodiálisis y consiste en utilizar una celda electroquímica con dos electrodos, uno selectivo a aniones, el otro selectivo a cationes, además se le instalarán también membranas de intercambio de iones. La salmuera, que contiene cloruro de sodio, potasio, magnesio, sulfuro, cloruro de litio, boro, entre otros elementos y compuestos, se introduce a la celda química y por efecto de la corriente eléctrica que será suministrada, los iones son atraídos hacia los electrodos correspondientes. Las membranas de intercambio solo permiten el paso de iones con los que son afines. Debido a este fenómeno se

generan dos tipos de soluciones, una que está desmineralizada y la otra que está concentrada. Gracias al fenómeno que ocurre, en la solución concentrada también aumenta la concentración de litio, esto es justamente lo que se realiza con el proceso físico de la evaporación, es por ello que la electrodiálisis permitiría reemplazarla [48].

En esta primera etapa lo que se rescatará será la solución concentrada y lo demás será devuelto a la salmuera. De manera que quede representado de manera clara a continuación en la Figura 5.3 se presenta la imagen de cómo trabaja la electrodiálisis.

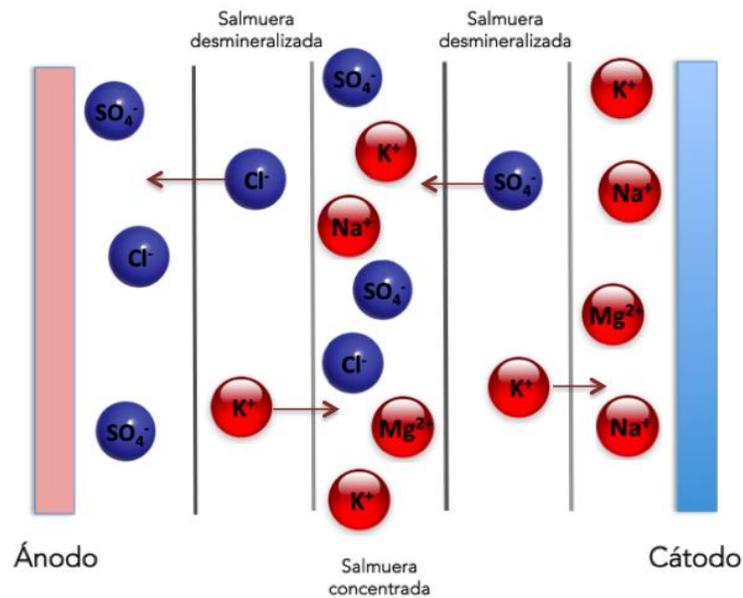


Figura 5.3. Proceso de concentración de salmuera mediante electrodiálisis.

La segunda etapa de este proceso continúa con la solución desmineralizada que es devuelta a la salmuera y se continúa el tratamiento con la salmuera concentrada.

Para esto, se utiliza una segunda celda electroquímica, esta vez con dos electrodos, uno selectivo a iones de litio y el otro selectivo a iones cloruro, donde es extraído el litio puro por efecto de electrólisis, el que se adhiere al electrodo por electrodeposición. La electrodeposición será el método mediante el cual se

depositará el metal litio sobre la superficie conductora del electrodo selectivo a litio. En esta etapa, el cloro es producido como subproducto, en este sentido es importante tener en cuenta que una de las formas de producir cloro es mediante la electrólisis [49]. Sin embargo, su transporte, almacenamiento, manipulación y uso presenta una serie de inconvenientes, debido a su alta toxicidad obliga a establecer importantes sistemas de seguridad [49] para prevenir intoxicaciones en caso de fugas. Es por ello que, al producirse como subproducto, es importante considerar estos niveles de seguridad, sin embargo, hay que tener presente que posiblemente con este método, será posible también obtener cloro. Esta segunda etapa trabaja de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 5.4.

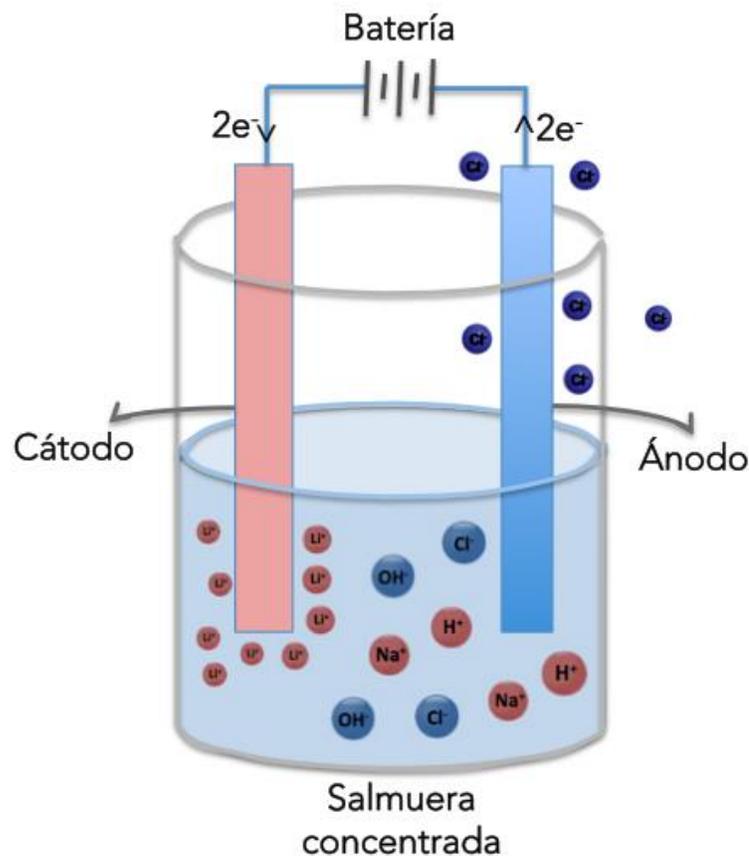


Figura 5.4. Proceso de obtención de litio por electrólisis en salmuera concentrada.

El litio adherido se extrae del electrodo en estado sólido. La reacción que ocurre dentro del estanque por efecto de la electrólisis es la siguiente:

Reacción global:  $2LiCl \rightarrow 2Li + Cl_2$

Cátodo:  $2Li^+ + 2e^- \rightarrow 2Li$

Ánodo:  $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + e^-$

El potencial electroquímico de las ecuaciones, a presión y temperatura constante (ambiente), se mostrarán a continuación para cada ecuación:

Cátodo:  $2Li^+ + 2e^- \rightarrow 2Li$   $- 3.05 V$

Ánodo:  $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$   $- 1.36 V$

La reacción global se obtiene de la siguiente manera:

$$2Li^+ + 2e^- \rightarrow 2Li \quad - 3.05 V$$
$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^- \quad - 1.36 V$$

---

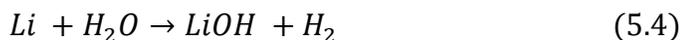
$$2LiCl + 2e^- \rightarrow 2Li + Cl_2 + 2e^- \quad - 4.41 V$$

Reemplazando en la ecuación (3.5) se obtiene:

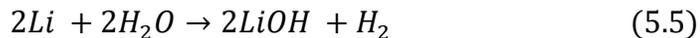
$$\Delta G = 17.64 J$$

Debido a que la diferencia de potencial es positiva, la reacción anterior para la separación del cloruro de litio no es espontánea, por lo que es necesario utilizar celdas electroquímicas y agregar 4.41 V para que la reacción pueda ocurrir, los cuales se agregan mediante electricidad. Cabe considerar, también, que es fundamental la utilización de un electrodo selectivo a litio y otro selectivo a cloruro para que acepte la cantidad de voltaje requerido. Con esta segunda etapa de la metodología propuesta se ha obtenido litio puro, por lo que se prosigue con el proceso de obtención de hidróxido de litio [50].

Como el litio pertenece al grupo I de la tabla periódica, es un metal alcalino muy reactivo, y al combinarse con agua, es posible formar hidróxido de litio junto con el gas hidrógeno, de acuerdo a:



La ecuación anterior es necesario balancearla, quedando:



En este caso, el hidrógeno es producido como subproducto, por lo que se hace necesario tener en cuenta que, en presencia de aire, debe manejarse con mucha precaución, debido a que el oxígeno es un comburente con el cuál el hidrógeno tiene gran afinidad. Ambos se combinan en frío muy lentamente, pero en presencia de una llama o de una chispa eléctrica lo hacen casi instantáneamente, y además acompañado de explosión [50]. Como este elemento no se requerirá en los pasos posteriores, será eliminado, almacenándolo en tanques de hidrógeno. Si mediante este procedimiento existiera una fuga o algún otro tipo de problemas relacionados, no supondría un gran problema, ya que en condiciones normales el H<sub>2</sub> junto con el O<sub>2</sub> forman vapor de agua. Además, el hidrógeno existe naturalmente en la atmósfera, y por lo tanto, el gas se disipará rápidamente en áreas bien ventiladas. En el único caso en el que esto puede ser riesgoso, sería en presencia de llama o chispa eléctrica, tal como se indicó en un comienzo.

En la ecuación balanceada de la combinación de litio puro y agua, se obtiene entonces el compuesto buscado: hidróxido de litio, y además se libera hidrógeno a la atmósfera. Esta reacción se da en condiciones de temperatura y presión normales. Se observa además de la reacción, que teóricamente serán requeridos 2 moles de agua por cada 2 moles de litio que se hagan reaccionar, de lo cual se obtendrán 2 moles de hidróxido de litio y 1 mol de hidrógeno. De acá se puede calcular cuántos litros de agua se necesitarán por cada tonelada de litio producida:

- Masa molar Li:  $6.941 \frac{g}{mol}$
- Masa molar del H<sub>2</sub>O:  $18.02 \frac{g}{mol}$ 
  - Masa molar del hidrógeno diatómica:  $2.02 \frac{g}{mol}$
  - Masa molar del oxígeno diatómico:  $16.00 \frac{g}{mol}$
- Masa molar del hidrógeno diatómico:  $2.02 \frac{g}{mol}$
- Masa de litio producida:  $1.00 \frac{g}{mol}$

- Densidad del H<sub>2</sub>O:  $1.00 \frac{kg}{L}$

En primer lugar, se necesita saber cuántos moles de litio son 1000 kilogramos:

$$1000000g \times \frac{1 \text{ mol}}{6,941 \text{ g}} = 144071,46 \text{ moles}$$

Por cada mol de litio se necesita un mol de agua. Por lo tanto, por cada tonelada de litio se necesitarán 144071,46 moles de agua, lo que en gramos sería

$$144071,46 \text{ mol} \times \frac{18,02 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 2596167,69 \text{ gr}$$

O lo que sería equivalente a decir 2596 kg. La densidad del agua es  $1.00 \frac{kg}{L}$ . Por lo tanto, son necesarios 2596 litros de agua por cada tonelada de litio producido. Al contrastarlo con la metodología actual en la que, por cada tonelada de mineral se eliminan, vía evaporación, cerca de un millón de litros de agua [47], se evidencia la disminución del impacto ambiental que genera la producción de hidróxido de litio a través de la electrodiálisis. Continuando con el proceso, en la primera etapa fue obtenido el litio puro, en la segunda etapa se le hidrata agregando agua, por lo que el paso final, como la reacción no tiene un 100% de eficiencia, esta es filtrada para eliminar las impurezas y finalmente obtener el hidróxido de litio. En la Figura 5.5 se observa la imagen que muestra todo el proceso, desde que se obtiene la salmuera hasta finalmente llega al hidróxido de litio.

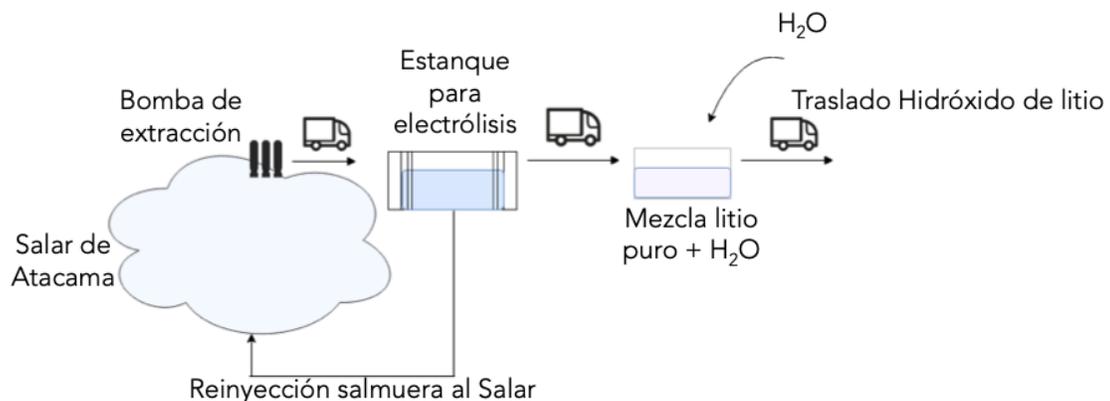


Figura 5.5. Proceso de obtención de hidróxido de litio.

Por otro lado, como punto extra, con este mismo método, es posible realizar un procedimiento similar para la obtención de cloruro de litio, que también generado actualmente como subproducto del carbonato de litio. Este proceso sería el siguiente: utilizar un celda electroquímica con dos electrodos, uno selectivo a iones litio y el otro selectivo a iones de cloro. En una primera fase, la salmuera es depositada en el estanque y se pasa una corriente eléctrica por la cual se extraen los iones litio y cloruro en electrodos opuestos. Luego, en el segundo paso, la salmuera es reemplazada por una solución de cloruro de litio de recuperación, se invierte la polaridad de los electrodos y se elimina el cloruro y el litio que no se utilizará, de forma que la solución se enriquece de cloruro de litio. Con el objetivo de representar más claramente lo que ocurre en el proceso, se muestra en la Figura 5.6 la obtención del cloruro de litio.

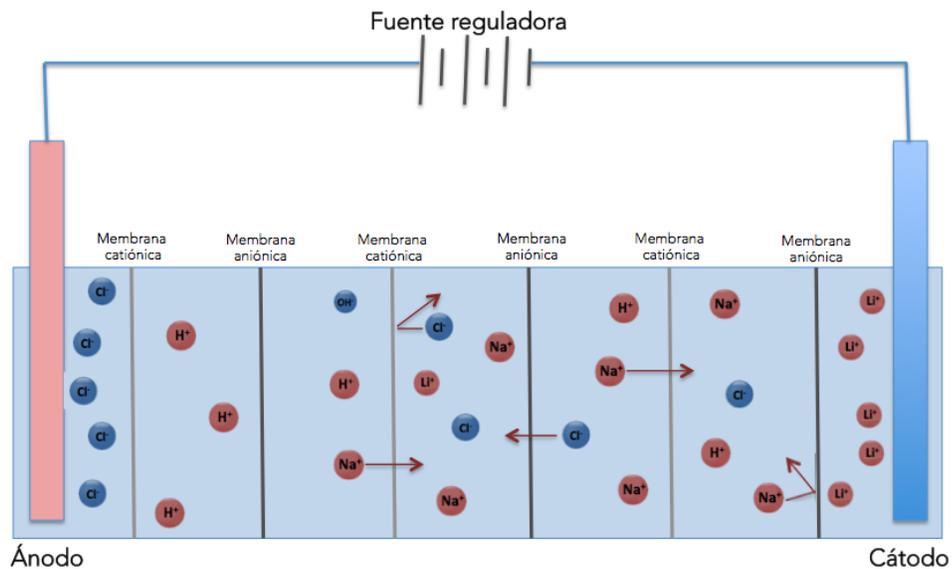


Figura 5.6. Proceso de obtención de cloruro de litio.

En resumen, el proceso que se está proponiendo en este trabajo es el siguiente:

- Se debe iniciar con una perforación de un pozo en el salar para encontrar los depósitos de salmueras a una profundidad de aproximadamente 30 metros, la cual es posible extraerla por sistema de bombeo.
- La salmuera, en vez de pasar por pozas de evaporación, es vertida a un reactor - estanque, donde tiene un electrodo afín con los aniones y otro con

los cationes, aquí se logra concentrar hasta obtener aproximadamente un 5% de concentración de litio.

- La salmuera se verte en una segunda celda electroquímica, en la que se obtiene litio puro por efecto de la corriente eléctrica.
- Este se extrae y finalmente, gracias a la reacción que se genera al agregar agua pura, es posible obtener el hidróxido de litio.
- La aplicación de la producción de hidróxido de litio a partir de salmueras se basa en una estructura metodológica definida y general como para ser desarrollada en diversos yacimientos, tanto en la minería a pequeña escala, que es en lo que se enfocará el trabajo, como en la minería a gran escala y es una metodología limpia ya que no se requieren de reactivos.

#### **5.4 Materiales a utilizar**

En esta subsección se especificarán los materiales que se deben utilizar para la construcción del sistema completo dentro de una minera que aplicaría esta solución. En primer lugar, será requerida la construcción de un estanque, que cumplirá la función de ser una celda electrolítica donde se almacenen la salmuera que será sometida a electrodiálisis dentro del mismo. Para poder realizar este proceso, es necesario tener en cuenta qué materiales se necesitarán, y de esta forma considerarlo también dentro de la inversión inicial. Para el caso, serán requeridas membranas catiónicas y aniónicas. En este tipo, la separación es consecuencia de la carga de la membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana.

Se debe ubicar un cátodo y un ánodo en cada extremo de la celda, por lo que resulta imperativo utilizar un material metálico, ya que estos son buenos conductores del calor y de la electricidad, son sólidos en temperaturas normales, a excepción del mercurio, además son maleables, lo que permite que se extiendan para formar láminas o planchas [51], que son las que se utilizarán para las membranas. En este caso, se utilizará el metal cobre (Cu) por ser un buen conductor de electricidad, además de ser resistente al óxido y tener gran resistencia a la corrosión [52], con lo que se evitarían ciertos problemas que

podrían presentarse dentro del estanque. La tercera razón de la elección de este material es debido a que la reacción genera un  $\Delta E > 0$  [23], que indica que el cobre es capaz de aguantar esa cantidad de energía suministrada, sin disolverse en la celda.

Será requerido también un agitador, ya que debe provocarse una turbulencia para incrementar la remoción de sales con un número de Reynolds lo más alto posible. Para esto se utilizará un motor que sea para un envase de 5000 a 8000 litros que tiene una potencia de 160kW o 215 HP, además de una salida de flujo diluido, una salida de flujo concentrado, una salida de flujo para recirculación y una entrada de flujo de salmuera, y una batería o fuente reguladora. Finalmente se necesitará un motor para la salida de salmuera diluida, ya que se deberá llevar de vuelta al Salar. A continuación, es posible observar en la Figura 5.7 una imagen que muestra la forma en la que será instalada la planta.

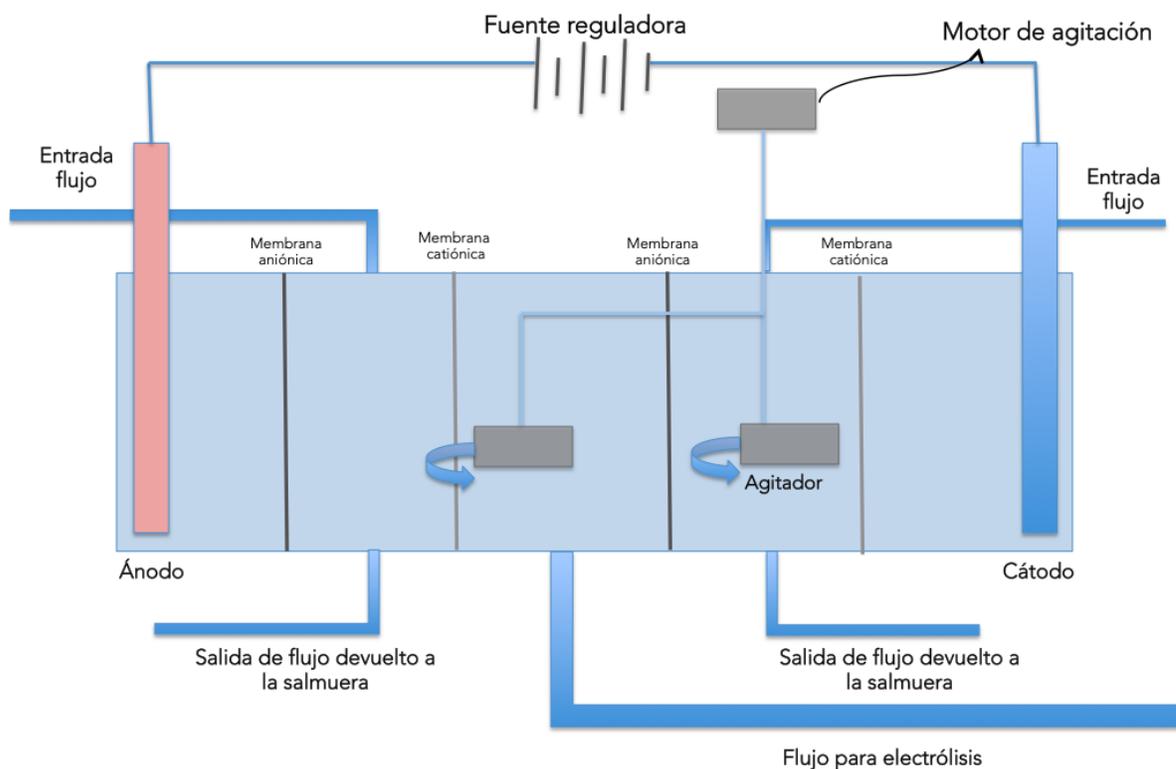


Figura 5.7. Diseño celda electrolítica de concentración de salmuera mediante electrodiálisis.

La potencia eléctrica, que representa uno de los mayores costos, es proporcional al voltaje multiplicado por la intensidad, aun manteniendo 1 ampere, por ello el caudal es muy importante. Hay que tener en cuenta también que siempre, en cualquier tipo de procesos, el rendimiento se ve disminuido por ciertos factores. Es por ello que se considerará un rendimiento del sistema de un 95%, donde las pérdidas son bajas y casi toda la corriente hará su trabajo. Ese 5% es energía que puede perderse por varios aspectos, dentro de los cuáles se destacan:

- Disipación por calor: cada vez que hay transmisión energía eléctrica se produce de calor, por lo que cuando este se disipa existe una baja en la temperatura del proceso, puede deberse, por ejemplo, a que la temperatura ambiente es menor y a través de la convección se traspasa el calor desde lo más caliente a lo más frío, tratando de regularse [53].
- Las membranas no son 100% selectivas: las membranas de intercambio iónico no son perfectas, y por consecuencia, los cationes que deberían dejar pasar solo las moléculas que se encuentran cargadas positivamente, dejan pasar por error algunas moléculas cargadas negativamente, lo que hace que la eficiencia disminuya. Lo que puede generar que la concentración de litio en la salmuera disminuya y que finalmente la eficiencia de la electrólisis disminuya, obteniéndose menor cantidad de producto del requerido [54].
- Polarización: éste es un fenómeno que ocurre en todas las membranas y que también hay que considerar debido a que es una complicación que se puede encontrar al realizar este tipo de procesos. Parte del disolvente puede atravesar la membrana, pero con el movimiento se arrastran moléculas o iones, que no pueden atravesarla. Esto genera que la concentración de soluto sea mayor, más cerca de la superficie de la membrana, al ser comparado con el fluido más alejado de la superficie de la membrana y por ende se produce un flujo disfuncional [55]. A continuación, en la Figura 5.8 se representa gráficamente lo que ocurre, de manera que

se pueda entender de mejor forma.

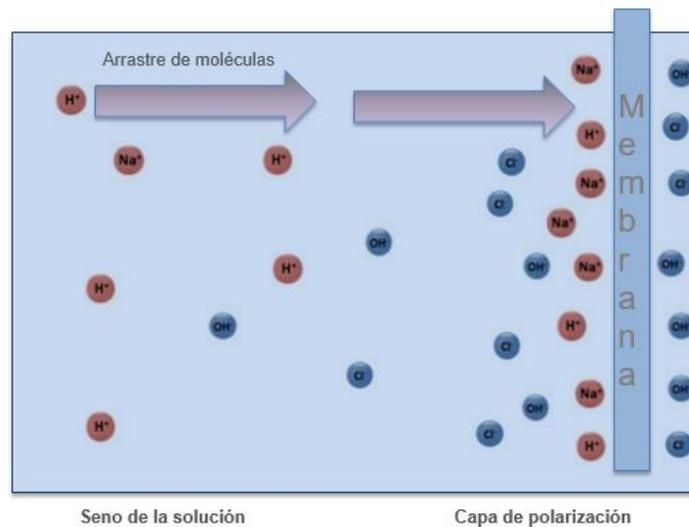


Figura 5.8. Polarización de la membrana de intercambio.

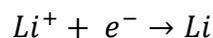
- Contra potenciales por diferencia de concentración: se están pasando sales de un fluido poco concentrado a un líquido muy concentrado, lo que va en contra de la naturaleza ya que ésta siempre va en dirección al equilibrio. Se pasan las sales de los fluidos más concentrados a los fluidos menos concentrados, por lo que se está haciendo el trabajo contrario. Parte de esas sales que ya han pasado se disuelven y pasan otra vez, porque el proceso natural de ósmosis va en contra del proceso realizado [55].
- Fugas directas desde el colector: Al momento de ingresar la salmuera al colector, puede ocurrir que exista una pequeña abertura indeseada, a través de la cual el contenido pueda escapar, esto también puede ocurrir en otras etapas del proceso, como a la salida del colector o en la recirculación [55].

#### 5.4.1 Parámetros del diseño de celda

- Número de Reynolds: Anteriormente se ha mencionado, a grandes rasgos, que es necesario tener un número de Reynolds lo suficientemente alto para que llegue a ser un fluido turbulento, debido a que el volumen de fluido movido por el agitador debe llevarse hasta las partes más remotas del estanque. En este sentido y para que se cumpla esa condición, no es

suficiente con mantener una velocidad de circulación acorde y por esta razón se opta por tener un motor de agitación. Para que el fluido sea turbulento, el número de Reynolds debe ser superior a 4000 [25, 26].

- Pérdida de carga en tuberías: El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo [25]. Existen dos tipos de pérdidas de carga, las cuales estarán presentes en este diseño de estanque, las pérdidas primarias debidas a la fricción del fluido contra sí mismo y contra las paredes de la tubería rectilínea, serán vista cuando el fluido salga y entre al estanque, y además en el momento en que se recircula. En este caso el flujo será uniforme, porque la sección es constante y conocida, de la misma forma en la que la velocidad es constante, y por ende debe aplicarse la ecuación de Bernoulli [25, 26].
- Las pérdidas secundarias son debidas a los codos, estrechamientos, válvulas, etc. y también se encontrarán en la unión de los tubos de salida, entrada y la recirculación.
- Diseño del agitador: El número de palas del agitador será 8 de manera que se logre cumplir con los requerimientos de agitación del fluido. Además, se colocará el agitador más bajo en el tanque, para que de esta manera comience agitando desde abajo y el movimiento sea más eficiente.
- Consumo de potencia: Al hacer funcionar el agitador se necesita potencia para mover las palas. Para calcular este consumo de potencia se utilizará ecuación definida en la *Sección II: Bases teóricas*. Cabe destacar, además que se requerirá consumir potencia para que la reacción in situ sea realizada, ya que se instalarán dos electrodos en la celda electrolítica. Para que esta reacción sea efectiva, es necesario calcular la potencia requerida.



En este estudio, resulta fundamental conocer el comportamiento dinámico del proceso para así optimizar sus condiciones de operación y de esta forma hacer el

sistema viable técnicamente. Los datos que son necesarios conocer se mostrarán detalladamente en la Tabla 5.2 presentada a continuación. Cabe destacar que estos valores fueron obtenidos tanto por cálculo, como usando la bibliografía o tablas disponibles. Los datos que fueron calculados se presentan detalladamente en el **Anexo A: Cálculos Hidráulicos**, y para ello se utilizaron las ecuaciones definidas en la *sección 5.4.1 parámetros del diseño de celda*.

Como fue mencionado dentro de las limitaciones del estudio, los datos tales como la viscosidad o la densidad de la salmuera han sido obtenidos tanto desde la bibliografía [56], como de información entregada por ingenieros que trabajan en estos salares, otros datos tales como el caudal, diámetro, tamaño de la tubería, etc. han sido definidos, y con éstos, calculados los datos incógnitos, todos presentados en la sección de Anexos.

Tabla 5.2

*Datos del proceso*

Símbolo	Definición	Unidad	Valor
$Q$	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	0.000166
$\rho$	Densidad del fluido	$\frac{kg}{m^3}$	1052
$\mu$	Viscosidad	$Pa \cdot s$	$1.6 \times 10^{-3}$
$v$	Velocidad del fluido	$\frac{m}{s}$	0.033
$\emptyset$	Diámetro de la tubería	$m$	0.0254
$A$	Área de la tubería	$m^2$	0.000507
$Re$	Número de Reynolds	<i>Adimensional</i>	$\geq 4000$
$h_f$	Pérdidas de carga	$m$	
$L$	Longitud de las tuberías	$m$	6
$f$	Factor de fricción	<i>Adimensional</i>	0.035
$\varepsilon$	Rugosidad relativa	$mm$	0.0015
$\xi_{codo}$	Coef. Pérdida por accesorios (Codo 90°)	<i>Adimensional</i>	0.90
$\xi_{válvula}$	Coef. Pérdida por accesorios (Válvula)	<i>Adimensional</i>	0.21
$P$	Potencia	$W$	
$\dot{m}$	Flujo másico	$\frac{kg}{s}$	0.0176
$n$	Velocidad de giro del agitador	$rpm$	0.253
$V$	Volumen estanque	$m^3$	5
$l$	Largo de estanque	$m$	3
$a$	Ancho de estanque	$m$	1.11
$h$	Altura de estanque	$m$	1.5
$K_T$	Constante del agitador	<i>Adimensional</i>	5.75
$D_a$	Diámetro del agitador	$m$	0.08

## CAPÍTULO VI PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

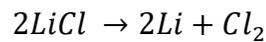
Con el objetivo de comprobar que es posible la obtención de litio puro mediante la electrólisis del cloruro de litio, se ha realizado un procedimiento experimental. Para éste se tendrán en cuenta todos los datos expuestos con anterioridad.

Como se ha mencionado al inicio de este trabajo, la principal limitación que tiene esta investigación es el costo que tiene realizar el procedimiento en condiciones reales; las membranas de intercambio iónico tienen un costo que van entre los USD\$500 a USD\$3500 cada una, además del montaje que se necesita hacer, ya que debe tener el espacio adecuado para que las membranas puedan ser instaladas. Dentro de estos costos también habría que considerar que se deben simular las condiciones en las que se encuentra la salmuera, con su contenido sodio, potasio, magnesio, calcio, sulfatos, boro, cloruro de litio, entre otros minerales y esto aumentaría también el costo de la investigación. Es por ello que como solución a esta limitación se realizará la electrólisis del cloruro de litio, ya que esta es la forma en la que se encuentra en la salmuera, aunque con otras impurezas.

Para el procedimiento experimental se utilizó la técnica de la electrólisis donde por precipitación selectiva se obtuvo el litio puro. En la solución de cloruro de litio, el metal ya está en la solución y solamente se trata de recuperarlo depositándolo en el cátodo. Para conocer de forma teórica, la cantidad de litio que será posible obtener, se utilizará la ley de Faraday descritas en bases teóricas, junto con la ecuación (3.9).

Estos datos fueron obtenidos tanto desde la bibliografía disponible como de los materiales que se tuvieron que utilizar en la experimentación. Para calcular la densidad de la corriente el área de la sección nominal del cable de cobre era de  $10\text{cm}^2$ , dato con el que se consultó en tabla el valor correspondiente. El área total expuesta fue medida con una regla al momento del experimento. El tiempo fue definido previamente. La eficiencia de la corriente eléctrica, por convención, se considera entre valores de un 90% a un 94%, es por ello que se consideró el

promedio. El número de electrones es posible conocerlo en la ecuación que representa la reacción generada y la constante de Faraday es un valor conocido y está relacionada con el número de Avogadro y la magnitud de la carga eléctrica del electrón. El elemento de interés en este caso es el litio, y la ecuación que representa la reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



$$m: 6,941 \frac{g}{mol}$$

$$i: 8,75 \frac{C \cdot s}{m^2}$$

$$A_t: 0,05m \cdot 0,1m = 0,005m^2$$

$$t: 14.400 s$$

$$z: 4$$

$$F: 96.485,33 C \cdot mol^{-1}$$

Estos datos fueron reemplazados en la ecuación 3.9.

$$M_d = \frac{6.941 \frac{g}{mol} \cdot 8.75 \frac{C \cdot s}{m^2} \cdot 0.005m^2 \cdot 14400s \cdot 0.92}{4 \cdot 96485,33 C \cdot mol^{-1}}$$

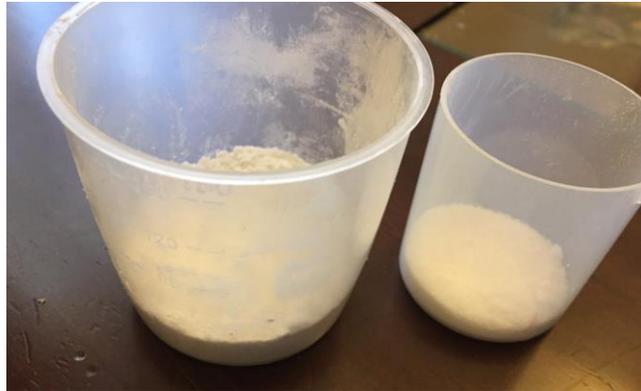
$$M_d = 0.0104 g.$$

De forma teórica, manteniendo 4 horas el proceso, se depositarán 0.01 gramos de litio. Ahora entonces, se procede a explicar el procedimiento experimental, y se observará que ocurre en la realidad. Para ello, los materiales que se utilizaron son los siguientes:

- Vaso precipitado
- Batería
- 50 g de cloruro de litio
- 5 g de soda NaOH
- Agua
- Pinzas lagarto
- Electrodo de cobre

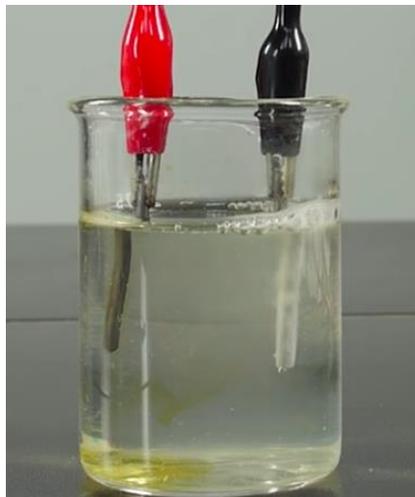
- Pesa
- Cronómetro

Para realizar el experimento, primero se prepararon y masaron los 50 gramos de cloruro de litio y los 5 gramos de soda NaOH, esta última se utiliza para basificar la disolución, debido a que no es una reacción espontánea. En las Figuras 6.1 y 6.2 se muestra el procedimiento para la obtención de litio.



*Figura 6.1.* Cloruro de litio – Hidróxido de sodio.

Ambos compuestos (cloruro de litio, hidróxido de sodio) se mezclaron en un vaso precipitado agregándole 100 ml de agua. Luego se instalaron dos electrodos de grafito conectados a un generador de corriente.



*Figura 6.2.* Obtención de litio puro por electrólisis.

Se dejó instalado el sistema durante cuatro horas, tiempo en el cual se había calculado que se depositarían 0.01 gramos de litio en el electrodo. Sin embargo, luego de una hora de experimento fue posible observar como en el cátodo ya comenzaba a acumular el litio en él. Por otro lado, como el cloro se obtiene de forma gaseosa, no se deposita en el ánodo, sino que se sintió su fuerte olor en el ambiente. Debido a que la cantidad de litio depositado era muy poca como para que fuera masada, solo se dejó para comprobar que el procedimiento de electrólisis del cloruro de litio es un proceso factible para producir hidróxido de litio.

## **CAPÍTULO VII EVALUACIÓN TÉCNICA**

### **7.1 Análisis Interno: Metodología Cadena de valor**

A continuación, se presenta la cadena de valor de la empresa en estudio de este trabajo, la cual permite examinar las actividades de esta minera, sus procesos y como interactúa con las demás actividades, para ello éstas últimas serán divididas en actividades primarias y de apoyo.

#### **7.1.1 Actividades primarias**

- a) Logística de entrada: para potenciar la logística de entrada y con el objetivo de cumplir con el abastecimiento de los productos, en el momento preciso, se generará una relación con los proveedores. A través de la comunicación continua, para poder atender los problemas en el instante en que se generan o lo más pronto posible. Se desarrollará y diseñará la cadena de abastecimiento de la empresa, junto con los miembros que la conforman para así tener una visión completa de la situación.
- b) Operaciones: para cumplir con todo lo que la empresa propone, como la calidad, la producción, la responsabilidad de entregar los compuestos a tiempo, se realizarán esfuerzos diarios. Esto incluye realizar controles de calidad de manera constante, se deben cumplir con los estándares exigidos por los clientes. Además, se les ofrecerá a los empleados contratos de forma indefinida y se les realizará capacitaciones constantes. Se cumplirá también con las especificaciones presentadas en la declaración de impacto ambiental, de manera de que con las operaciones se tenga el menor impacto en el medioambiente posible.
- c) Logística de salida: es un punto muy importante, debido a que como las empresas que utilizan estos compuestos son extranjeras, se necesita conocimiento total en las condiciones que existen para realizar exportaciones. Para ello se realizará capacitaciones a la persona encargada para que esté enfocada al proceso de internacionalización. Es necesario considerar también que para llegar a estos mercados es necesario realizar esfuerzos económicos y para ello tener cierta holgura

financiera para asumir los costos que supone la exportación, todo esto será considerado dentro de la evaluación económica.

- d) Marketing y Ventas: así como todas las empresas de diferentes industrias, la minería también requiere de marketing, sin embargo, éste debe ser más estratégico, en este sentido las acciones que se realizarán para dar a conocer la marca y/o empresa, estarán enfocadas a los beneficios que esta posee. Las ventas y contactos previos con clientes las realizará personal especializado, que haya hecho capacitaciones previamente y que conozca de manera transversal como funciona todo el proceso de producción.
- e) Servicios post-ventas: el servicio post venta es enfocado tanto a asegurar la calidad de los productos que se venden, como también a el servicio que se tiene con las comunidades luego de cada mes de producción. En este sentido en primer lugar será importante asegurarse de que el producto llegue en el momento indicado, además de que siempre tenga el porcentaje de pureza prometido.

### **7.1.2 Actividades de apoyo**

- a) Infraestructura: la infraestructura que tendrá esta empresa será de alta calidad y se asegurará de que la perturbación del terreno sea la mínima, para que no se afecte a las comunidades del sector, así como tampoco a la flora y fauna. Algo que apoya a que la perturbación del terreno sea mínima es seleccionar la técnica minera de producción adecuada, en este caso será la electrodiálisis, por lo que solo se necesitará espacio para realizar una sala de máquinas donde se llevará a cabo la reacción, además lo que hace disminuir también los costos de inversión inicial.
- b) Recursos Humanos: para la gestión humana, como es una empresa que no tiene amplia experiencia en el sector, se realizarán capacitaciones al personal, se les ofrecerá un trabajo estable de manera de tratar de evitar complicaciones por la poca experiencia que se tiene en el rubro.
- c) Desarrollo tecnológico: en términos de desarrollo tecnológico, la nueva técnica representa un avance en relación a la actualidad, debido a variadas razones, permite que los recursos mineros se utilicen eficientemente, al

devolver el líquido restante (elementos que no han sido usados en el proceso) a la salmuera, de manera que el impacto al medio ambiente es mucho menor ya que se utiliza una menor cantidad de recursos.

- d) Adquisiciones: en adquisiciones, claramente para el desarrollo de la minera es necesario invertir en activos que permitan realizar por ejemplo análisis químicos constantes, realizar una producción continua y en los posible automatizada, entre otras.

Resumiendo, la cadena de valor es presentada a continuación de forma detallada, con cada una de sus variables importantes, como se observa en la Figura 7.1.

Infraestructura	Infraestructura de alta calidad. Análisis de la perturbación del terreno y en las comunidades. Selección de técnica minera apropiada				
Gestión humana	Capacitación de personal	Trabajo Estable	Preocupación por la sociedad y el medioambiente	Personal calificado	Capacitación a los técnicos
Desarrollo tecnológico	Uso eficiente de recursos mineros	Bajos impactos operacionales en el medioambiente	Monitoreo	Desarrollo de mercados	Técnicos de servicios avanzado
Adquisiciones	Minería continua Automatización	Análisis químicos	Tecnología de caracterización	Ventas a clientes con contrato	Consultoría especializada
	Relación con proveedores	Insumos e infraestructura de alta calidad Control de calidad constante	Entrega rápida y oportuna Proceso exacto y adecuado de los pedidos	Gestión normativa internacional Relación cercana con clientes	Compromiso con comunidades Compromisos con clientes
	Logística de entrada	Operaciones	Logística de salida	Mercadeo y ventas	Servicios

Figura 7.1. Cadena de valor.

A partir de esta cadena de valor es posible deducir las Debilidades y Fortalezas de esta empresa:

**Fortalezas:**

- Desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la producción de hidróxido de litio en las salmueras.

- Disminución de costos de inversión inicial, lo que permite la generación de liquidez y de retorno de inversión en una menor cantidad de tiempo.
- Disminución del impacto ambiental generado al producir hidróxido de litio
- Proceso de producción en un período de tiempo mucho menor al actual.
- Desarrollo de la minera a largo plazo, lo que permite mantenerse en el mercado al pasar el tiempo.

#### **Debilidades:**

- Desconocimiento del sector, debido a que actualmente no se desarrollan en esta industria mineras de pequeña y mediana escala.
- Poca experiencia formal que tiene la empresa, debido a que estaría recién iniciándose.
- Metodología de producción no probada aún, por lo que se podrían tener problemas que no se logran visualizar previamente.

## **7.2 Análisis Externo: metodología Cinco Fuerzas de PORTER**

### **7.2.1 Poder de negociación con clientes**

- Número de compradores significativos: el consumo mundial el año 2017 fue de 230,000 toneladas métricas, del cual el mayor demandante fue China, por otro lado, el mayor productor fue Australia y Chile, produciendo prácticamente la totalidad de la demanda mundial. En el futuro se espera que esta demanda vaya en aumento anualmente a tasas crecientes, debido al crecimiento del uso de las baterías portátiles en las cuales el hidróxido de litio grado batería es un compuesto fundamental, por lo tanto, el número de compradores significativos es alto.
- Disponibilidad de sustitutos: en este segmento se puede distinguir que en general por las características que posee el hidróxido de litio como electrolito para baterías, no existen sustitutos importantes. Este permite almacenar una gran cantidad de energía de manera compacta en relación con su peso y puede recargarse las veces que sea necesario sin perder su capacidad, características que otros materiales como el zinc o el cobalto no poseen. Por lo tanto, a pesar de que sean sustitutos, no tienen ventajas

competitivas importantes como para ser considerados a un nivel similar que el litio.

- Costo de cambio del comprador: actualmente el hidróxido de litio es el compuesto que lidera la demanda mundial para la producción de baterías portátiles, esto es a razón de que tiene unas propiedades únicas dentro de los compuestos. Por esta razón, a pesar de que para los compradores no existe un perjuicio económico al momento de cambiarse de proveedor, esto no es fácil para ellos, porque no existen muchos productores en el mundo y el mercado es dominado por prácticamente dos empresas.
- Amenaza de compradores de integrarse hacia atrás: esta opción de lo compradores es mínima ya que para poder producir los compuestos del litio se necesita, primeramente, residir en un lugar donde se produzca, tener los permisos necesarios de parte del estado para producirlos, una alta inversión inicial y ser dueños de los recursos del mineral. En la Tabla 7.1 se muestra la valoración del poder de negociación.

Tabla 7.1

*Valoración poder de negociación con clientes*

Número	Sector determinante	Valoración	Puntaje
1	Número de compradores significativos	Alto	5
2	Disponibilidad de sustitutos	Alto	6
3	Costo de cambio del comprador	Bajo	3
4	Amenaza de integración hacia atrás	Alto	6
	Poder de negociación con clientes	Medio	5.0

### **7.2.2 Rivalidad entre las empresas**

- Crecimiento de la industria: el crecimiento de la industria ha sido proporcional al aumento en la demanda de los compuestos del litio que ha tenido un gran cambio en los últimos años y, se espera que este aumento continúe a razón de 17% anual hasta el año 2050. Lo que hace que se presenten grandes cifras económicas en esta industria.
- Influencias de los costos fijos en el valor final: el costo más importante en el que se debe incurrir para que esta empresa se pueda desarrollar es la inversión inicial. Una vez que la empresa se consolide, los costos fijos que

se deben pagar cada mes son los sueldos principalmente y que al ser una empresa pequeña se encuentran bien regulados, por lo que al respecto es posible concluir que el impacto que tienen los costos fijos en el valor final del mineral no es significativo.

- Grado de diferenciación: en este caso no existe un alto grado de diferenciación entre las empresas productoras, sino que lo más importante en esta industria, más que la diferenciación, es que el grado de pureza que alcance sea el óptimo para que pueda ser comercializado sin ningún problema. Por ejemplo, para grado industrial es requerida una pureza por sobre el 90%, para grado técnico de 99% y para grado de batería por sobre el 99.5%.
- Concentración y equilibrio de competidores: para una empresa a pequeña escala que quiera incursionar en el sector y comenzar a producir hidróxido de litio a partir de salmueras existen dos grandes competidores que explotan litio en Chile actualmente, gracias a la concesión que les otorgó CORFO, las cuáles son SQM, filial de Soquimich y SCL Rock Wood, antiguamente Sociedad Chilena del Litio. Ambos explotan litio a gran escala y dominan el mercado mundial. Cabe considerar además que estas empresas son tan importantes en el sector nacional e internacional, debido a que Chile es el segundo mayor productor de litio en el mundo.
- Identidad de la marca: la marca que produce hidróxido de litio no debiera representar mayor relevancia, ya que al momento de que los clientes acceden a estos productos lo más importante es la pureza de este, por lo que se puede concluir que para pertenecer a esta industria no es un valor agregado la marca de los productos, ya que los clientes fijan mayormente su atención en otras características. Por otro lado, en términos generales, el precio no es un factor relevante, ya que son relativamente constantes en ambas empresas que dominan el mercado internacional.
- Costo de cambio de clientes: en este punto es importante señalar que el costo de cambio para los clientes es bajo, debido a que no existe perjuicio económico por este cambio, sin embargo, existen pocas empresas que

ofrecen este producto, por lo que no hay muchas opciones para escoger. En la Tabla 7.2 se muestra la valoración de la rivalidad entre las empresas.

Tabla 7.2

*Valoración rivalidad entre las empresas.*

Número	Sector determinante	Valoración	Puntaje
1	Crecimiento de la industria	Alto	7
2	Influencias de los costos fijos en el valor final	Alto	6
3	Grado de diferenciación	Alto	6
4	Concentración y equilibrio de competidores	Bajo	3
5	Identidad de la marca	Alto	5
6	Costo de cambio de clientes	Medio	4
	Rivalidad entre las empresas	Alto	5

### 7.2.3 Amenaza de nuevos entrantes

- **Economía de escala:** en esta industria es un factor relevante, debido a que mientras mayor es la producción de hidróxido de litio menor es el costo de producirlo, una vez que ya el proceso se encuentra estandarizado.
- **Identificación de la marca:** la empresa fabricante no reviste mayor relevancia, ya que al momento de que los clientes acceden a estos productos consideran importante la pureza de estos, por sobre la marca que los produce.
- **Acceso a canales de distribución:** una vez obtenido los permisos se hace posible comenzar con la operación, y los canales de acceso son establecidos una vez que se haga un acuerdo con los clientes, debido a que se negocia directamente con ellos. En general actualmente la distribución se realiza mediante embarcaciones.
- **Requerimientos de capital:** se ha mencionado a lo largo de este informe que la principal razón por la que una empresa de minería a pequeña o mediana escala no produce compuestos de litio es debido a la alta inversión inicial que requiere para iniciar la operación y que esta es la gran barrera de entrada que se está tratando de derivar con esta nueva metodología de producción. Una vez que exista la posibilidad de producir hidróxido de litio de manera más sustentable y económica, será posible disminuir estos requerimientos de capital.

- Experiencia y efectos de aprendizaje: para la producción de compuestos de litio, los conocimientos que se deben tener son muy técnicos, es por ello que se hace necesario la realización de, por ejemplo, laboratorios, donde se estén en constante experimentación, para ver de qué forma se puede obtener mayor pureza, mejor producción, etc.
- Regulación de la industria: en el caso particular de Chile existe legislación referente al tema en estudio, es necesario realizar tramitaciones para poder comenzar a operar. En primer lugar, solicitar los permisos necesarios, luego realizar un estudio acabado de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), una vez que ya se cumpla con estos requisitos, el estado otorgará una cuota de producción, que también debe ser cumplida, como máximo. Por el contrario, si la empresa requiere producir una mayor cantidad al tope asignado, deberá solicitarlo nuevamente.
- Alianza entre competidores: este punto no tiene mayor relevancia en esa industria, debido a que no existe una alianza entre los competidores que existen actualmente. Por lo que su implicancia en las características de la industria externa es baja.
- Costos de salida: debido a la alta inversión inicial que se requiere, los costos de salida serán también bastantes altos. Se necesita invertir en infraestructura, maquinaria, insumos, que influyen en los costos de salida. Además, dentro de este ítem se debe considerar el Costo de Cierre de la faena, el cual es exigido por ley, y que consiste en tener un plan de cierre que controle los riesgos.
- Restricciones gubernamentales: estas van a existir con relación al tipo de gobierno y modelo económico que tenga el país. En Chile, se opera en el libre mercado, sin embargo al ser una industria minera, en la cual los recursos son limitados, existen restricciones gubernamentales, ya que para producir se deben pasar una serie de pasos previos, tales como someterse al Servicio de Evaluación Ambiental mediante un estudio y posterior informe de Declaración de Impacto Ambiental debido a los efectos adversos que tienen estas empresas en los recursos naturales. Una vez que este informe

es aceptado el estado debe otorgar una cuota de producción máxima permitida anualmente, la que debe ser cumplida a cabalidad para asegurar que se renueve luego el contrato en los años posteriores. En la Tabla 7.3 se muestra la valoración de amenaza de nuevos entrantes

Tabla 7.3

*Valoraciones amenaza de nuevos entrantes*

Número	Sector determinante	Valoración	Puntaje
1	Economía de escala	Alto	5
2	Identificación de la marca	Medio	5
3	Acceso a canales de distribución	Bajo	3
4	Requerimientos de capital	Bajo	3
5	Experiencia y efectos de aprendizaje	Alto	6
6	Regulación de la industria	Alto	5
7	Alianzas entre competidores	Alto	6
8	Costos de salida	Alto	5
9	Restricciones gubernamentales	Medio	5
	Amenaza de nuevos entrantes	Medio	4.6

#### **7.2.4 Poder de negociación con proveedores**

- Disponibilidad de sustitutos para los productos o servicios de los proveedores: se puede establecer claramente la gran disponibilidad de sustitutos para las diferentes herramientas que se proveen a la industria para la operación. Los productos que se necesitan incluyen la maquinaria, por ejemplo, camiones, bombas, estanques, etc. Además de insumos para la operación como el petróleo, o los elementos de seguridad para los empleados y actualmente existe un sin número de empresas que son capaces de proveer estos. Por lo que, si uno de ellos falla en alguna ocasión, no existiría problema de que fuera reemplazado rápidamente.
- Costo de cambio de los productos o servicios de los proveedores: la empresa opera en el libre mercado y va a depender del beneficio que le otorga cada proveedor, puesto que se analizará el valor de cada oferta y en base a esto se va a decidir por la que más convenga atendida la calidad y el precio del producto a ofrecer. Por lo tanto, el costo de cambio de productos es bajo.

- Amenaza de integración hacia delante de los proveedores: es altamente improbable que un solo proveedor pueda desarrollar en toda su magnitud lo que se requiere para producir hidróxido de litio, ya que él no tiene acceso directo a los distintos proveedores a los que se deben recurrir. Por otra parte, los conocimientos de la industria son claves para dar vida a una nueva empresa, por ende, el proveedor que no se dedica claramente a la producción va a ver limitada su opción a poder integrarse a esta industria.
- Contribución de los proveedores a la calidad: los activos que se necesitan incluyen camiones, bombas, estanques, camionetas etc. y además productos como implementos de seguridad, petróleo, entre otros similares, para los que se necesita tener una calidad estándar que en la industria se cumple en prácticamente todos los proveedores. Atendida esa calidad, es posible realizar la operación sin problema.
- Número de proveedores de importancia: al existir variedades de proveedores en distintas áreas se diluye la importancia clave de estos. Sin perjuicio de que la empresa puede buscar a un proveedor específico para cierta área, sin embargo, sería un caso excepcional. En la Tabla 7.4 se muestra la valoración de la negociación con proveedores.

Tabla 7.4  
*Valoraciones de negociación con proveedores*

Número	Sector determinante	Valoración	Puntaje
1	Disponibilidad de sustitutos de proveedores	Alto	7
2	Costo de cambio de los proveedores	Alto	6
3	Amenaza de integración hacia delante	Alto	6
4	Contribución a la calidad	Alto	6
5	Número de proveedores de importancia	Alto	5
	Poder de negociación con proveedores	Alto	6

### 7.2.5 Amenaza de productos sustitutos

- Disponibilidad de sustitutos cercanos: esta posibilidad va cambiando dependiendo de los materiales en estudio. Por ejemplo, los implementos de seguridad no es posible sustituirlos, ya que por regulación y seguridad no pueden ser reemplazados. Por otro lado, existen ciertos productos que se podrían sustituir, por ejemplo, el traslado de la salmuera que se hace

mediante camiones, se podría realizar con grandes tuberías que vayan desde el Salar hasta las piscinas de evaporación.

- Costo de cambios para el cliente: en este punto se puede consignar, que para los clientes no tendrá mayor costo el cambiarse de empresa o producto, debido a que los precios que se tranzan son relativamente constantes entre las empresas oferentes y ellos pueden escoger la que sea más convenientes atendido su precio y calidad. Sin embargo, a pesar de que no existe un cambio de costo alto para los clientes, en la actualidad no existen una amplia gama de empresas productoras, por lo que no tendrán el mercado una variedad grande dentro de la cual puedas escoger.
- Agresividad de los productos sustitutos: está íntimamente relacionada con el precio y calidad de los mismos, ya que, si aparece un compuesto de litio con una calidad adecuada para ser comercializada, pero con un precio mucho más económico, estos indudablemente los preferirán, aunque debido al aumento de la demanda en los últimos años, y considerando que se está en un mercado que se encuentra dominado principalmente por dos empresas productoras de litio, esto es improbable.
- Relación valor – precio del sustituto: como se ha comentado en puntos anteriores, la relación valor - precio de los sustitutos no es suficiente para que las empresas que hoy compran compuestos de litio lo sustituyan, debido a que las características de este metal son únicas y no existe otro compuesto que pueda reemplazarlo. La razón por la que no existe una amenaza de este tipo es principalmente porque, a pesar de que existen otros elementos útiles para almacenar y guardar la energía eléctrica, estos no son tan eficientes como lo es el litio, por lo que el valor que tienen estos elementos es mucho menor. En la Tabla 7.5 se muestra la valoración de la amenaza de productos sustitutos.

Tabla 7.5

*Valoraciones de amenaza de productos sustitutos*

Número	Sector determinante	Valoración	Puntaje
1	Disponibilidad de sustitos cercanos	Bajo	3
2	Costo de cambios para el cliente	Bajo	3
3	Agresividad de los productos sustitutos	Medio	5
4	Relación Valor – Precio del sustituto	Alto	6
	Amenaza de productos sustitutos	Medio	4.3

Por lo tanto, tras analizar todos los puntos que involucran a la industria de la minería del litio, se puede finalmente establecer que la atractividad de industria es Media, ya que el crecimiento que presenta esta industria es muy favorable, además de que no existen importantes sustitutos. Sin embargo, el gran conocimiento que se requiere en la creación de una nueva empresa, además de las barreras de regulación que se necesitan provoca que el resultado del análisis no sea Alto. A continuación, en la Tabla 7.6 se presentan las ponderaciones que tiene cada una de las cinco fuerzas de Porter.

Tabla 7.6

*Valoraciones totales del análisis externo (cinco fuerzas de PORTER)*

Sector determinante	Evaluación	Ponderación %	Total
Poder de negociación con clientes	4.5	20%	0.9
Rivalidad entre las empresas	5.2	15%	0.78
Amenaza de nuevos entrantes	4.6	10%	0.46
Poder de negociación con proveedores	6.0	30%	1.8
Amenaza de productos sustitutos	4.3	25%	1.075
Promedio final	-	100%	5.0

A partir de este análisis de las cinco fuerzas de PORTER es posible deducir las características externas de la empresa, es decir las Oportunidades y Amenazas de esta empresa, las que se detallan a continuación:

#### **Oportunidades:**

- Aumento de la demanda de baterías portátiles.
- Aumento de la demanda de hidróxido de litio, por sus aplicaciones en baterías.

- Aumento del interés de la sociedad en aspectos relacionados con el medioambiente.
- Sostenido aumento del desempeño económico de Chile desde el 2012 en adelante.
- El precio de los compuestos de litio ha ido en aumento constante desde el año 2012 hasta la actualidad.
- Chile es uno de los países que posee más litio en su territorio, lo que hace que la producción sea económicamente factible

**Amenazas:**

- Presencia de conflictos sociales entre comunidades y empresas mineras
- Escasez de recursos hídricos en la zona
- Empresas instaladas actualmente tienen una fuerte ventaja competitiva por su experiencia en el área.
- Presencia de conflictos con el estado, por la cuota de producción que determinan para cada empresa.

**7.3 Análisis FODA**

Gracias al análisis externo e interno realizado anteriormente, será posible construir el FODA, que representan las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de esta empresa. Además, se presentarán también las estrategias que deben ser implementadas por la empresa para el su correcto funcionamiento. Cada una de estas estrategias están basadas en las características tanto internas como externas. La Figura 7.1 se presenta a continuación:

<p style="text-align: center;">Análisis interno</p> <p style="text-align: center;">Análisis externo</p>	<p><b>Fortalezas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la producción de hidróxido de litio.</li> <li>• Disminución de costos de inversión inicial.</li> <li>• Disminución del impacto ambiental generado</li> <li>• Proceso de producción se realiza en un tiempo mucho menor</li> <li>• Desarrollo de la minera a largo plazo</li> </ul>	<p><b>Debilidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconocimiento del sector.</li> <li>• Poca experiencia formal que tiene la empresa, debido a que recién estaría iniciándose</li> <li>• Metodología de producción no probada en terreno aún.</li> </ul>
<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la demanda de baterías portátiles</li> <li>• Aumento de la demanda de hidróxido de litio.</li> <li>• Aumento del interés de la sociedad en aspectos medioambientales.</li> <li>• Sostenido aumento del desempeño económico de Chile</li> <li>• Precio y demanda de los compuestos de litio en aumento desde el 2012.</li> <li>• Cantidad de litio en el territorio chileno</li> </ul>	<p>Estrategia de Beneficios F1 + F6 + O3 + O4</p> <p>Estrategia de Desarrollo de mercados: F1 + F5 + O4 + O5</p> <p>Estrategia de Desarrollo de Producto F1 + F3 + O3 + O4 + O5</p>	<p>Estrategia de posicionamiento basada en la competencia: O3 + O6 + D1</p> <p>Estrategia de fidelización: O1 + O6 + D1 + D2</p>
<p><b>Amenazas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de conflictos sociales entre comunidades y empresas mineras</li> <li>• Escases de recursos hídricos en la zona</li> <li>• Empresas instaladas tienen fuerte ventaja competitiva por su experiencia.</li> <li>• Presencias de conflictos con el estado, por la cuota de producción que determinan para cada empresa.</li> </ul>	<p>Estrategia basada en la responsabilidad social: A1 + A2 + F3 + F5</p> <p>Estrategia de invitación: A2 + A4 + F1 + F3</p>	<p>Estrategia de eliminación: A2 + A3 + D3</p> <p>Estrategia de innovación: A3 + D1 + D2</p>

Figura 7.1. Análisis FODA y estrategias.

1. Estrategia de posicionamiento:

a. Tipo: Estrategia corporativa

b. Descripción: fue obtenida en base a las oportunidades y debilidades de la empresa. En esta se considera que existe poca experiencia formal en el rubro, se basa en instalar esta marca en la mente de los potenciales clientes por su calidad, para ello se tendrá en cuenta que hace la competencia.

c. Plan de acción:

i. Analizar la oferta comercial de la competencia, esto será la clave para el posicionamiento en el mercado.

- ii. Identificar el mejor atributo que tiene el compuesto que produce la empresa
- iii. Ofrecer el compuesto con una ventaja competitiva, ya sea a un menor precio, o con una mayor pureza.

## 2. Estrategia de fidelización:

- a. Tipo: Estrategia corporativa
- b. Descripción: mediante esta estrategia se utilizarán técnicas y recursos para que los clientes se mantengan contentos con la empresa y no piensen en cambiarse a la competencia. Para lograrlo es necesario mantener una relación satisfactoria entre la empresa los consumidores, para esto se empezará por conocer bien al comprador y ofrecerle lo que más le interesa.
- c. Plan de acción:
  - i. Se preocupará en tener un equipo de trabajo motivado y que maneje toda la parte técnica, para poder darle toda la confianza a los clientes.
  - ii. Se dará atención personalizada a cada cliente.
  - iii. Se cuidará cada punto de contacto, de manera que esos pequeños detalles marquen la diferencia.

## 3. Estrategia de eliminación

- a. Tipo: Estrategia corporativa
- b. Definición: teniendo en cuenta las Debilidades y Amenazas, nace esta estrategia que, si bien es cierto, es más radical, será necesaria para romper las barreras que tienen las amenazas. Esta consiste en sacar del mercado y de las producciones al carbonato de litio, con el objetivo de tener una huella ecológica reducida, además de potenciar el hidróxido de litio, cuyo precio es mucho más elevado.
- c. Plan de acción:
  - i. Potenciar y dar a conocer las características y usos del hidróxido de litio, así como también transparentar la forma en la que se produce este compuesto.

- ii. Entregar informes anuales que permitan a clientes y personas conocer los impactos que está generando la empresa, tanto en términos ambientales como en términos económicos.
- 4. Estrategia de innovación
  - a. Tipo: Estrategia corporativa
  - b. Definición: va ligada directamente a la estrategia de eliminación, ya que con esto se está buscando realizar algo que ninguna otra empresa en el mercado ha realizado.
  - c. Plan de acción:
    - i. Dar a conocer las aportaciones de esta nueva metodología, en una industria que es muy conservadora.
- 5. Estrategia de beneficios:
  - a. Tipo: Estrategia de negocios
  - b. Definición: fue construida en base a las Fortalezas y Oportunidades que se obtuvieron desde el análisis interno/externo. Esta se basa en asociar la marca que se está creando con los beneficios de utilizar este compuesto y no el de la competencia, estos beneficios estarán enfocados principalmente en el medioambiente, ya que gracias a la creación de esta nueva metodología es posible disminuir el impacto ambiental, el consumo de agua, de terreno y de químicos.
  - c. Plan de acción:
    - i. Mostrar a los potenciales clientes porqué se tiene una ventaja competitiva en cuanto al impacto en el medio ambiente y porqué se está solucionando este problema.
    - ii. Cumplir a cabalidad con la declaración de impacto ambiental
    - iii. Publicar informes anuales de producción y consumo de recursos.
- 6. Estrategias de desarrollo de nuevos mercados:
  - a. Tipo: Estrategia de negocios
  - b. Definición: la estrategia que continúa también fue creada en base a las Fortalezas y Oportunidades que tiene la empresa, esta es

denominada desarrollo de nuevos mercados, y se basa en ofrecer el hidróxido de litio a nuevos mercados, esto es por ejemplo a empresas que recién estén pensando en crear baterías portátiles para sus futuros productos tecnológicos, de esta manera dirigirse hacia este nuevo segmento de clientes.

c. Plan de acción:

- i. Crear un nuevo segmento de mercado, que sean empresas más pequeñas, pero que deseen invertir en nuevas soluciones tecnológicas para lo que cual requieran de hidróxido de litio.
- ii. Hacer publicidad específica para estas empresas más pequeñas.

7. Estrategia de productos

a. Tipo: Estrategia de negocios

b. Definición: la estrategia de productos va ligada directamente a la estrategia de desarrollo de mercados, esta se basa en la producción de este compuesto, pero el cual posee además características diferenciadoras, que hacen que se potencie su venta.

c. Plan de acción:

- i. Dar a conocer los estándares de calidad exigidos en cada etapa del proceso de producción
- ii. Asegurar la calidad y porcentaje de pureza del hidróxido de litio.
- iii. Aplicar a las normas ISO, de estándares de gestión de la calidad.

8. Estrategia de responsabilidad social

a. Tipo: Estrategia Operacional

b. Definición: ahora, enfocándose en las Fortalezas y Amenazas, nacen las estrategias operacionales. La primera es la basada en la responsabilidad social, considerando que existe unos escasos de recursos hídricos en la zona y que además hay constantemente

presencia de conflictos entre las empresas mineras y la población aledaña, de forma que se asocie el nombre de la marca con la preocupación ecológica.

c. Plan de acción:

- i. Definir la oferta comercial anteponiendo las necesidades de la sociedad en general y sobre todo de los habitantes de la Región de Antofagasta.
- ii. Organizar reuniones una vez al año, en la que se escuche las necesidades en aspectos ambientales y económicos que tienen los vecinos del sector.

9. Estrategia de invitación

a. Tipo: Estrategia Operacional

b. Definición: el mismo enfoque que la estrategia de responsabilidad social tiene la estrategia de invitación en la que como empresa se invita los clientes a formar parte de la nueva visión que tiene la sociedad, de esta manera se logra compatibilizar con la cultura y los nuevos estilos de vida

c. Plan de acción:

- i. Organizar reuniones periódicas con los representantes de cada sector que se encuentre afectado directa o indirectamente con las operaciones de la minera.
- ii. Dar a conocer en las reuniones los planes y programas, así como los avances que como empresa se van proponiendo año a año en respuesta a las necesidades de los vecinos del sector.

## CAPÍTULO VIII EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 8.1 Ingresos

El litio es uno de los metales que ha tenido mejor performance en términos económicos durante los últimos años [6]. Esto se ve evidenciado y lo corroboran las fuertes alzas que han tenido los precios de estos compuestos, tanto el carbonato de litio como el hidróxido de litio [57 ,58]. Esto es de utilidad conocerlo para realizar la evaluación económica, en la cual se preverán las alzas para los próximos quince años, que será el período en el que se realizará el flujo de caja de esta nueva empresa.

Cabe destacar que, si bien es cierto ambos compuestos, tanto el carbonato como el hidróxido de litio han aumentado sus precios en el mercado, el primero se ha transado el presente año con un valor entre los US\$5952 y US\$6614 por tonelada, en cambio el hidróxido de litio ha alcanzado precios que llegan a superar las US\$14000 por tonelada en el 2018 [57]. Es por ello también que se le ha dado una gran relevancia durante el desarrollo de esta investigación.

Para realizar la predicción de estas alzas, se graficará el aumento en los precios de los compuestos que se han tenido entre los años 2010 y 2017 y en base a esto se estimarán los precios futuros.

A continuación, en la Figura 8.1, se observa cómo ha aumentado el precio en dólares por tonelada de hidróxido de litio entre los años 2010 y 2017, por ejemplo, en el año 2010 el promedio fue de 5500 dólares por tonelada de LiOH, en cambio para el año 2017 aumentó a unos 14000 dólares por tonelada aproximadamente [58]. Se destaca además que las alzas más abruptas partieron desde el año 2015 en adelante como respuesta al ascendente uso que ha tenido este recurso en la fabricación de baterías para dispositivos electrónicos portátiles, tales como teléfonos inteligentes, notebooks, cámaras fotográficas, tablets, mp4, etc. Además, se espera un fuerte aumento en la aplicación de baterías en vehículos eléctricos.

### Evolución del precio internacional del hidróxido de litio (dol/ton)

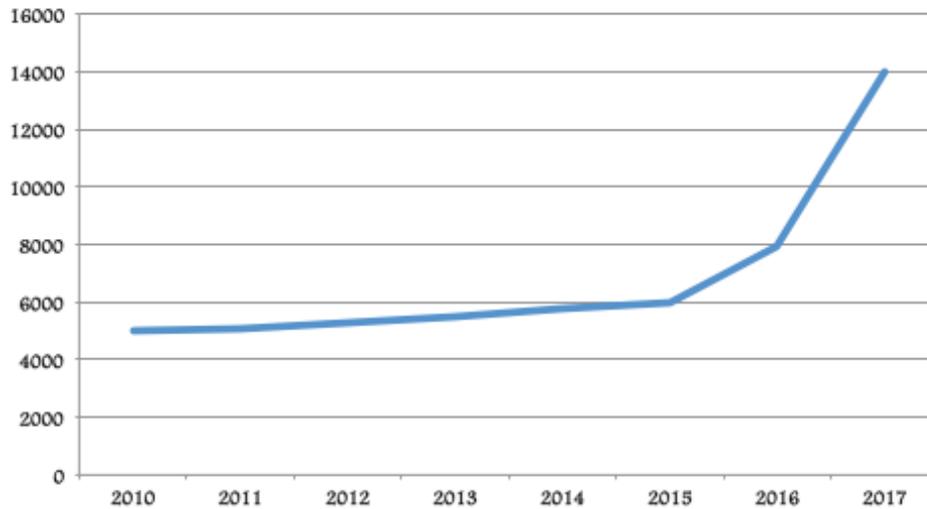


Figura 8.1. Evolución del precio de hidróxido de litio, información obtenida de Industrial Minerals en *Informe Minerales Estratégicos [6]*.

Durante el año 2015 al 2017 ha aumentado el precio del hidróxido de litio en un 134%, por lo tanto, considerando que los precios se negocian directamente entre los productores y los clientes, es decir no existe una bolsa de metales donde se puedan transar públicamente, y pensando que los precios no continúen con la misma alza, por el aumento que tendrá también la oferta en los próximos años, se considerará un aumento de la mitad de lo que fue durante los últimos años.

Es importante mencionar también que como es una minera a pequeña escala, la producción máxima de carbonato de litio equivalente (LCE) será de unas 5000 toneladas anuales, para convertir de carbonato de litio a hidróxido de litio, se debe multiplicar por 0.648, que es el valor equivalente de conversión entre compuestos, valores que se resumen en la Tabla 8.1 (*factores de equivalencia de compuestos de litio*). Por lo tanto, producir 5000 toneladas de LCE es equivalente a producir 3240 toneladas de hidróxido de litio.

La producción máxima se logrará recién al año 3 de operación, de manera progresiva (ramp-up). Además, durante el primer año no existirá producción,

debido a que será el periodo de tiempo en el que se realizarán todas las instalaciones requeridas para partir.

La Figura 8.2 el resumen de la producción esperada durante los 15 años de operación, en toneladas de hidróxido de litio mensual, donde se pueden observar ciertos puntos de producción con el objetivo de ver como esta va aumentando a medida que pasan los meses y la máxima producción se alcanza desde el año diez en adelante, produciendo 270 toneladas de hidróxido de litio mensual, o lo que es equivalente a 3240 toneladas de LiOH anuales, lo máximo permitido para una minera a pequeña escala.

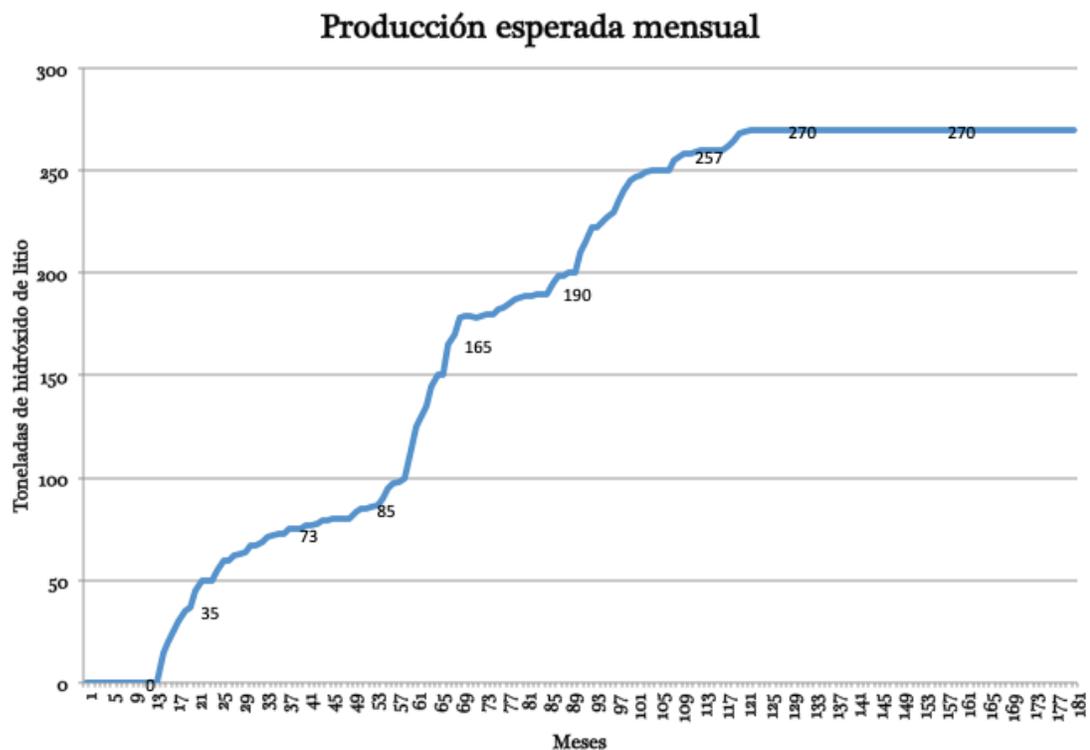


Figura 8.2. Producción esperada mensual de hidróxido de litio.

## 8.2 Costos

Los costos en los que se tendrá que incurrir para poder comenzar a operar. Se darán a conocer los costos tanto de operación, como la inversión inicial, con el objetivo de finalmente saber si es viable económicamente el proyecto.

### **8.2.1 Costos de electricidad**

Los costos asociados a la electricidad representan el 20% de los ingresos totales [56], este es un costo directo al que se tiene que incurrir por cada kilo de hidróxido de litio producido.

### **8.2.2 Costos de agua**

Así como los costos de electricidad, los costos asociados al agua también son directos, y van variando dependiendo de la cantidad de hidróxido de litio producido. Estos representan el 5% del total de los ingresos [56].

### **8.2.3 Costos de exportación**

Según la información obtenida de los datos del Banco Mundial, el precio de los contenedores es de US\$259 cada uno, considerando que estos son de  $12m \times 3m \times 2.5m = 90m^3$ . Además, la producción de hidróxido de litio va cambiando a medida que pasan los meses, porque al comienzo es necesario estabilizarse, por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo anterior, se calcularán los contenedores necesarios sabiendo la densidad del hidróxido de litio:  $1,46 \frac{g}{m^3}$ .

### **8.2.4 Costos de implementos de seguridad**

Uno de los aspectos más relevantes al momento de trabajar, sobre todo en una minera, es contar con los equipos de protección personal para los empleados adecuados, sobre todo labores de mantenimiento, ya que existe manipulación de piezas o químicos, lo que puede provocar accidentes.

Los principales implementos que deberán utilizar los trabajadores son gafas de seguridad, cascos, filtro para partículas, cinturón de seguridad, guantes de producción, ropa de faena (Zapatos y overoles). Estos materiales serán renovados cada seis meses, período considerable para continuar manteniendo la seguridad de cada empleado.

### 8.2.5 Costos de materiales requeridos

Anteriormente se han nombrado cada uno de los materiales que se utilizarán directamente para el proceso de electrodiálisis, a continuación, se presentan los precios estimados que tiene cada uno:

- Membranas de intercambio iónico: *US\$9000*<sup>1</sup>
- Motor de agitación: *US\$539*
- Tablero control motor: *US\$154*
- Sala de máquinas: *US\$770*<sup>2</sup>
- 2 agitadores:  $US\$231^3 \times 2 = US\$462$
- Motor para salida de salmuera desde el estanque: *US\$538*
- Cátodo de: *US\$46*<sup>4</sup>
- Ánodo de: *US\$46*
- Batería: *US\$46*
- Estanque de plástico 5m<sup>3</sup>: *US\$538*<sup>5</sup>
- Tubería de PVC hidráulico 25mm de diámetro:  $US\$6.15 \times 6 = US\$40$
- 4 llaves de paso, para estanque, de latón:  $USD\ 22.6 \times 4 = USD\ 90.4$
- 4 salidas de estanque:  $US\$1.5 \times 4 = US\$6$ <sup>6</sup>

En los materiales que se encuentran dentro del estanque, se necesitará un total de *US\$12271*, algunos de éstos, como agitadores, baterías y las membranas de intercambio iónico serán renovados cada tres meses para evitar afectar a la continuidad de la operación por la falla de algunos elementos. Sin embargo, los demás, tales como llaves de paso, salidas de estanque, estanque y tubería serán renovados cada año.

---

<sup>1</sup> Cotización realizada de manera online en portal Alibaba, Octubre 2018.

<sup>2</sup> Cotización realizada por Miguel Velásquez Cortés, jefe de obras, Octubre 2018.

<sup>3</sup> Cotización realizada por Parr Instrument Company

<sup>4</sup> Cotización realizada en el portal minero, en base al precio del cobre

<sup>5</sup> Cotización realizada en Bioplastic Chile LTDA.

<sup>6</sup> Cotizaciones de tubería, llaves de paso y salidas de estanque realizadas en Sodimac de manera Online.

### **8.2.5.1 Costo de mano de obra para instalación**

Se requiere mano de obra para la instalación del estanque y el armado del tablero de control de motor. A continuación, se detallan los costos:

- Instalación estanque: *US\$461*
- Armado de tablero de motor: *US\$308*
- Construcción de sala de máquinas: *US\$770<sup>7</sup>*

Para la construcción del estanque se necesitan US\$1538.

### **8.2.6 Costo Recursos Humanos**

#### **8.2.6.1 Mano de obra directa**

Para llevar a cabo este proyecto los empleados que se requieren para que cada proceso se lleve a cabo correctamente, y que deben estar presente en cada turno (mensualmente) son:

- Supervisor de procesamiento: Se requiere de personal que supervise cada proceso que se lleve a cabo, se requerirá de cuatro supervisores de procesamiento, los cuales se dividirán en turnos. Se tendrán dos supervisores por cada 7 días. Su sueldo es de US\$2308
- Ingeniero especialista en mantenimiento: Es aquel que se encarga de estudiar las maquinarias, supervisa los mantenimientos y orienta a los mantenedores. Para el desarrollo de la empresa se necesitan dos ingenieros, su sueldo es de US\$2769
- Mantenedor eléctrico: Se encarga de realizar mantenimientos eléctricos a las maquinarias. Su sueldo es de US\$1539
- Chofer: Se requerirá de dos choferes encargados de llevar la salmuera hasta la planta de separación por electrodiálisis. Su sueldo será de US\$1077
- Operarios: Se requerirán de cinco operarios encargados de la producción. su sueldo será de US\$1077

---

<sup>7</sup> Cotización realizada por Miguel Velásquez Cortés, jefe de obras. Octubre 2018

### 8.2.6.2 Otros empleados

Los cuáles tendrán un contrato indefinido, con horario de oficina:

- Ingeniero en minas: su sueldo será de US\$3077
- Gerente de finanzas: su sueldo será de US\$3077
- Gerente de operaciones: su sueldo será de US\$3077
- Jefe de recursos humanos: esta empresa contará un jefe de recursos humanos, encargado de administrar y pagar los sueldos de los empleados. US\$1539

En total suman 18 trabajadores, y lo que se debe desembolsar por concepto de sus sueldos será US\$29539 mensualmente. Cabe destacar que estos sueldos serán reajustados anualmente en base al IPC.

### 8.2.7 Maquinaria

Serán requeridos distintos tipos de maquinaria para la operación, en primer lugar se utilizará una bomba para extraer la salmuera desde el salar y otra para la salida del estanque. Una vez que es extraída es necesario trasladarla, para lo que se utilizarán camiones de movilización dentro de la minera. También será requerido el estanque, junto con todos sus implementos, ya sea bomba de agitación, cátodos, ánodos, baterías, etc. Sin embargo, este costo fue considerado en la *sección 8.2.3 Materiales Requeridos*. Por otro lado, se utilizará en un comienzo cuatro camionetas, para el traslado de pasajeros o materiales pequeños dentro de la minera y containers que serán utilizados para instalarlos en la planta, uno para cocina, dos para oficinas, uno para baño y 9 para piezas.

- 2 bombas:  $US\$1539 \times 2 = US\$3077$
- 2 camiones:  $US\$61600 \times 2 = US\$123200$
- 4 camionetas mineras:  $US\$26693 \times 4 = US\$110769$
- Petróleo para maquinarias: US\$769
- 13 container:  $US\$3846 \times 9 = US\$34615$

En total se necesitarán US\$272307 por la maquinaria, donde US\$770 de estos serán gastados mensualmente. Lo demás forma parte de los activos de la

empresa y se deberán considerar dentro de la inversión inicial. Dentro de los activos, se comprarán dos camiones y también cuatro camionetas mineras en el mes 90. Lo que se descontará de la caja de la empresa, representado en el flujo.

Una vez que se tienen los costos que se desembolsarán en primera instancia, que suman un total US\$32.000.000, se procede a realizar la evaluación del capital necesario para iniciar la operación. Lo primero que es necesario tener en cuenta para esto, es que la unidad de medida será LCE<sup>8</sup>, es decir, el costo equivalente a producir carbonato de litio, independiente de si se produce algún otro compuesto, siempre se llevará a estas unidades de medida. Para ello existen los factores de equivalencia de compuestos de litio que se detallarán a continuación en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1

*Factores de equivalencia de compuestos de litio*

	Conversión a <i>Li</i>	Conversión a <i>Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	Conversión a <i>LiOH</i>
Litio	1	5.323	3.448
Carbonato de litio	0.188	1	0.648
Hidróxido de litio	0.290	1.543	1

Información obtenida de Cochilco, presentado en Mercado internacional del litio y su potencial en Chile, en Dirección de Estudios y Políticas Públicas 2017.

### 8.2.8 Porcentaje de costos

Una vez revisado cada costo de forma detallada, la proporción de los costos que posee la empresa es la siguiente [56]:

Costos directos:

- Mano de obra: 25%
- Electricidad: 40%
- Reactivos: 10%
- Petróleo y materiales: 10%

<sup>8</sup> Lithium carbonate equivalent

- Mantenimiento y reparación: 10%
- Flete terrestre a puerto chileno: 5%

### **8.3 Activos**

Los principales activos que posee la empresa son: bombas, camiones, camioneta, sala de máquinas, motor de agitación, tablero control, agitadores, motor salida salmuera, cátodo, ánodo, batería, estanque plástico, tuberías, llaves de paso y salida, membranas de intercambio iónico, containers.

Cada uno de estos activos se van depreciando con el tiempo, lo que se encuentra considerado dentro del modelo de negocios, ya que contribuye a la empresa a rebajar el valor de las utilidades antes de impuestos y de esta forma disminuirlos.

### **8.4 Flujo de caja**

El informe financiero desarrollado en este trabajo es el flujo de caja presentado en la Figura 8.3, en este se presentan los ingresos y egresos de los quince años de operación que han sido proyectados. Todos los costos considerados en éste han sido detallados previamente, así como también la producción esperada mensual y los ingresos que se esperan a partir de ésta y con estos datos propuesto se procede a hacer una simulación de la evaluación del proyecto.

Este indicador es útil porque permite conocer la liquidez del negocio en el futuro y además de poder obtener una estimación de cuánto dinero se debe considerar para comenzar a operar. Como lo que se está estudiando es una minera, son proyectos a largo plazo. Además, a partir de este se obtendrá el VAN, el TIR y el ROI, que en su conjunto permitirán concluir la factibilidad económica. Cabe destacar que aquí se presenta un flujo resumido de cada año, el completo es adjuntado en los ANEXOS [B]: *Flujo de caja mensualizado*.

En este flujo de caja los valores están representados en miles de dólares.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<b>Ingresos (En miles de dólares)</b>															
Venta de hidróxido de litio	\$0,0	\$4.993,8	\$10.957,8	\$12.987,8	\$15.339,8	\$26.371,8	\$31.103,8	\$34.873,4	\$41.281,8	\$43.773,8	\$45.341,8	\$45.355,8	\$45.355,8	\$45.355,8	\$49.135,8
<b>Costos directos</b>															
Costos de exportación	\$0,0	\$749,7	\$1.644,3	\$1.948,8	\$2.301,6	\$3.956,4	\$4.666,2	\$5.258,4	\$6.192,9	\$6.566,7	\$6.801,9	\$6.804,0	\$6.804,0	\$6.804,0	\$7.371,0
Electricidad	\$15,5	\$1.754,3	\$3.836,7	\$4.547,2	\$5.370,4	\$9.231,6	\$10.887,8	\$12.269,6	\$14.450,1	\$15.322,3	\$15.871,1	\$15.876,0	\$15.876,0	\$15.876,0	\$17.199,0
Agua	\$15,5	\$1.254,5	\$2.740,5	\$3.248,0	\$3.836,0	\$6.594,0	\$7.777,0	\$8.764,0	\$10.321,5	\$10.944,5	\$11.336,5	\$11.340,0	\$11.340,0	\$11.340,0	\$12.285,0
<b>Costos operacionales</b>															
Motor agitación	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$5,3	\$10,6
Agitadores	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,8
Batería	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,4	\$1,8
Llave de paso y salida	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,3	\$0,4
Membranas intercambio iónico	\$42,0	\$35,0	\$42,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0
Tuberías	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,4	\$0,7
Cátodo	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,9
Ánodo	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,5	\$0,9
<b>Gastos básicos</b>															
Implementos de seguridad	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$3,1	\$6,2
Colación	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,7	\$1,8
Petróleo	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$46,2	\$65,4	\$92,3	\$92,3	\$92,3	\$92,3	\$92,3	\$100,0
Caja chica	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$36,9	\$73,8	\$110,8	\$110,8	\$110,8	\$110,8	\$110,8	\$120,0
<b>RR.HH</b>															
Supervisor de procesamiento	\$110,8	\$111,1	\$111,4	\$111,7	\$111,7	\$111,7	\$111,7	\$111,7	\$112,0	\$112,3	\$112,3	\$112,6	\$112,9	\$113,2	\$113,5
Ingeniero especialista en mantenimiento	\$66,5	\$66,6	\$66,8	\$67,0	\$67,0	\$67,0	\$67,2	\$67,4	\$67,5	\$67,7	\$67,9	\$68,1	\$68,3	\$68,5	\$74,4
Mantenedor eléctrico	\$18,5	\$18,5	\$18,6	\$18,6	\$18,7	\$18,7	\$18,7	\$18,8	\$18,9	\$18,9	\$19,0	\$19,0	\$19,0	\$19,0	\$20,7
Chofer	\$25,8	\$25,9	\$26,0	\$26,1	\$26,1	\$26,2	\$26,3	\$26,3	\$26,4	\$26,5	\$26,6	\$26,6	\$26,7	\$26,8	\$29,1
Ingeniero en minas	\$36,9	\$37,0	\$37,1	\$37,2	\$37,3	\$37,4	\$37,5	\$37,6	\$37,7	\$37,8	\$37,9	\$38,0	\$38,1	\$38,2	\$41,5
Gerente de Finanzas	\$36,9	\$37,0	\$37,1	\$37,2	\$37,3	\$37,4	\$37,5	\$37,6	\$37,7	\$37,8	\$37,9	\$38,0	\$38,1	\$38,2	\$41,5
Gerente de Operaciones	\$36,9	\$37,0	\$37,1	\$37,2	\$37,3	\$37,4	\$37,5	\$37,6	\$37,7	\$37,8	\$37,9	\$38,0	\$38,1	\$38,2	\$41,5
Jefe de Recursos Humanos	\$18,5	\$18,5	\$18,6	\$18,6	\$18,7	\$18,7	\$18,8	\$18,8	\$18,9	\$18,9	\$19,0	\$19,0	\$19,0	\$19,0	\$20,7
Operarios	\$92,3	\$92,6	\$92,8	\$93,1	\$93,3	\$93,6	\$93,8	\$94,1	\$94,3	\$94,6	\$94,8	\$94,8	\$95,1	\$95,1	\$103,3
Costo mano de obra para instalación	\$1,5	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0	\$0,0
Total RR.HH	\$350,8	\$351,7	\$352,7	\$353,6	\$354,1	\$354,6	\$355,2	\$356,2	\$357,1	\$357,8	\$358,8	\$359,6	\$360,6	\$361,4	\$392,7
<b>EBITDA</b>	<b>-\$521</b>	<b>\$751</b>	<b>\$2.244</b>	<b>\$2.793</b>	<b>\$3.380</b>	<b>\$6.138</b>	<b>\$7.320</b>	<b>\$8.072</b>	<b>\$9.743</b>	<b>\$10.365</b>	<b>\$10.756</b>	<b>\$10.759</b>	<b>\$10.758</b>	<b>\$10.757</b>	<b>\$11.643</b>
<b>PORCENTAJE DE EBITDA</b>	<b>0,0%</b>	<b>15,0%</b>	<b>20,5%</b>	<b>21,5%</b>	<b>22,0%</b>	<b>23,3%</b>	<b>23,5%</b>	<b>23,1%</b>	<b>23,6%</b>	<b>23,7%</b>	<b>23,7%</b>	<b>23,7%</b>	<b>23,7%</b>	<b>23,7%</b>	<b>23,7%</b>
Depreciación y Amortización	\$9,2	\$9,2	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3
<b>UAI</b>	<b>-\$530</b>	<b>\$742</b>	<b>\$2.235</b>	<b>\$2.783</b>	<b>\$3.371</b>	<b>\$6.128</b>	<b>\$7.311</b>	<b>\$8.062</b>	<b>\$9.733</b>	<b>\$10.356</b>	<b>\$10.747</b>	<b>\$10.749</b>	<b>\$10.748</b>	<b>\$10.748</b>	<b>\$11.634</b>
Impuestos	\$0	\$0	\$603	\$752	\$910	\$1.655	\$1.974	\$2.177	\$2.628	\$2.796	\$2.902	\$2.902	\$2.902	\$2.902	\$3.141
Repasto	\$0	\$223	\$670	\$835	\$1.011	\$1.839	\$2.193	\$2.419	\$2.920	\$3.107	\$3.224	\$3.225	\$3.225	\$3.224	\$3.490
<b>UDI</b>	<b>-\$530</b>	<b>\$519</b>	<b>\$961</b>	<b>\$1.197</b>	<b>\$1.449</b>	<b>\$2.635</b>	<b>\$3.144</b>	<b>\$3.467</b>	<b>\$4.185</b>	<b>\$4.453</b>	<b>\$4.621</b>	<b>\$4.622</b>	<b>\$4.622</b>	<b>\$4.621</b>	<b>\$5.002</b>
Depreciación y Amortización	\$9,2	\$9,2	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3	\$9,3
<b>FNE</b>	<b>-\$521</b>	<b>\$529</b>	<b>\$970</b>	<b>\$1.206</b>	<b>\$1.459</b>	<b>\$2.645</b>	<b>\$3.153</b>	<b>\$3.476</b>	<b>\$4.195</b>	<b>\$4.462</b>	<b>\$4.630</b>	<b>\$4.632</b>	<b>\$4.631</b>	<b>\$4.631</b>	<b>\$5.012</b>

Figura 8.3. Resumen flujo de caja en miles de dólares.

Los ingresos del negocio son únicamente por la venta del hidróxido de litio, esta producción no comenzará siendo en el primer año del máximo permitido, porque se requiere de un periodo previo que permita instalar a la empresa en el mercado, para luego alcanzar esta máxima producción. Es por ello que del año 1 al año 2, los ingresos aumentan considerablemente pasando de un flujo negativo a uno positivo. Al tercer año 3 aumentan un 183%, y así continúan aumentado hasta el año 15, aunque con un crecimiento promedio mucho menor que al comienzo de la operación.

El EBITDA representa en promedio el 22% del total de los ingresos, considerando que se realizará un periodo de desarrollo que será de un año, en el cual no se producirá hidróxido de litio, sino que se dejará para realizar todas las instalaciones previas requeridas, sigue siendo mayor a cero, lo que es un indicador positivo. Otra de las partidas que afecta a este flujo de caja, aunque es un factor externo que no depende de la operación, son los impuestos. Al ser una minera, los impuestos aproximados que estas pagan son de un 25%, debido a esto el flujo

neto efectivo disminuye considerablemente, aunque también para el año dos ya se estabiliza, haciendo que el negocio sea rentable.

## 8.5 Indicadores económicos

Los principales indicadores que se utilizarán en este trabajo para analizar la viabilidad del proyecto son el VAN, EBITDA, TIR y el ROI. Estos serán de utilidad para analizar la rentabilidad del proyecto y sobre todo si es factible económicamente o no lo es.

### 8.5.1 TIR

Este indicador permite conocer cuál es la tasa máxima que el proyecto podría alcanzar, es decir, el lugar donde el VAN se hace cero. El TIR de esta empresa es de un 43%, lo que se ve reflejado en la Figura 9.4, tomando en cuenta toda clase de gasto e ingresos y el periodo de desarrollo de un año en el que no existe ninguna clase de ingresos. Considerando que el TIR tiene un valor de un 43% durante estos quince años, se ha tomado una tasa de un 15% para calcular el VAN.

Tasa	15%
VAN	\$77.723.004
TIR	43%

Figura 9.4. TIR.

### 8.5.2 VAN

El Valor actual neto es indicador financiero igualmente útil porque permite visualizar el flujo de dinero de periodos futuros en el presente, es decir, cuánto vale el dinero que se tiene en el flujo de caja hasta el año 15, actualmente. Para que el proyecto sea rentable el VAN tendrá que ser superior a cero, lo que significará que se recupera la inversión inicial y se obtiene más capital que si se hubiese puesto a renta fija, se considerará una tasa de descuento anual del 15%, esto es considerando que el TIR de la empresa es de 43%.

A continuación, se presenta en la Tabla 8.2 un resumen con los valores para cada tasa de descuento:

Tabla 8.2

Tasa versus VAN (en miles de dólares)

Tasa	VAN
15%	77,723,000
20%	36,688,240
30%	22,270,512
40%	11,486,575
43%	-36,310

Con una tasa de descuento del 15% el VAN obtenido es de US\$77.723.004. Recién con una tasa de descuento del 46% el VAN pasa a ser negativo y por lo tanto el desarrollo de la empresa deja de ser rentable.

### 8.5.3 ROI

Este también es un indicador de utilidad, ya que permite conocer la relación entre el monto que fue invertido y los beneficios que esto genera. En la sección en la que se calcula el capital o la inversión necesaria, en conjunto con el punto de más bajo en el gráfico del flujo de caja, se concluyó que se necesitan US\$32,000,000. Por otro lado, el beneficio obtenido de esto se encuentra en el flujo proyectado a quince años y en este período el flujo neto efectivo total es de US\$77,723,004. Con esto se calcula el ROI:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} = \frac{77,723,004 - 32,000,000}{32,000,000} = 1.4$$

Como el retorno de la inversión es positivo y mayor que uno, esto indica que el proyecto es rentable y por cada peso invertido se obtendrá un retorno de la inversión de aproximadamente 1.4 pesos.

### 8.5.4 EBITDA

El EBITDA mide la capacidad de la empresa para generar beneficios considerando únicamente su actividad productiva, ya que define los ingresos antes de

impuestos, intereses, amortización y depreciación. Es útil debido a que al evaluar una empresa es importante conocer como ésta se mueve en el mercado y no como es afectada por los impuestos, ya que estos van variando en los distintos países, por ejemplo, en Chile es del 25%.

El EBITDA es posible obtenerlo a través de la proyección del flujo de caja presentado, en la que se muestra como *UAI*. A continuación, se observa en la Figura 8.5 el valor del EBITDA a lo largo de los quince años que se está analizando, cabe destacar que los valores se encuentran representados en miles de dólares.

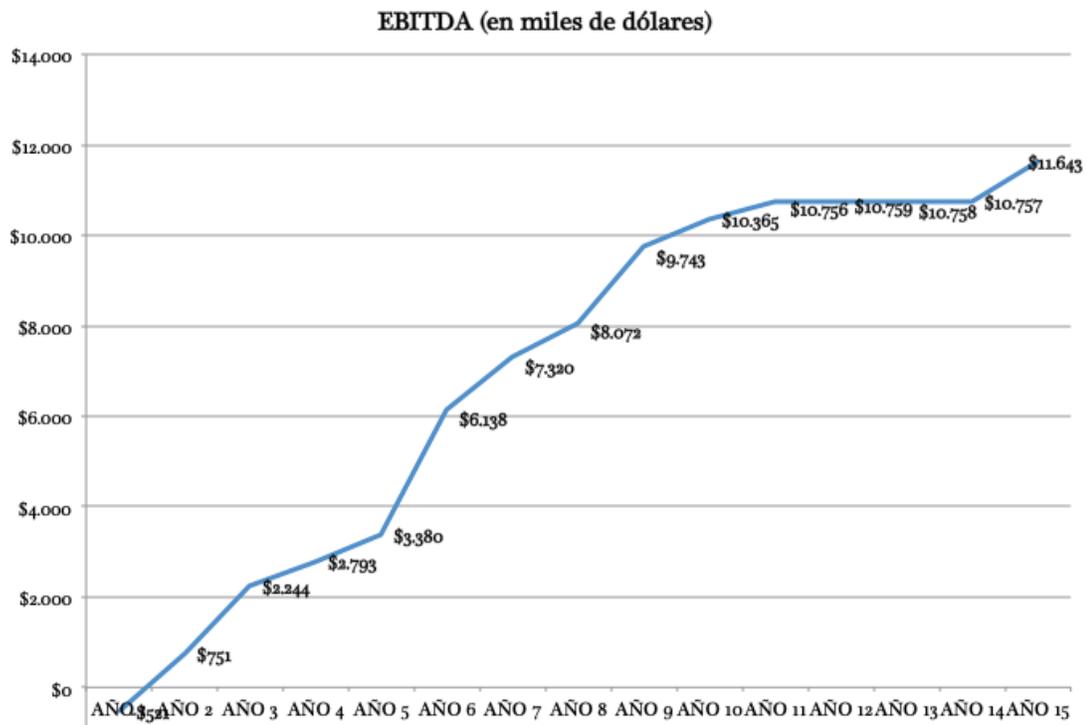


Figura 8.5. EBITDA en el tiempo.

Las ganancias de la empresa se comienzan a ver desde el segundo año. A pesar de que existe un período en el cual no existe producción, aun así se logra tener un EBITDA positivo. Esto es principalmente gracias al precio de venta del hidróxido de litio en el año 2019. Ya para el año tres existe una fuerte alza, que continúa a tasas crecientes hasta el año nueve, es aquí donde la empresa continúa aumentando sus ganancias, sin embargo, a tasas decrecientes, debido

principalmente a que se está alcanzando el máximo de producción permitido para una minera a pequeña escala (3240 toneladas).

### 8.6 Utilidades en el tiempo

Para efectos de análisis de las utilidades en el tiempo se presentarán las Figuras 8.6 y 8.7, en primer lugar, las utilidades en el tiempo mensualizadas. Aquí se presentan ciertos puntos con valores, para tenerlos como puntos de referencia.

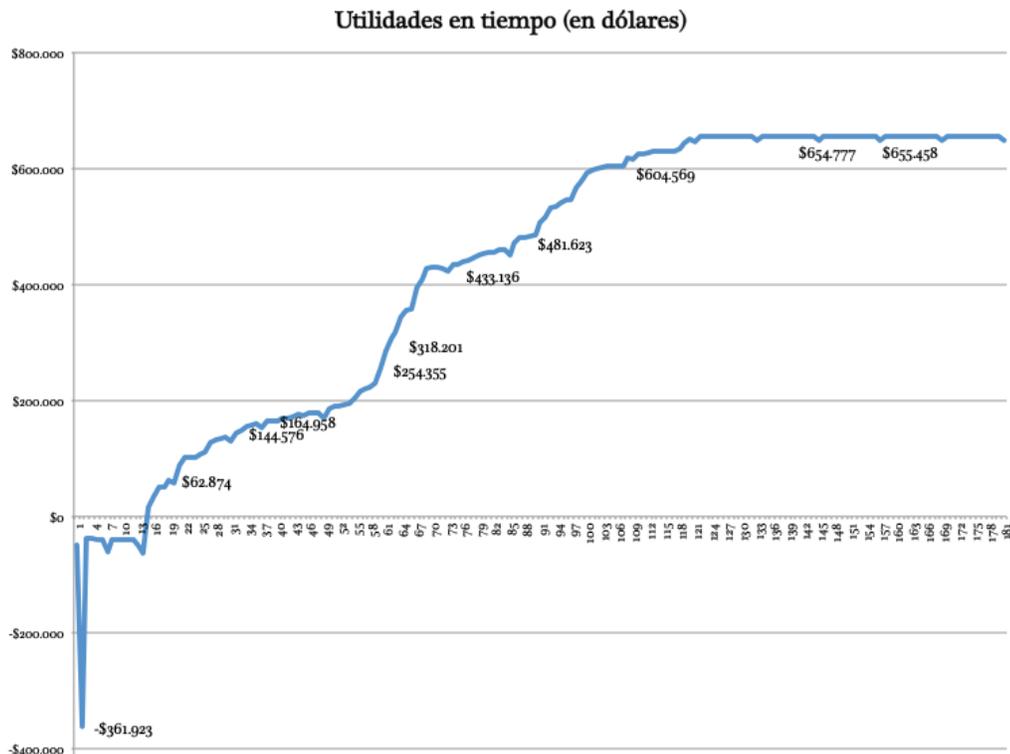


Figura 8.6. Utilidades en el tiempo mensuales (en dólares).

A comienzos del primer año de operación existe una fuerte baja en las utilidades, la razón es que es aquí donde se hace la compra de todos los activos que se necesitarán, tales como camiones, camionetas, bombas, entre otros. Sin embargo, como es una minera y el precio del hidróxido de litio en el mercado es bastante competitivo, se logra salir rápidamente de estas utilidades negativas. Para conocer en qué punto de la operación se logra el punto de inflexión, éste se presentará en la sección 8.7: *Punto de inflexión*. Para los meses siguientes, se observan alzas constantes, las cuales se normalizan aproximadamente en el mes cien.

A continuación, en la Figura 8.7, se presentan las utilidades en el tiempo anuales en miles de dólares, en la que se observa que ya en el año nueve comienzan a estabilizarse las ganancias que obtiene la empresa.

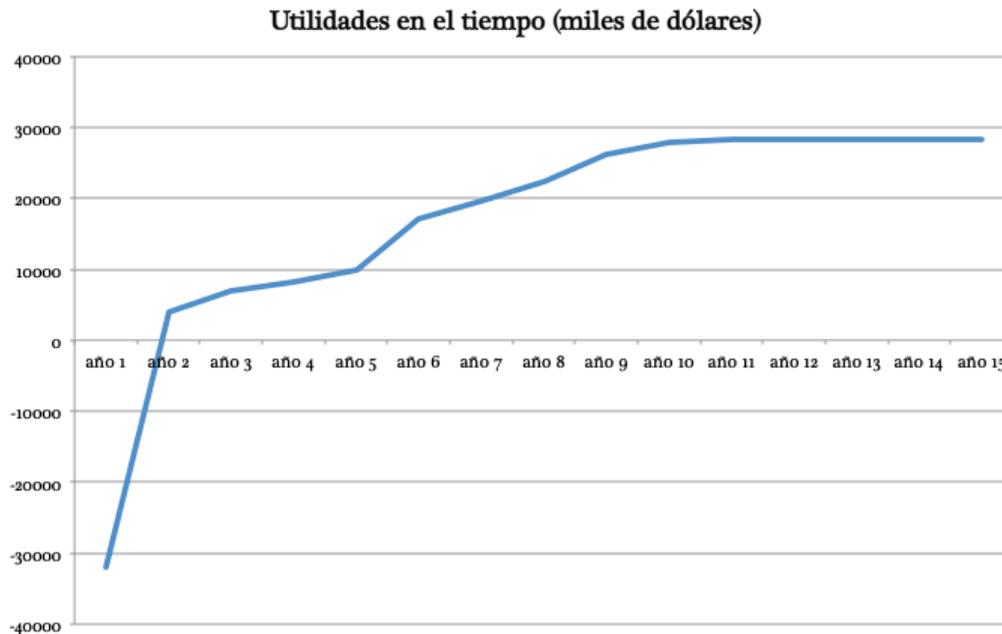


Figura 8.7. Utilidades de la empresa a través del tiempo (en miles de dólares)

### 8.7 Punto de inflexión

Este permite conocer las proyecciones esperadas y servirá para conocer en qué mes, desde el inicio del desarrollo de esta implementación, se comienzan a tener utilidades. Claramente durante los primeros meses donde se debe instalar todo lo requerido por la empresa, ésta se encontrará en el denominado valle de la muerte, fase en la que se tiene una caja negativa. Esto se logra revertir en el mes 15 (Marzo 2020), donde ya se ha empezado a producir hidróxido de litio y gracias a esto ya se logran cubrir todos los costos y gastos que existen.

Durante los meses siguientes, se ve un mayor crecimiento desde el mes 16 hacia adelante, esto es debido a que aumentan las toneladas producidas mensualmente en tasas crecientes, a diferencia de los meses posteriores en los cuales ya se ha prácticamente alcanzado la cuota impuesta para una minera a pequeña escala y por lo tanto los ingresos junto con los costos y gastos se mantiene prácticamente

iguales. El peak de la caja negativa se encuentra en el mes 1 (febrero), porque es aquí donde se comprarán los activos de la empresa, que son los costos más altos que se deberán asumir durante la operación. Esto puede verse reflejado en la Figura 8.8.

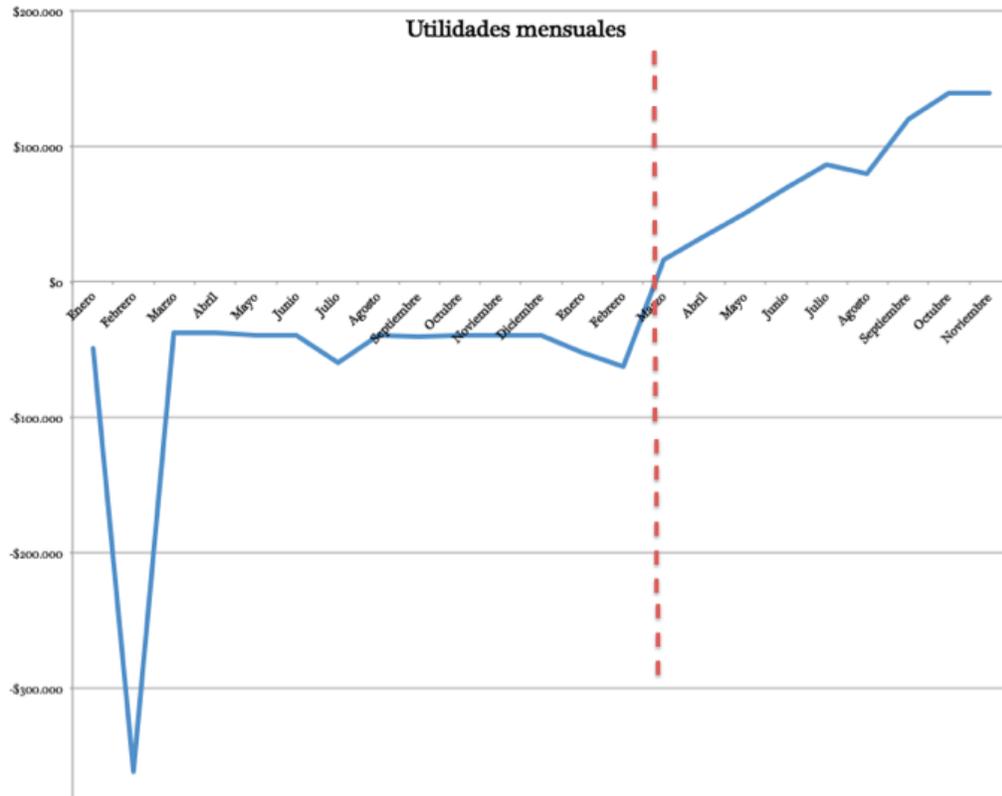


Figura 8.8. Punto de inflexión.

## 8.8 CAPEX

En primer lugar, se analizará lo que ocurre con el CAPEX, debido a que la inversión que se necesita hacer inicialmente es un punto en contra que tiene la minería a pequeña escala, ya que no cuenta con los recursos necesarios y es por esto que no han logrado incursionar en el sector. Por ende, en este sentido lo que se realizará será comparar la inversión que se necesita al hacer al hacer piscinas de evaporación, que es lo que existe actualmente en la producción de litio, versus la inversión que se necesita hacer al realizar el proceso que se ha mencionado anteriormente, que consiste en electrodiálisis para obtener hidróxido de litio directamente.

### **8.8.1 CAPEX de producción de hidróxido de litio a partir de salmueras con pozas de evaporación solar**

El mayor costo que se tiene en esta metodología es la instalación de las pozas solares, la operación en la planta de carbonato de litio no significa tanto en términos económicos. Actualmente se necesitan aproximadamente US\$10 por kilo de carbonato de litio producido o, expresado en toneladas, se necesitan US\$10 mil. De esto, la mitad es dinero que se utiliza para el funcionamiento e instalación de pozas solares, lo que puede verse reflejado en los estados financieros consolidados, correspondientes al período terminado al 31 de diciembre de 2017, publicados por la empresa Sociedad Química y Minera de Chile S.A. y Filiales [59].

Según la información obtenida del diario financiero, SQM, gastó durante el año 2017 aproximadamente US\$400 millones. Considerando los datos anteriores, SQM produjo aproximadamente 40000 toneladas de LCE. Por lo tanto, y considerando la relación mencionada con anterioridad, US\$200 millones que se gastaron fueron producto de las pozas de evaporación y lo restante son los costos de planta de carbonato de litio, hidróxido de litio, cloruro de litio y otros costos o gastos asociados [59].

Concluyendo, son requeridos aproximadamente US\$200 millones de dólares, para la instalación y mantención de las pozas de evaporación solar. Claramente no existe posibilidad de que una minera a pequeña escala logre implementar esta metodología, en primer lugar, porque no cuenta con los recursos necesarios y en segundo lugar porque el retorno de la inversión se haría en un período de tiempo relativamente alto.

### **8.8.2 CAPEX de producción de hidróxido de litio a partir de electrodiálisis**

Se realizó la simulación de una matriz y Flujo de Caja en el plazo de 15 años, comenzando desde enero de 2019 hasta enero de 2034. Dentro de esta proyección se han considerado los principales costos que son la compra de activos. Esta inversión es fundamental realizarla el primer año, porque permitirá comenzar con la operación. La inversión inicial que se necesita hacer es de un

US\$32,000,000. También dentro de la inversión inicial se deben considerar un año de fase beta, en los cuáles no se obtiene ningún tipo de ingresos.

En comparación con los USD\$200,000,000 que se necesitan para hacer las pozas de evaporación solar, el primero representa solo un 16%, es mucho más asequible, sobre todo para una minera pequeña. Ahora, si bien es cierto la inversión inicial que se necesita es un aspecto fundamental en términos de las decisiones que toma una empresa para iniciar operaciones, también lo son los costos operacionales u OPEX, los cuáles serán comparados también a continuación.

## **8.9 OPEX**

### **8.9.1 OPEX producción de hidróxido de litio a partir de salmueras con pozas de evaporación solar**

Según la información obtenida de los estados financieros de la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. y Filiales, el costo de producir carbonato de litio a partir de salmueras es de aproximadamente US\$2.5 a US\$3.0 por kilo de LCE, en términos de toneladas son US\$2500 a US\$3000 [59].

### **8.9.2 OPEX de producción de hidróxido de litio por electrodiálisis**

Los costos operacionales que tiene esta metodología son principalmente la electricidad y el agua, ya que esto se utiliza directamente para la producción, además de los implementos de seguridad, el petróleo para el traslado de los camiones, entre otros que son menores en proporción. Estos, cuando se suman sus costos, son un total de US\$4.0 por kilo de LCE producido o US\$4000 por tonelada. En este caso, al realizar la comparación con el método anterior, se tienen mayores costos de operación, aumentando un 33%. Sin embargo, teniendo en cuenta que la diferencia de CAPEX es mucho mayor, sigue siendo conveniente el método propuesto.

## 8.10 Posicionamiento en el mercado

El posicionamiento será una base fundamental para la empresa que pretenda diferenciarse y poder perdurar en el tiempo, ya que la industria es una constante competencia con las empresas más grandes que producen litio.

Para medir el posicionamiento de esta empresa pequeña que se está analizando, se necesita conocer qué porcentaje del mercado posee. De acuerdo al registro y a las cartas de iniciación de faenas que llegan al Servicio Nacional de Geología y Minería lo que suma un total de 5819 faenas en el país. La empresa produciría un máximo de 5000 toneladas de LCE, y sabiendo que la demanda durante el año 2018 fue de unas 300000 toneladas de LCE, es decir posee un 2.5% del mercado, lo que es relativamente bajo, considerando que las dos empresas que explotan actualmente en Chile poseen aproximadamente el 50% del mercado mundial. Sin embargo, este es el porcentaje del mercado de la empresa en sus inicios, y se espera que en un futuro logre tener como cliente una mayor cantidad de empresas compradoras, aumentando así su posición del mercado. Además, es fundamental que esta empresa se apoye en los siguientes requisitos que serán su fuerte:

- Proporcionar hidróxido de litio de alta calidad
- Mejorar continuamente la eficacia de los procesos, promoviendo la innovación como parte de sus características como empresa.
- Cumplir con los requisitos del mercado y de sus clientes

Por otro lado, dentro de las variables que incidirían en el valor de un futuro proyecto de obtención de hidróxido de litio en base a salmueras se encuentran:

- **Concentración de litio:** Cantidad de sales que podrían ser recuperables desde la salmuera.
- **Superficie del salar:** Porque esto permitiría determinar la cantidad de salmueras disponibles.

## 8.11 Comparación de metodologías

Una vez desarrollado ampliamente la explicación de ambas metodologías de interés, la actualmente utilizada y la propuesta a lo largo de este informe, se procede a realizar una comparación de ambas, en los aspectos más relevantes. Esta información se detallará en la Tabla 8.3, a modo de resumen.

Tabla 8.3

### *Comparación metodologías*

	Evaporación	Electrodiálisis
Cantidad de agua consumida por tonelada de LCE producida	1.000.000 litros	2.596 litros
Impacto ambiental	Impacto Alto	Impacto Medio
Tiempo de producción	Anualmente	Mensualmente
Inversión Inicial (CAPEX)	US\$200.000.000	US\$32.000.000
Costos de Operación (OPEX)	US\$2.5 a US\$3.0 por kilo	US\$4.0 por kilo
Innovación	No representa una innovación	Representa innovación

La magnitud de las reservas de litio en fuentes naturales que posee Chile permiten que sea un actor fundamental, y en un futuro a corto y mediano plazo permitiría que se posicione como principal productor mundial, por el contrario, lo que ocurre actualmente es que las empresas no invierten en innovaciones ni nueva tecnología. Extraen los compuestos por salmueras que conllevan consigo importantes beneficios económicos, ya que, una vez realizada la inversión inicial, no requiere mayores instalaciones de plantas y además utiliza la energía del sol para concentrar las sales, lo que disminuye los costos operacionales. Sin embargo, trae consigo varios aspectos negativos;

- Impacta al medio ambiente: provoca una disminución de recursos hídricos, flora y fauna, genera cambios en la morfología de los suelos por la propia actividad de extracción, gases resultantes son liberados a la atmósfera.
- No permite la producción de hidróxido de litio y cloruro de litio de forma directa lo que genera pérdida de recursos y los tiempos de producción se ven afectados, ralentizándolos.

- No permite que las empresas de pequeña escala puedan producir litio a partir de los salares, por los altos costos de inversión inicial requeridos para comenzar con la operación.

Esto constituye una conducta incompatible con la forma en la que deberían desarrollarse los negocios para beneficiar a todo el país. Se requieren empresas ágiles, modernas, que se dediquen y asuman adecuadamente la responsabilidad de conducir este tipo de proyectos.

Al comparar ambas metodologías se puede discutir que no es necesario que haya dos grandes empresas realizando todo el trabajo y generando el alto impacto al medio ambiente que producen, por el contrario, pueden existir varias empresas pequeñas en su reemplazo, satisfaciendo la demanda creciente de una manera mucho más sustentable en el tiempo. De manera que, los principales beneficios obtenidos son los siguientes:

- Es más factible conectar pequeñas empresas en una cadena de suministro para los compradores, se puede superar el problema de la estacionalidad, lo cual podría abrir un nuevo negocio de producción de baterías en Chile.
- Si esta metodología se llegase a implementar y se considerara que 20 empresas pequeñas comiencen a invertir y producir cada una 5000 toneladas de LCE, serían capaces de producir en la actualidad la mitad del consumo anual de LCE en el mundo, con lo que benefician también la competitividad de Chile en los mercados internacionales.
- Se pueden beneficiar directamente a empresas pequeñas que buscan una opción económicamente factible en la industria de la minería no metálica y sin ser una amenaza para el medio ambiente.

Si bien es cierto esta investigación se desarrolló en torno a las nuevas metodologías que pudiera utilizarse para la extracción de litio, se deja abierto el espacio para el futuro debate acerca de otros aspectos, como por ejemplo buscar formas de agregar valor a esta industria, produciendo cátodos de baterías para autos eléctricos, invirtiendo en nuevas aplicaciones, etc.

Se espera que esta investigación sea una guía para el camino que se debe seguir en el desarrollo de esta industria, que se abra el debate en torno a este tema, que Chile, un país minero, fomente el crecimiento, en particular, de la pequeña y mediana minería.

Como cierre de este trabajo se puede decir que, dado como se ha venido realizando este camino del litio, se presenta un horizonte de grandes expectativas para la actividad minera. Los desafíos son grandes, precisamente porque la demanda futura parece estar asegurada. Se espera que las baterías de ión litio mejoren su demanda, impulsadas por la evolución de la nano tecnología. Frente a éste situación se enfatiza la necesidad de acompañar esta rápida evolución con controles ambientales serios y comprometidos, tanto por parte del estado como de las empresas que explotan el sector, que ambos se responsabilicen de lo que ocurre y del impacto que generan las acciones que realizan.

Las condiciones políticas que impulse el estado serán fundamentales y puede tanto beneficiar como perjudicar a esta actividad económica y se debe tener muy presente que los posibles impactos que se pueden alcanzar, en términos de empleo, producción, desarrollo portuario, los ingresos que puede recibir el estado en el futuro, hacen necesaria esta responsabilización.

Como se ha mencionado latamente en este estudio, el litio es un mineral cada vez más importante. La proyección que tiene este mineral en su aplicación a las nuevas tecnologías, lo hacen un recurso valioso y de cada vez mayor interés y Chile tiene un papel fundamental en este mercado, ya que es uno de los países con mayores reservas de litio en el mundo y con una buena gestión permitirá aumentar las inversiones mineras e ingresos para el país, incluso pudiendo alcanzar valores de exportación similares a la de otros sectores en los que Chile se destaca internacionalmente.

Si bien es cierto a diferencia del cobre, donde el país tiene una amplia experiencia de muchas décadas, en la química del litio no hay tanta experiencia, sin embargo, la fuerte alza en su consumo da la oportunidad de desarrollar este sector con una visión integral, no solo enfocada en el aumento productivo y atracción de las

inversiones, sino que también en el campo de la investigación e innovación para nuevas formas de extracción de este mineral, considerando con fuerza el eje ambiental, atendiendo la complejidad del ecosistema de los salares.

Es por ello que este trabajo tuvo por objetivo estudiar la factibilidad, tanto técnica como económica de una nueva metodología de obtención de hidróxido de litio a partir de salmueras y que contribuye a desarrollar la ciencia y tecnología, en términos generales, alrededor del litio, presentando un horizonte de altas expectativas y plantear el camino más aconsejable de seguir, para esta actividad minera.

Durante el desarrollo de este también se exploró las principales dificultades de los métodos de extracción de compuestos de litio que son utilizados actualmente de manera que la nueva metodología planteada para obtener hidróxido de litio evita que sea necesario pasar por el proceso de obtención de carbonato de litio previamente que hace que los costos aumenten.

Esta metodología consistió en concentrar el litio que se encuentra en las salmueras y eliminar las impurezas a través de la electrodiálisis. Para ello se utilizó una celda electroquímica con dos electrodos, uno de ellos selectivo a iones litio y otro selectivo a iones de cloruro, de esta manera se obtiene litio puro, el que luego combinado con agua para producir hidróxido de litio.

El proceso de la electrodiálisis permite optimizar recursos en la industria y el diseño del modelo de la celda de electrodiálisis presentado abarca algunos de los fenómenos fundamentales que ocurren en la mecánica de fluidos y la electricidad, con el objetivo de llevar esto a los costos que significaba construir esta celda. Si bien es cierto la literatura de la electrodiálisis no es muy extensa debido a que en la actualidad es una tecnología aún en fase de desarrollo para producir litio, es de creciente interés, es por ello que este trabajo buscó ser un aporte en la aplicación de estas nuevas tecnologías en un campo completamente nuevo.

Los beneficios que se pueden obtener de esta nueva metodología son múltiples, partiendo porque es una metodología innovadora, que permite a las empresas de

pequeña escala extraer hidróxido de litio a partir de salmueras, además mencionando que esto tiene un impacto ambiental mucho menor a las pozas de evaporación, ofrece un claro beneficio a la población de alrededores del desierto de Atacama, ya que ésta es una región que tiene un importante estrés hídrico, y esto permite cuidar este recurso, además de cuidar la flora y fauna existente en el lugar por lo que no supone una amenaza tan grave para el medio ambiente.

## **CAPÍTULO IX CONCLUSIÓN**

Al término de esta memoria se ha llegado a las siguientes conclusiones más relevantes sobre vía propuesta:

- Los costos de inversión inicial que tiene la producción de litio a partir de salmuera, alcanzan valores de US\$200000000, en cambio a través de electrodiálisis, es posible producir inicialmente con menores costos y además con menor impacto al medio ambiente, siendo una racionalización de la producción.
- Se minimiza el riesgo de tener dos grandes empresas que dominen todo el mercado local y que puedan tener fallas, dividiendo la producción en pequeñas empresas, lo que aumenta la flexibilidad del mercado.

Si bien es cierto los desafíos son muy grandes y las nuevas tecnologías tendrán que pasar por una serie de obstáculos para ser implementadas, es imprescindible presentar mejoras y abrir el debate hacia nuevas opciones, por variadas razones, por la degradación ambiental derivada de la actividad minera, por las altas inversiones iniciales requeridas, por el mercado cambiante, entre otras.

## REFERENCIAS

- [1] Raymond C., 'Química', Tabla periódica de los elementos, McGrawHill, décima edición, México.
- [2] Lenntech. (2017). Propiedades químicas del Litio. [Online]. Available: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/li.htm>
- [3] Smith. W., Hashemi. J., Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Editorial McGraw Hill, Cuarta edición, 2006
- [4] J. Mendrano, 'Mogens Schou (1918 - 2005) y el litio', NORTE DE SALUD MENTAL, vol. 1, no 26, pp. 82-88, 2016.
- [5] MiningPress. (5, Abril 2018). 'Litio: El informe especial del gobierno argentino'. Online. Available: <http://www.miningpress.com/nota/307223/litioel%20informe-especial-del-gobierno-argentino>.
- [6] Comisión Chilena del Cobre, 'Mercado internacional del litio y su potencial en Chile', 2017.
- [7] 'Litio, un mineral que tiene múltiples usos', *La Nación*, vol. 1 no.1. pp 1-2. Septiembre, 2017.
- [8] R. Briones, H. Bosselin, G. Gutiérrez & J. Zagal, 'El litio, mineral estratégico para la energía en Chile y el mundo', *elmostrador*, Diciembre 2017.
- [9] F. Aguilar & L. Zeller, Centro de derechos humanos y ambiente. El nuevo horizonte minero dimensiones sociales, económicas y ambientales, Córdoba, 2012.
- [10] EcuRed, (2018, Abril 3) Minería, [Online], Available: <https://www.ecured.cu/Miner%C3%ADa>
- [11] Ministerio de minería, (2018, Abril 3), Tipos de Minerales, [Online], Available: <http://www.minmineria.gob.cl/%C2%BFque-es-la-mineria/tipos-de-minerales>
- [12] Ministerio de minería, (2018, Mayo 3), Chile, Marzo, 2018. 'Historia de la minería en Chile', Online, Available: <http://www.minmineria.gob.cl/%C2%BFque-es-la-mineria/historia-de-la-mineria-en-chile/>
- [13] L. Gravel, 'Litio y las dificultades para la obtención de una calificación ambiental favorable en el salar de atacama. Análisis de las causas'. Tesis. Universidad de Chile. 2015, Santiago, Chile.
- [14] ICARITO, 'El impacto ambiental de la minería en Chile', 2010, Online. Available: <http://www.icarito.cl/2010/06/38-9191-9-4-mineria-y-mineralogia.shtml/>

- [15] Chile365. 'Flora y Fauna del desierto de Atacama. San Pedro de Atacama'. Online. Available: <https://www.chile365.cl/es-region-2-flora-y-fauna-de-desierto-de-atacama.php>
- [16] Production of Lithium Hydroxide from Lake Brines through Electro- Electrodialysis with Bipolar Membranes (EEDBM). Chenxiao Jiang, Yaoming Wang, Qiuyue Wang, Hongyan Feng, and Tongwen Xu. Industrial & Engineering Chemistry Research.
- [17] A. Valencia. 'La era del litio', *Revista Colombiana de los materiales*, vol. 1, no.9, pp 1-14, 2016.
- [18] P. Bolufer, Asociación Española de Comunicación Científica, (2018, Noviembre 3). China nos ofrece la desalación de mar más económica <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/164303-China-nos-ofrece-la-desalacion-de-mar-mas-economica.html>
- [19] E. Chaparro, 'La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial', CEPAL, Santiago, Chile, Tech. Rep. serie 6, Julio 2000.
- [20] SQM, *Carbonato de litio*, Online: Available: <http://www.sqm.com/eses/productos/litio/carbonatodelitio/qlithiumcarbonatecrystallized.aspx>
- [21] A. ADS. (2018, Abril 3). CAPEX: Ciclo de vida de la empresa y su valoración (1ª edición) [Online]. Disponible: <http://www.analistoads.com/2016/03/capex-capital-expenditure-ciclo-de-vida-y-su-valoracion.html>
- [22] G. Inostroza. 'MODELO DE NEGOCIO PARA EMPRESA DE SERVICIOS A LA MINERÍA', trabajo fin de máster, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, UChile, Santiago, Chile, 2013.
- [23] Garritz, Gasque & Martínez, 'Energía, termoquímica y espontaneidad', pág 305, (2005).
- [24] EcuRed, (2019, Enero 20). Densidad, [Online], Available: <https://www.ecured.cu/Densidad>
- [25] Y. Cengel & J. Cimbala, *Mecánica de Fluidos*. 2ª edición. McGrawHill, 2012
- [26] V. Cabrera, 'Mecánica de fluidos', class notes for NRC 26263, Facultad de ingeniería, Universidad Finis Terrae, I semestre 2017.
- [27] C. Lagos, 'Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio', Cochilco, Atacama, Chile. Inf. Inv. Diciembre 2018.

- [28] Codelco Educa. Flotación. (2019, Enero 28). Online, Available: <https://www.codelcoeduca.cl/site/edic/base/port/flotacion.html>
- [29] A. Manrique, 'Explotación del Litio, producción y comercialización de baterías de litio en Argentina', 1ª ed. Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 2015.
- [30] M. Carrere. (2018, Octubre 31). Explotación de litio en Chile: renueva contrato a empresa infractora ambiental. [Online]. Available. <https://es.mongabay.com/2018/10/explotacion-de-litio-en-chile-estado-renueva-contrato-a-empresa-infractora-ambiental/>
- [31] American College of Sport Medicine. (2018, Octubre 7). Online. Available: <http://www.acsm.org/>
- [32] CareFirts, (2018, Noviembre 25). Litio. Online. Available: [http://carefirst.staywellsolutionsonline.com/spanish/testsprocedures/167,lithium\\_ES](http://carefirst.staywellsolutionsonline.com/spanish/testsprocedures/167,lithium_ES)
- [33] J. Díaz & D. Tapia. 'Procedimiento de extracción de litio para la obtención de carbonato de litio, desde una salmuera o mineral y/o arcilla previamente tratado para estar libre de boro', Iholdi minerales, Atacama, Chile, Inf. Inv. 2013.
- [34] F. Villalobos. '¿Por qué Argentina podría desplazar a Chile como el primer productor de litio del mundo?', *Emol*, vol. 12, pp. 6-7, Marzo 2017.
- [35] El estadista. (2019, Enero 28). Ranking de los principales países productores de litio a nivel mundial en 2017 (en toneladas métricas). Online, Available: <https://es.statista.com/estadisticas/600308/paises-lideres-en-la-produccion-de-litio-a-nivel-mundial/>
- [36] I. Garcés, 'La industria del litio en Chile', Depto. De Ingeniería. Universidad de Antofagasta.
- [37] Vitousek 1994, Hannah et al. 1995, Leemans & Zuidema 1995
- [38] I. Salaverría. (2018, Noviembre 26). Salar de Atacama y laguna altiplánicas: agua en el desierto. [Online]. Available: <https://www.fotografiandoviajes.com/2017/01/Salar.Atacama-Lagunas.altiplanicas-Chile.html>
- [39] A. Gajardo. Potencial de litio en salares del norte de Chile. Sernageomin, Gobierno de Chile, 2014.
- [40] Universidad de Buenos Aires, (2018, noviembre 26), 'REACCIONES REDOX Y CELDAS ELECTROQUÍMICAS', Química General e Inorgánica. [Online]. Available: [https://campus.exactas.uba.ar/pluginfile.php/24603/mod\\_resource/content/1/UNIDAD%2009.pdf](https://campus.exactas.uba.ar/pluginfile.php/24603/mod_resource/content/1/UNIDAD%2009.pdf)
- [41] J. Cedrón.; V. Landa & J. Robles. Electrólisis de soluciones acuosas. (2019, Enero 28). Online, Available: <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/433-electrolisis-de-soluciones-acuosas.html>
- [42] U. López, 'Aplicación de la electrodiálisis a la eliminación de nitrato en el agua', trabajo fin de máster, centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica, México, Febrero 2005.

- [43] I. García, agua, Producción de cloro in situ mediante electrolisis de salmuera. (2019, Enero 28). Online, Available: <https://www.iagua.es/blogs/elena-torre/produccion-cloro-in-situ-mediante-electrolisis-salmuera>
- [44] G. Lagos, 'El desarrollo del litio en Chile: 1984-2012', tesis de magíster, Centro de minería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 2012.
- [45] A. Quintana. La Configuración Electrónica de la Tabla Periódica (2013). (2019, Enero 28). Online, Available: <http://trabajodeconfiguracion102.blogspot.com/>
- [46] I. Salaverria.(2018, Noviembre 26). Salar de Atacama y laguna altiplánicas: agua en el desierto. [Online]. Available: <https://www.fotografiandoviajes.com/2017/01/Salar.Atacama-Lagunas.altiplanicas-Chile.html>
- [47] D. Pasten. (2017, Agosto 10). Litio versus agua: ¿costo y beneficio? [Online]. Available. <http://www.comunicacionesua.cl/2017/08/16/litio-versus-agua-costoy-beneficio/>
- [48] S. Hareh, 'Diseño de una planta de electrodiálisis', Proyecto/Trabajo final de carrera, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2009.
- [49] L. Noval, 'El cloro, producción e industria', Tesis de Magister, Julio 2017, España.
- [50] Eltribuno (2018, Octubre 3), detalle del proceso de extracción por sistema natural, [Online]. Available. <https://www.tribuno.com/ujuy/nota/2011-3-26-22-20-0-detalles-del-proceso-de-extraccion-por-sistema-natural>
- [51] A. Propiedades de algunos conductores y aislantes. (2018, Noviembre 26). [Online]. Available: [https://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap06\\_conductores\\_aislantes.php](https://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap06_conductores_aislantes.php)
- [52] Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía. (2017, Agosto 10). , Propiedades de los metales, ISSN: 1989-4023 ,Andalucía, España, 2011. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8631.pdf>
- [53] Wright, John W., ed. (2006). *The New York Times Almanac* (en inglés). New York, New York: Penguin Books. p. 456. ISBN 9780143038207.
- [54] Organización Desalación, (2018, Noviembre 10), tecnología de electrodiálisis reversible, [Online]. Available: <http://www.desalacion.org/wp-content/uploads/2013/08/TECNOLOGI%CC%81A-EDR-v.2.pdf>.
- [55] A. Moreno, 'Conceptos básicos de ósmosis inversa', Curso. Online: Desalación del agua, Cap. 6, Online, Available: <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/conceptos-basicos-osmosis-inversa-4-4>

[56] P. Campos, 'Mercado del litio: Desafíos y oportunidades', presentado en 'Foro del Litio 2018', Santiago, Chile, 2018.

[57] La Tercera, 'Ganancias de SQM crecen 54% en 2017, impulsadas por el litio', LT, Marzo, 2018.

[58] P. San Juan, 'SQM prevé que el precio del litio podría subir cerca de 20% el primer semestre de 2018', LT, Abril, 2018.

[59] SQM, Estados financieros consolidados, Santiago, 2018.

[60] N. Suárez, Escuela de Organización Industrial, Método Delphi, España 2012, (Enero 29, 2019), Online, Available: <https://www.eoi.es/blogs/nataliasuarez-bustamante/2012/02/11/%C2%BFque-es-el-metodo-delphi/>

[61] COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre) . Dirección de Estudios y Políticas Públicas. "Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio (DE/12/09)

[62] SQM, (2018, Octubre 3), Procesos de producción, Litio, [Online]. Available: <https://app.sqm.com/asp/AcercaDe/ProcesoProduccion.aspx>

[63] (2018, Noviembre 25). La configuración electrónica de la tabla periódica. [Online]. Available: <http://trabajodeconfiguracion102.blogspot.com/>

[64] Banco Mundial. (2018, Noviembre 17), <https://datos.bancomundial.org/indicador/IC.EXP.COST.CD>

[65] E. Gutiérrez. *Química Inorgánica*. España: Editorial Reverté, 1985

[66] Areatecnología, 'Los Metales', Online. Available: <http://www.areatecnologia.com/losmetales.htm>

[67] Outlet Minera, 'Qué es el cobre', Online. Available: <http://outletminero.org/que-es-el-cobre/>

[68] Ministerio de minería, Chile, Marzo, 2018. 'Historia de la minería en Chile', Online, Available: <http://www.minmineria.gob.cl/%C2%BFque-es-la-mineria/historia-de-la-mineria-en-chile/>

[69] El mostrador, Litio mineral estratégico para la energía en Chile, (2018, Noviembre 25), Online, Available: <http://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2017/12/16/el-litio-mineral-estrategico-para-la-energia-en-chile-y-el-mundo/>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Factores de equivalencia de compuestos de litio .....	28
Tabla 5.1 Especificación de salares en Chile .....	34
Tabla 5.2: Especificación de composición del Salar de Atacama .....	35
Tabla 6.2: Datos del proceso .....	50
Tabla 7.1: Valoración poder de negociación con clientes.....	59
Tabla 7.2: Valoración rivalidad entre las empresas .....	61
Tabla 7.3: Valoración amenaza de nuevos entrantes.....	63
Tabla 7.4: Valoración de negociación con proveedores.....	64
Tabla 7.5: Valoración de amenaza de productos sustitutos .....	66
Tabla 7.6: Valoraciones totales.....	66
Tabla 7.1: Factores de equivalencia de compuesto de litio.....	80
Tabla 7.2: Tasa de descuento anual y VAN.....	84
Tabla 7.3: Comparación de metodologías .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Estructura cristalina del litio .....	1
Figura 1.2: Reservas y Recursos de litio por país .....	3
Figura 2.1: Línea de tiempo de la industria minera.....	12
Figura 3.1: Esquema general de la electrodiálisis .....	17
Figura 3.2: Roca Espodumeno .....	22
Figura 3.4: Salar de atacama .....	24
Figura 4.1: Principales países productores de litio en 2016 .....	27
Figura 4.2: Principales países productores de litio en 2017.....	29
Figura 4.3: Principales fuentes de litio .....	31
Figura 4.4: Obtención de litio metálico .....	31
Figura 5.1: Esquema general de la electrodiálisis.....	37
Figura 5.2: Electrólisis de cloruro de litio.....	37
Figura 5.3 Proceso de concentración de salmuera.....	39
Figura 5.4 Proceso de obtención de litio.....	40
Figura 5.5 Proceso de obtención de hidróxido litio.....	43
Figura 5.6 Proceso de obtención de cloruro de litio.....	44
Figura 5.7 Diseño fuente electrolítica.....	46
Figura 5.8: Polarización de la membrana.....	48
Figura 6.1: Cloruro de litio – Hidróxido de sodio .....	53
Figura 6.2: Obtención de litio puro .....	54
Figura 7.1: Cadena de valor.....	57
Figura 7.2: Análisis FODA y estrategia .....	68
Figura 8.1: Evolución del precio del hidróxido de litio.....	74
Figura 8.2: Producción esperada mensual de hidróxido de litio.....	75
Figura 8.3: Proporción de costos .....	81
Figura 8.4: Resumen flujo de caja (en miles de dólares)....	82
Figura 8.5: TIR .....	83
Figura 8.6: Tasa de descuento anual vs VAN .....	84
Figura 8.7: EBITDA en el tiempo.....	87

Figura 8.8: Utilidades en el tiempo mensuales (en dólares).....	90
Figura 8.9: Utilidades de la empresa a través del tiempo.....	88
Figura a.1: Diagrama de Moody.....	109

## ANEXOS

### Anexo [A]: Cálculos hidráulicos para celda electrolítica experimental

- Área de la tubería

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 [m^2]$$

$$A = \left( 3.142 \cdot \frac{(0.0254[m^2])}{4} \right) [m^2] = 0.00507[m^2]$$

- Velocidad del fluido

$$Q = v \cdot A \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$v = \left( \frac{0.000166 \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{0.00507[m^2]} \right) \left[ \frac{m}{s} \right] = 0.033 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

- Flujo másico

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m} = \left( 1052 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] \cdot 0.033 \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot 0.000507[m^2] \right) \left[ \frac{Kg}{s} \right] = 0.0176 \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

- Factor de fricción  $f$ :

Para calcular el factor de fricción de la tubería de PVC que será utilizada, se debe saber que el número de Reynolds es de un flujo turbulento, y por lo tanto será mayor a 4.000, además también se debe conocer la rugosidad relativa la cual se encuentra en la bibliografía, entonces para calcular el factor de fricción será requerido el diagrama de Moody, que se presenta a continuación en el gráfico a.1

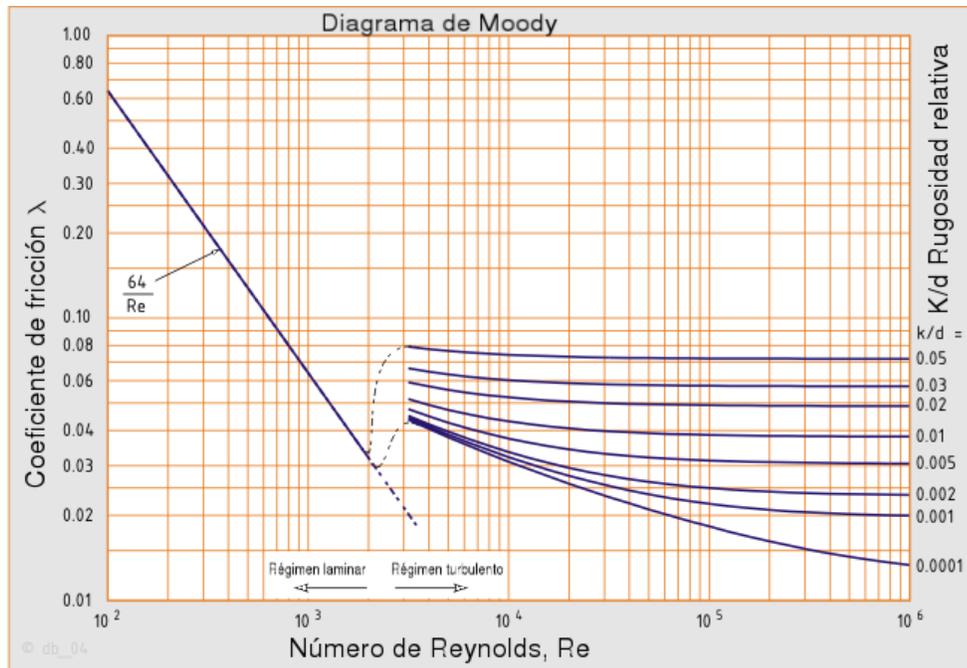


Figura a.1: Datos del proceso

Fuente: Libro de Mecánica de Fluidos Cengel-Cimbala.

Acá debe ser trazada la línea donde se intersectan la rugosidad relativa de  $0.0015\text{mm}$ , junto con el número de Reynolds de  $4.000$  apróx. Con lo que se obtiene que el coeficiente de fricción  $\lambda = 0.035$

Una vez obtenido el factor de fricción es posible calcular las pérdidas de carga, mediante la ecuación (3.7) y (3.8).

Al ser un sistema que tiene varias partes conformantes, el total de las tuberías es de  $6$  metros, pero estas se van dividiendo a lo largo del sistema, existiendo  $4$  partes de  $300\text{ cm}$  cada una y  $3$  partes de  $1.6\text{m}$  cada una.

$$h_{f1.1} = (0.035 \cdot \frac{0.300[m]}{0.0254[m]} \cdot \frac{(0.033 [\frac{m}{s}])^2}{2 \cdot 9.81 [\frac{m}{s^2}]})$$

$$h_{f1.1} = 1.48 \times 10^{-8} [m]$$

$$h_{f1.2} = (0.035 \cdot \frac{1.66[m]}{0.0254[m]} \cdot \frac{(0.033 [\frac{m}{s}])^2}{2 \cdot 9.81 [\frac{m}{s^2}]}) [m]$$

$$h_{f1.2} = 0.0001265[m]$$

- Pérdidas de carga secundarias

$$h_{f2.1} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$g$ , aceleración de gravedad

$\xi$ , coeficiente de pérdida por accesorio

$v$ , velocidad del fluido

- Coeficiente de pérdida por accesorios válvula

$$h_{f2.1} = \left( 0.90 \cdot \frac{(0.033 \left[ \frac{m}{s} \right])^2}{2 \cdot 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \right) [m]$$

$$h_{f2.1} = 4.9954 \times 10^{-5} [m]$$

- Coeficiente de pérdida por accesorios válvula

$$h_{f2.2} = \left( 0.21 \cdot \frac{(0.033 \left[ \frac{m}{s} \right])^2}{2 \cdot 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \right) [m]$$

$$h_{f2.1} = 1.1655 \times 10^{-5} [m]$$

- Sumatoria de pérdidas de carga

$$\sum \lambda = 4 \cdot 1.48 \times 10^{-8} [m] + 3 \cdot 1.27 \times 10^{-4} [m] + 4 \cdot 4.99 \times 10^{-5} + 2 \cdot 1.17 \times 10^{-5} [m]$$

$$\sum \lambda = 6.04 \cdot 10^{-4} [m]$$

- Consumo de potencia

Para calcular el consumo de potencia eléctrica se deben tener en cuenta dos operaciones que consumen energía. En primer lugar, está la que consumen los

agitadores, para lograr que el flujo pase de ser laminar a turbulento y para ello se utilizará la ecuación (3.3):

$$P = \left( 5.75 \cdot (0.253[rpm])^3 \cdot 0.03[m]^5 \cdot 1052 \frac{Kg}{m^3} \right) [W]$$

$$P = 2.06 \cdot 10^{-3} [W]$$

## Anexo [B]: Flujo de Caja

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Ingresos (En dólares)</b>																	
Venta de hidróxido de litio	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$210,000	\$280,000	\$350,000
<b>Costos directos</b>																	
Costos de exportación	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$31,500	\$42,000	\$52,500
Electricidad	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$2,500	\$2,500	\$73,500	\$98,000	\$122,500
Agua	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,000	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$1,500	\$2,500	\$2,500	\$52,500	\$70,000	\$87,500
<b>Costos operacionales</b>																	
Motor agitación	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0
Agitadores	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462
Batería	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462
Llave de paso y salida	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90
Membranas intercambio iónico	\$0	\$21,000	\$0	\$0	\$0	\$21,000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$21,000	\$0	\$0	\$0
Tuberías	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0
Cátodo	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
Ánodo	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Gastos básicos</b>																	
Implementos de seguridad	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0
Colación	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
Petróleo	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846
Caja chica	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
<b>RR.HH</b>																	
Supervisor de procesamiento	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231
Ingeniero especialista en mantenimiento	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538	\$5,538
Mantenedor eléctrico	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538
Chofer	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154	\$2,154
Ingeniero en minas	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
Gerente de Finanzas	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
Gerente de Operaciones	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
Jefe de Recursos Humanos	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538	\$1,538
Operarios	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692
Costo mano de obra para instalación	\$1,538	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>Total RR.HH</b>	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231	\$29,231
<b>EBITDA</b>	\$-49,007	\$-361,923	\$-38,292	\$-38,292	\$-39,306	\$-39,292	\$-60,292	\$-39,292	\$-40,306	\$-39,292	\$-39,292	\$-39,292	\$-39,292	\$-52,086	\$-62,371	\$16,129	\$33,629
<b>Impuestos</b>	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
<b>FNE</b>	\$-49,007	\$-361,923	\$-38,292	\$-38,292	\$-39,306	\$-39,292	\$-60,292	\$-39,292	\$-40,306	\$-39,292	\$-39,292	\$-39,292	\$-39,292	\$-52,086	\$-62,371	\$16,129	\$33,629

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	E
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	35
\$350.000	\$420.000	\$490.000	\$518.000	\$630.000	\$700.000	\$700.000	\$700.000	\$770.000	\$840.000	\$840.000	\$868.000	\$882.000	\$896.000	\$938.000	\$938.000	\$966.000	\$994.000	\$1.008.000	\$1.022.000	
\$52.500	\$63.000	\$73.500	\$77.700	\$94.500	\$105.000	\$105.000	\$105.000	\$115.500	\$126.000	\$126.000	\$130.200	\$132.300	\$134.400	\$140.700	\$140.700	\$144.900	\$149.100	\$151.200	\$153.300	
\$122.500	\$147.000	\$171.500	\$181.300	\$220.500	\$245.000	\$245.000	\$245.000	\$269.500	\$294.000	\$294.000	\$303.800	\$308.700	\$313.600	\$328.300	\$328.300	\$338.100	\$347.900	\$352.800	\$357.700	
\$87.500	\$105.000	\$122.500	\$129.500	\$157.500	\$175.000	\$175.000	\$175.000	\$192.500	\$210.000	\$210.000	\$217.000	\$220.500	\$224.000	\$234.500	\$234.500	\$241.500	\$248.500	\$252.000	\$255.500	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5.308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$14.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$21.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$21.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3.102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	
\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	\$3.846	
\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	\$3.077	
\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.256	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	\$9.281	
\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.553	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	\$5.568	
\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	
\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.160	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	\$2.165	
\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	
\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	
\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.085	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	\$3.094	
\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.543	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	\$1.547	
\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.713	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	\$7.734	
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	
\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.310	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	\$29.389	
\$50.115	\$68.629	\$86.129	\$79.129	\$120.115	\$138.629	\$138.629	\$138.629	\$145.335	\$152.550	\$173.550	\$180.550	\$183.036	\$187.550	\$177.050	\$198.050	\$204.036	\$212.050	\$215.550	\$219.050	
\$0	\$18.530	\$23.255	\$21.365	\$32.431	\$37.430	\$37.430	\$37.430	\$39.240	\$41.188	\$46.858	\$48.748	\$49.420	\$50.638	\$47.803	\$53.473	\$55.090	\$57.253	\$58.198	\$59.143	
\$50.115	\$50.099	\$62.874	\$57.764	\$87.684	\$101.199	\$101.199	\$101.199	\$106.094	\$111.361	\$126.691	\$131.801	\$133.616	\$136.911	\$129.246	\$144.576	\$148.946	\$154.796	\$157.351	\$159.906	

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
\$1,022,000	\$1,050,000	\$1,050,000	\$1,078,000	\$1,078,000	\$1,092,000	\$1,106,000	\$1,106,000	\$1,106,000	\$1,120,000	\$1,120,000	\$1,120,000	\$1,120,000	\$1,162,000	\$1,190,000	\$1,190,000	\$1,204,000	\$1,218,000	\$1,260,000	\$1,330,000
\$153,300	\$157,500	\$157,500	\$161,700	\$161,700	\$163,800	\$165,900	\$168,000	\$168,000	\$168,000	\$168,000	\$168,000	\$168,000	\$174,300	\$178,500	\$178,500	\$180,600	\$182,700	\$189,000	\$199,500
\$357,700	\$367,500	\$367,500	\$377,300	\$377,300	\$382,200	\$387,100	\$392,000	\$392,000	\$392,000	\$392,000	\$392,000	\$392,000	\$406,700	\$416,500	\$416,500	\$421,400	\$426,300	\$441,000	\$465,500
\$255,500	\$262,500	\$262,500	\$269,500	\$269,500	\$273,000	\$276,500	\$280,000	\$280,000	\$280,000	\$280,000	\$280,000	\$280,000	\$290,500	\$297,500	\$297,500	\$301,000	\$304,500	\$315,000	\$332,500
\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$462	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$462	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$90	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846
\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306
\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583
\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551
\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171	\$2,171
\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110
\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110
\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,102	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110
\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551	\$1,551
\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,755	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,468	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508
\$208,255	\$225,970	\$225,970	\$231,957	\$231,957	\$236,470	\$239,970	\$239,970	\$238,957	\$243,470	\$243,470	\$243,470	\$232,716	\$253,931	\$260,931	\$260,931	\$263,417	\$267,931	\$278,431	\$295,931
\$56,229	\$61,012	\$61,012	\$61,012	\$62,628	\$62,902	\$63,847	\$64,792	\$64,518	\$65,737	\$65,737	\$65,737	\$62,833	\$68,561	\$70,451	\$70,451	\$71,123	\$72,341	\$75,176	\$79,901
\$152,026	\$164,958	\$164,958	\$169,328	\$169,328	\$172,623	\$175,178	\$174,438	\$177,733	\$177,733	\$177,733	\$177,733	\$169,883	\$185,370	\$190,480	\$190,480	\$192,295	\$195,590	\$203,255	\$216,030

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	A
56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	75
\$1,358,000	\$1,372,000	\$1,400,000	\$1,540,000	\$1,750,000	\$1,820,000	\$1,890,000	\$2,030,000	\$2,100,000	\$2,100,000	\$2,310,000	\$2,380,000	\$2,492,000	\$2,506,000	\$2,506,000	\$2,492,000	\$2,506,000	\$2,520,000	\$2,520,000	\$2,548,000	\$2,548,000
\$203,700	\$205,800	\$210,000	\$231,000	\$262,500	\$273,000	\$283,500	\$304,500	\$315,000	\$315,000	\$346,500	\$357,000	\$373,800	\$375,900	\$375,900	\$373,800	\$375,900	\$378,000	\$378,000	\$382,200	\$382,200
\$475,300	\$480,200	\$490,000	\$539,000	\$612,500	\$637,000	\$661,500	\$710,500	\$735,000	\$735,000	\$808,500	\$833,000	\$872,200	\$877,100	\$877,100	\$872,200	\$877,100	\$882,000	\$882,000	\$891,800	\$891,800
\$339,500	\$343,000	\$350,000	\$385,000	\$437,500	\$455,000	\$472,500	\$507,500	\$525,000	\$525,000	\$577,500	\$595,000	\$623,000	\$626,500	\$626,500	\$623,000	\$626,500	\$630,000	\$630,000	\$637,000	\$637,000
\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846
\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306
\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583	\$5,583
\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555
\$2,177	\$2,177	\$2,177	\$2,177	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183	\$2,183
\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119
\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119
\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,110	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119	\$3,119
\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,555	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559	\$1,559
\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,776	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,508	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,547	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602
\$301,917	\$306,431	\$313,431	\$348,431	\$390,176	\$418,391	\$435,891	\$470,891	\$488,378	\$488,391	\$540,891	\$558,391	\$585,378	\$589,891	\$589,891	\$586,391	\$579,122	\$593,337	\$593,337	\$593,337	\$600,337
\$81,518	\$82,736	\$84,626	\$94,076	\$105,348	\$112,966	\$117,691	\$127,141	\$131,592	\$131,866	\$146,041	\$150,766	\$158,052	\$159,271	\$159,271	\$158,326	\$156,363	\$160,201	\$160,201	\$160,201	\$162,091
\$220,400	\$223,695	\$228,805	\$254,355	\$284,829	\$305,426	\$318,201	\$343,751	\$355,786	\$356,526	\$394,851	\$407,626	\$427,326	\$430,621	\$430,621	\$428,066	\$422,759	\$433,136	\$433,136	\$433,136	\$438,246

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
\$2,562,000	\$2,590,000	\$2,618,000	\$2,632,000	\$2,646,000	\$2,646,000	\$2,660,000	\$2,660,000	\$2,730,000	\$2,786,000	\$2,786,000	\$2,786,000	\$2,800,000	\$2,800,000	\$2,940,000	\$3,010,000	\$3,108,000	\$3,108,000	\$3,150,000	\$3,178,000
\$384,300	\$388,500	\$392,700	\$394,800	\$396,900	\$396,900	\$399,000	\$399,000	\$409,500	\$417,900	\$417,900	\$417,900	\$420,000	\$420,000	\$441,000	\$451,500	\$466,200	\$466,200	\$472,500	\$476,700
\$896,700	\$906,500	\$916,300	\$921,200	\$926,100	\$926,100	\$931,000	\$931,000	\$955,500	\$975,100	\$975,100	\$975,100	\$980,000	\$980,000	\$1,029,000	\$1,053,500	\$1,087,800	\$1,087,800	\$1,102,500	\$1,112,300
\$640,500	\$647,500	\$654,500	\$658,000	\$661,500	\$661,500	\$665,000	\$665,000	\$682,500	\$696,500	\$696,500	\$696,500	\$700,000	\$700,000	\$735,000	\$752,500	\$777,000	\$777,000	\$787,500	\$794,500
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846	\$3,846
\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077	\$3,077
\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,306	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331	\$9,331
\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,599	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614	\$5,614
\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568
\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,189	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195	\$2,195
\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136
\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136
\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,127	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136	\$3,136
\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,564	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568	\$1,568
\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,818	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839	\$7,839
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,602	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682	\$29,682
\$602,823	\$610,837	\$617,837	\$621,337	\$623,823	\$624,837	\$628,337	\$628,337	\$617,542	\$659,757	\$659,757	\$659,757	\$662,243	\$663,257	\$692,103	\$705,757	\$729,243	\$730,257	\$740,757	\$747,757
\$162,762	\$164,926	\$166,816	\$167,761	\$168,432	\$168,706	\$169,651	\$169,651	\$166,736	\$174,354	\$178,134	\$178,134	\$178,806	\$179,079	\$186,868	\$190,554	\$196,896	\$197,169	\$200,004	\$201,894
\$440,061	\$445,911	\$451,021	\$453,576	\$455,391	\$456,131	\$458,686	\$458,686	\$450,806	\$481,623	\$481,623	\$481,623	\$483,438	\$484,178	\$505,235	\$515,203	\$532,348	\$533,088	\$540,753	\$545,863

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
\$3,220,000	\$3,290,000	\$3,360,000	\$3,430,000	\$3,458,000	\$3,472,000	\$3,486,000	\$3,500,000	\$3,500,000	\$3,500,000	\$3,500,000	\$3,570,000	\$3,598,000	\$3,612,000	\$3,612,000	\$3,626,000	\$3,640,000	\$3,640,000	\$3,640,000	\$3,640,000
\$483,000	\$493,500	\$504,000	\$514,500	\$518,700	\$520,800	\$522,900	\$525,000	\$525,000	\$525,000	\$525,000	\$535,500	\$539,700	\$541,800	\$541,800	\$543,900	\$546,000	\$546,000	\$546,000	\$546,000
\$1,127,000	\$1,151,500	\$1,176,000	\$1,200,500	\$1,210,300	\$1,215,200	\$1,220,100	\$1,225,000	\$1,225,000	\$1,225,000	\$1,225,000	\$1,249,500	\$1,259,300	\$1,264,200	\$1,264,200	\$1,269,100	\$1,274,000	\$1,274,000	\$1,274,000	\$1,274,000
\$805,000	\$822,500	\$840,000	\$857,500	\$864,500	\$868,000	\$871,500	\$875,000	\$875,000	\$875,000	\$875,000	\$892,500	\$899,500	\$903,000	\$903,000	\$906,500	\$910,000	\$910,000	\$910,000	\$910,000
\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692
\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231
\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356
\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,629	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644
\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576
\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,201	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207
\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153
\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153
\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,144	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153
\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,572	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576
\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,860	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,762	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817
\$747,462	\$775,677	\$793,177	\$810,677	\$816,663	\$821,177	\$824,677	\$828,177	\$827,163	\$828,177	\$828,177	\$845,677	\$841,907	\$856,122	\$856,122	\$859,622	\$862,108	\$863,122	\$863,122	\$863,122
\$201,815	\$209,433	\$214,158	\$218,883	\$220,499	\$221,718	\$222,663	\$223,608	\$223,334	\$223,608	\$223,608	\$228,333	\$227,315	\$231,153	\$231,153	\$232,098	\$232,769	\$233,043	\$233,043	\$233,043
\$545,647	\$566,244	\$579,019	\$591,794	\$596,164	\$599,459	\$602,014	\$604,569	\$603,829	\$604,569	\$604,569	\$617,344	\$614,592	\$624,969	\$624,969	\$627,524	\$629,339	\$630,079	\$630,079	\$630,079

Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	
\$3,640,000	\$3,668,000	\$3,710,000	\$3,752,000	\$3,766,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000
\$546,000	\$550,200	\$556,500	\$562,800	\$564,900	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000
\$1,274,000	\$1,283,800	\$1,298,500	\$1,313,200	\$1,318,100	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000
\$910,000	\$917,000	\$927,500	\$938,000	\$941,500	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000
\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692
\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231
\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,356	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,381	\$9,407	\$9,407	\$9,407	\$9,407	\$9,407
\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,644	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,659	\$5,675	\$5,675	\$5,675	\$5,675	\$5,675
\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581
\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,207	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213	\$2,213
\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170
\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170
\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,153	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,161	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170	\$3,170
\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,576	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581	\$1,581
\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,881	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903	\$7,903
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,817	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,897	\$29,970	\$29,970	\$29,970	\$29,970	\$29,970
\$862,108	\$870,122	\$880,622	\$891,122	\$883,826	\$898,041	\$898,041	\$898,041	\$897,028	\$898,041	\$898,041	\$898,041	\$897,028	\$898,041	\$898,041	\$898,041	\$887,254	\$897,969	\$897,969	\$897,969	\$897,969
\$232,769	\$234,933	\$237,768	\$240,603	\$238,633	\$242,471	\$242,471	\$242,471	\$242,197	\$242,471	\$242,471	\$242,471	\$242,197	\$242,471	\$242,471	\$242,471	\$239,559	\$242,452	\$242,452	\$242,452	\$242,452
\$629,339	\$635,189	\$642,854	\$650,519	\$645,193	\$655,570	\$655,570	\$655,570	\$654,830	\$655,570	\$655,570	\$655,570	\$654,830	\$655,570	\$655,570	\$655,570	\$647,695	\$655,517	\$655,517	\$655,517	\$655,517



Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000	\$3,780,000
\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000	\$567,000
\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000	\$1,323,000
\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000	\$945,000
\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$5,308	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0
\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0	\$90	\$0	\$0	\$0
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$369	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$462	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$3,102	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138	\$138
\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692	\$7,692
\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231	\$9,231
\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458	\$9,458
\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705	\$5,705
\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585
\$2,225	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231	\$2,231
\$3,178	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187
\$3,178	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187
\$3,178	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187	\$3,187
\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585	\$1,585
\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924	\$7,924
\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
\$30,091	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123	\$30,123
\$887,132	\$897,815	\$897,815	\$897,815	\$896,802	\$897,815	\$897,815	\$897,815	\$896,802	\$897,815	\$897,815	\$897,815	\$887,019	\$897,734	\$897,734	\$897,734	\$896,721	\$897,734	\$897,734	\$897,734
\$239,526	\$242,410	\$242,410	\$242,410	\$242,137	\$242,410	\$242,410	\$242,137	\$242,410	\$242,410	\$242,410	\$242,410	\$239,495	\$242,388	\$242,388	\$242,115	\$242,388	\$242,388	\$242,388	\$242,388
\$647,606	\$655,405	\$655,405	\$655,405	\$654,665	\$655,405	\$655,405	\$654,665	\$655,405	\$655,405	\$655,405	\$655,405	\$647,524	\$655,346	\$655,346	\$654,606	\$655,346	\$655,346	\$655,346	\$655,346