



**El Colegio
de la Frontera
Norte**

La industrialización del litio del Salar de Uyuni en Bolivia:
Entre el desarrollo y la seguridad hídrica

Tesis presentada por

Ebeliz Nilda Fuentes Claros

para obtener el grado de

MAESTRA EN GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

Monterrey, N. L., México
2020

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de Tesis:

Dr. Vicente Sánchez Munguía

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. Dr. Ismael Aguilar Benítez, lector interno
2. Dr(c). Mauricio Céspedes Quiroga, lector externo

Dedicatoria

Llegar a este punto no ha sido fácil, hubo varios momentos difíciles, perdidas en el camino; pero también hubo crecimiento, tanto profesional como personal y es justamente en este aspecto que la vida me ha dado un hermoso regalo, todo el esfuerzo realizado y lo que se viene va dedicado a ti mi hijito, mi Santi querido, amor de mi vida pronto tendré la dicha de conocerte y tenerte entre mis brazos.

¡Mami te ama inmensamente mi bello amor!

Agradecimientos

A mis papas y hermanas quienes me han apoyado incondicionalmente; y día a día me demuestran que son la mejor familia que la vida me pudo dar, así también a mis hijitos de cuatro patitas que llenan mis días de alegría y amor ¡Soy muy afortunada por tenerlos a todos!

A CONACYT por todo el apoyo económico recibido, el cual permitió alcanzar la meta trazada y vivir esta experiencia en un hermoso país como México.

A toda la familia Colefiana, quienes desde el primer día me hicieron sentir más que bienvenida, dejando claro que El Colef no solo cuenta con calidad académica sino también con calidad de personas.

A mi director de tesis, el Dr. Vicente Sánchez quien me permitió trabajar libremente pero con su constante asesoramiento, brindándome valiosas recomendación que contribuyeron a la calidad del trabajo de investigación.

A mis lectores, el Dr. Ismael Aguilar y el Dr(c). Mauricio Céspedes; en un principio por aceptar trabajar con mi persona y concederme su tiempo, paciencia y sabios concejos que me dieron para con el presente trabajo de investigación.

A mis compañeros de maestría, quienes coadyuvaron a que mi estadía en México sea más llevadera y de quienes guardo lindos recuerdos.

A todas las personas que directa o indirectamente coadyuvaron a que pueda alcanzar esta meta, en particular al Dr. Del Barco por haber sido parte de mi crecimiento académico antes de esta etapa, así también a todos los entrevistados por regalarme su valioso tiempo.

¡Muchas gracias por tanto!

RESUMEN

Bolivia se ha caracterizado por ser un país exportador de materia prima, especialmente cuando de su riqueza mineral se trata, con la intención de cambiar el rumbo de la historia boliviana, fomentar el desarrollo de la región y a solicitud de la Federación Regional Única de Trabajadores y Campesinos del Altiplano Sur el año 2008 el entonces presidente de Bolivia (Evo Morales) declaró prioridad nacional la exploración, explotación, industrialización y comercialización de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni; ubicado en el altiplano boliviano al noroeste del Departamento de Potosí. El proyecto se desarrolla al sud este del salar, colindando con el Municipio de Colcha K, el cual alberca cerca de 13.000 habitantes, todos ellos situados en el área rural; teniendo como principales actividades económicas a la agricultura, comercio, la explotación de minas y canteras y la construcción; solo el 67% de los hogares poseen acceso a la red pública y 2 de cada 10 hogares disponen de alcantarillado.

Por otra parte, la situación en otros países como Chile y Argentina, los cuales tienen mayor experiencia en la industrialización del litio, dan cuenta que el recurso hídrico se ha convertido en un factor delicado. Si bien, esta situación confirma que un proyecto de esta magnitud afectará a la región, todavía queda en duda el cómo afectará (ya que el proyecto aún se encuentra en una etapa piloto).

En tal sentido, el presente trabajo analizó dichas afectaciones en el Municipio de Colcha K desde un enfoque de seguridad hídrica para el año 2030 (asumiendo que para entonces el proyecto se encontrará con una producción a escala industrial), apoyándose del Índice de Seguridad Hídrica haciendo uso de la metodología de Gain y sus colaboradores¹, con algunas modificaciones que son acordes al contexto boliviano. Considerando el ISH del año 2015 como índice base, se observó que para el año 2030 el ISH en el Municipio disminuirá en un 13%, siendo el parámetro de disponibilidad de agua el más afectado seguido del de gestión social.

Finalmente, si bien la industrialización del Li si puede contribuir con un desarrollo económico (dada la creciente demanda y los elevados precios del Li); el término de desarrollo en el contexto boliviano involucra más que un desarrollo netamente económico, buscar ese ideal del vivir bien con una Bolivia que deje de ser el país exportador de materia prima y pase a una Bolivia productora, capaz de generar valor agregado pero todo esto en armonía con el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

Palabras clave: Litio, Seguridad Hídrica, Municipio de Colcha K, Vivir Bien, Bolivia

¹ Esta metodología considera que el ISH está conformado por cuatro indicadores: disponibilidad de agua, accesibilidad al agua, seguridad y calidad, y gestión social

ABSTRACT

Bolivia has been characterized for being a raw materials exporting country, especially when it comes to its mineral wealth, with the intention of changing the course of Bolivian history, promoting the development of the region and by request of the Unique Regional Federation of Workers and Farmers of the Southern Plateau in 2008 the President of Bolivia (Evo Morales) declared as national priority, the exploration, exploitation, industrialization and commercialization of Evaporite Resources from the Salar de Uyuni; located in the Bolivian plateau in the northwest of the Department of Potosí. The project is developed south of the salt flats, adjacent to the municipality of Colcha K, which houses for near 13.000 inhabitants, all of them based in the rural area; having agriculture, commerce, mining, quarrying, and construction as main economic activities; only 67% of households have access to public water networks and 2 out of 20 households have access to sewage networks.

On the other hand, situation in other countries such as Chile and Argentina, which have more experience on lithium industrialization, realize that water resource has turn into a delicate factor. While this situation confirms that a project of such scale will affect the region, the question still remains on how it will affect (given that the project is still at a pilot phase).

To that effect, this study analyzed those affectations in the Colcha K municipality from a water security approach for 2030 (assuming by that time the project will have an industrial scale production), using the Water Security Index and with Gain and collaborators methodology, with some modifications according to the Bolivian context. Considering WSI from 2015 as a base index, it was observed that by 2030 the WSI of the municipality will decrease by 13%, being the water availability parameter the most affected one, followed by the management one.

Finally, while Li industrialization can contribute with economic development (given the growing demand and Li high prices); the concept of development in the Bolivian context involves more than a merely economic development, to search for that ideal of well living with a Bolivia country which stops being the raw materials exporting country and starts to be a Bolivia that produces, capable of creating added value but in armory with environment and peoples quality of life.

Key words: Lithium, Water Security, Municipality of Colcha K, Vivir Bien, Bolivia

Contenido

Capítulo I – Marco Introdutorio	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Identificación del problema	3
1.2.2. Delimitación del problema	5
1.2.3. Pregunta de investigación	5
1.3. Objetivos de la investigación	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Hipótesis	6
1.5. Justificación	7
1.6. Estrategia metodológica	8
1.6.1. Una nota sobre eventos contingentes durante la investigación	10
Capitulo II – El litio y la problemática del agua en el mundo	13
2.1. El Li en la corteza terrestre	14
2.2. Bolivia, ¿El mayor reservorio de Li en la tierra?	16
2.3. Principales productores de Litio	18
2.3.1. La explotación del litio y su impacto en las comunidades aledañas	20
2.3.1.1. Territoriales	23
2.3.1.2. Ambientales	23
2.3.1.3. Culturales	24
2.3.1.4. Desarrollo local	25
2.3.1.5. Asistenciales	26
2.3.1.6. Sociales	26
2.3.1.7. Educación	27
2.3.2. El Litio y la problemática del agua	28
2.3.2.1. Requerimiento de agua para la producción de Li	31
2.3.2.2. Posibles soluciones al problema	33
2.4. Conclusiones del capítulo	36
Capitulo III – Litio, agua y desarrollo en Bolivia	38
3.1. Entendiendo el “desarrollo boliviano”	38
3.1.1. Plan de Desarrollo Departamental de Potosí 2008-2012	39

3.2.	Los recursos evaporíticos en Bolivia: un poco de historia	40
3.3.	Camino hacia la exploración, explotación e industrialización de los Recursos Evaporíticos	42
3.3.1.	Estrategias del proyecto	42
3.3.1.1.	Actividades desarrolladas	44
3.3.1.1.1.	Fase I	44
3.3.1.1.2.	Fase II	45
3.3.1.1.3.	Fase III	46
3.3.1.2.	Proceso de obtención de Carbonato de litio (Li_2CO_3)	46
3.3.1.2.1.	Principales diferencias del proceso	49
3.4.	El Municipio de Colcha K y la YLB	49
3.4.1.	La empresa Yacimientos del Litio Bolivianos y su nexa con el agua	53
3.4.1.1.	Acciones de la YLB en temas ambientales y sociales	56
3.5.	Conclusiones del capítulo	58
Capítulo IV – Midiendo la seguridad hídrica		60
4.1.	Algunas definiciones de seguridad hídrica	60
4.2.	Índices de Seguridad Hídrica	63
4.2.1.	Metodología utilizada en el Asia Pacífico	63
4.2.2.	Metodología Mason y Calow	64
4.2.3.	Metodología Animesh Gain	64
4.2.3.1.	Algunas aplicaciones vinculadas a la metodología	67
4.2.4.	Definición del índice de seguridad hídrica para el Municipio de Colcha K	68
4.3.	Conclusiones del capítulo	69
Capítulo V – Análisis de la información y resultados		70
5.1.	De las entrevistas	70
5.2.	Estimación del Índice de Seguridad Hídrica	72
5.2.1.	Determinación de los pesos de cada indicador	72
5.2.2.	Estimación del ISH base	73
5.2.2.1.	Fórmulas utilizadas	74
5.2.2.2.	Disponibilidad de agua	76
5.2.2.3.	Accesibilidad al agua	78
5.2.2.4.	Calidad y Seguridad	79
5.2.2.5.	Gestión Social	80
5.2.2.6.	Índice de Seguridad Hídrica base al 2015	82
5.2.3.	Estimación del ISH para el año 2030	82
5.2.3.1.	Disponibilidad de agua	83

5.2.3.2.	Accesibilidad al agua	84
5.2.3.3.	Calidad y Seguridad	84
5.2.3.4.	Gestión	85
5.2.3.5.	Índice de Seguridad Hídrica al 2030	85
Conclusiones y recomendaciones		87
BIBLIOGRAFÍA		94
Anexos		i

Índice de Figuras

Figura 1. 1 Ubicación de la empresa encargada de la industrialización de litio	2
Figura 1. 2 Eventos contingentes durante la investigación	12
Figura 2. 1 Porcentaje de participación de los principales países productores de sales de litio	19
Figura 2. 2 Ubicación geográfica de las ciudades, poblados y comunidades indígenas cercanas a las operaciones de SQM en las regiones de Tarapacá y Antofagasta	22
Figura 3. 1 Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas PTAR D	57
Figura 4. 1 Alcances y ponderaciones del IGSB según Gain et al	66
Figura 4. 2 Índice Global de Seguridad Hídrica	67
Figura 5. 1 Etapas en el cálculo del índice de seguridad hídrica	75
Figura 5. 2 Disponibilidad de agua	76
Figura 5. 3 Acceso al agua	78
Figura 5. 4 Calidad y seguridad	79
Figura 5. 5 Gestión Social	81
Figura 5. 6 Índice de Seguridad Hídrica Base	82
Figura 5. 7 Índice de Seguridad Hídrica al 2030	86

Índice de Gráficas

Gráfica 2. 1 Demanda de Litio por compuesto químico – 2017 Escenario base	13
Gráfica 2. 2 Concentraciones de Li por depósito en salmuera según Gruber y Mohr	15
Gráfica 2. 3 Reservas de Li en el mundo [TM]	18
Gráfica 2. 4 Datos históricos y proyecciones de la demanda y oferta de Li	20
Gráfica 3. 1 Fase I-Capacidad de producción proyectada vs. Producción al 2018	45
Gráfica 3. 2 Proyección del crecimiento poblacional del Municipio de Colcha K	51
Gráfica 3. 3 Procedencia del agua que utilizan los hogares en el Municipio de Colcha K	52
Gráfica 3. 4 Consumo de agua potable según el tipo de servicio en el Departamento de Potosí	53
Gráfica 3. 5 Estimación de consumo de agua potable por área	54

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Variables que determinan la viabilidad de extracción de Li a partir de salmueras	15
Tabla 2. 2 Posibles soluciones ante la problemática del agua	34
Tabla 2. 3 Tecnologías alternativas para la obtención de Li	36
Tabla 3. 1 Fases del proyecto de industrialización del litio	43
Tabla 3. 2 Diferencias entre el proceso por cloruros vs sulfatos	49
Tabla 3. 3 Uso de agua por empresas productoras de Li	55
Tabla 4. 1 Indicadores de Seguridad Hídrica según Gain et al.	65
Tabla 4. 2 Parámetros para determinar la seguridad hídrica del Municipio de Colcha K	68
Tabla 5. 1 Indicador Disponibilidad de agua	77
Tabla 5. 2 Indicador Accesibilidad al agua	78
Tabla 5. 3 Indicador Calidad y seguridad	80
Tabla 5. 4 Gestión	81
Tabla 5. 5 Indicador Disponibilidad de agua 2030	83
Tabla 5. 6 Indicador Accesibilidad al agua 2030	84
Tabla 5. 7 Indicador Calidad y seguridad	84
Tabla 5. 8 Gestión 2030	85
Tabla 5. 9 Tabla comparativa del ISH del 2015 y 2030	86

Capítulo I – Marco Introductorio

1.1. Introducción

Bolivia es un país con una riqueza natural diversa; sin embargo, en los casi dos centenarios de vida independiente que tiene, Bolivia se ha caracterizado por ser un país exportador de materia prima, especialmente cuando de su riqueza mineral se trata².

Con la intención de cambiar el rumbo de la historia boliviana, fomentar el desarrollo de la región y a solicitud de la Federación Regional Única de Trabajadores y Campesinos del Altiplano Sur (FRUTCAS), el 01 de abril del año 2008 el entonces presidente, Evo Morales Ayma declaró prioridad nacional la exploración, explotación, industrialización y comercialización de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni. Ubicado en el altiplano boliviano al noroeste del Departamento de Potosí, el Salar de Uyuni no solo es el salar más grande del mundo sino también constituye la mayor reserva mundial de litio, alrededor de 21 millones de toneladas (YLB, 2019a).

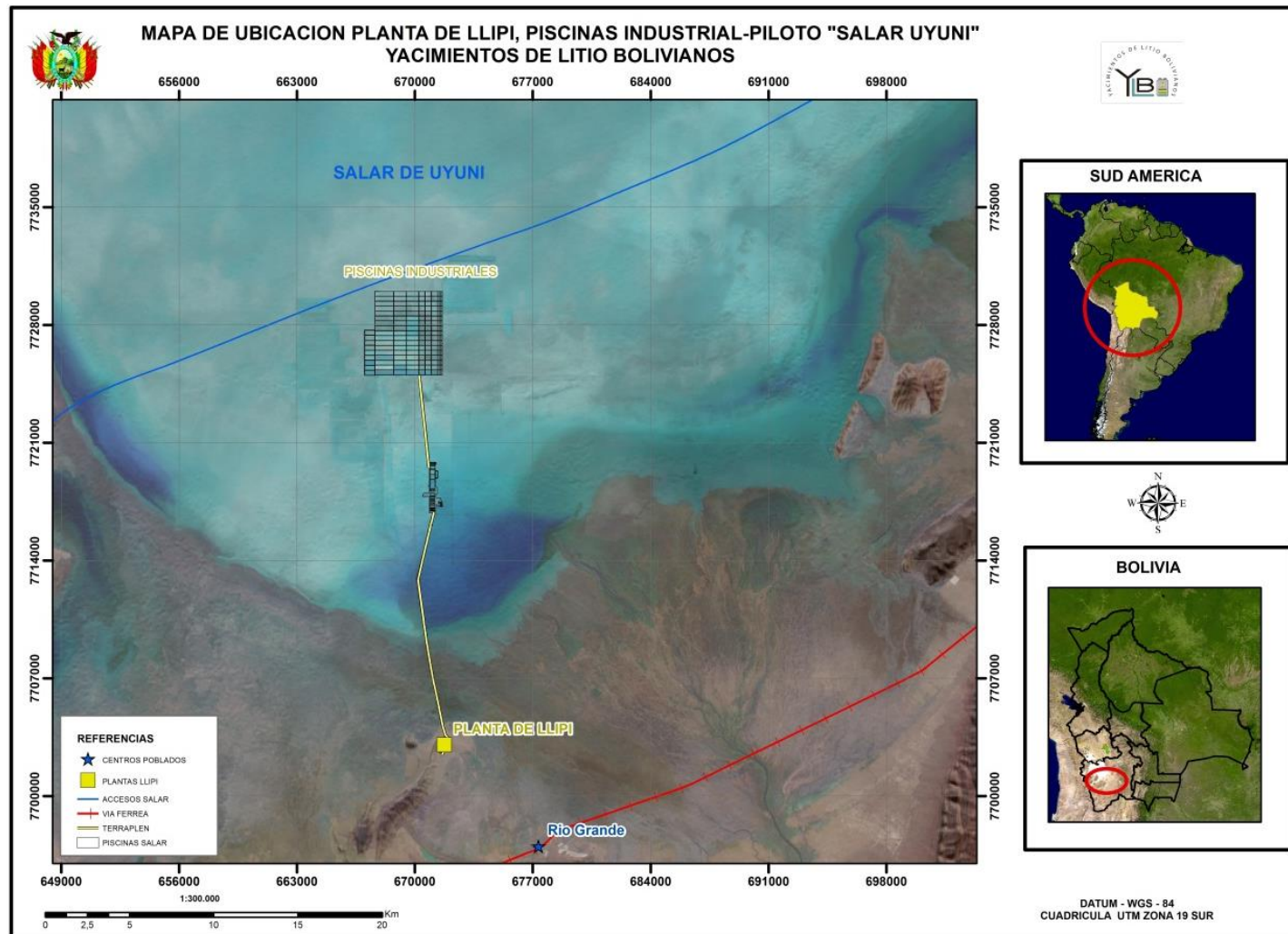
El proyecto se desarrolla al Sudeste del salar (Ver Figura 1.1), colindando con el Municipio de Colcha “K”, el cual alberca cerca de 13.000 habitantes, todos ellos situados en el área rural; teniendo como principales actividades económicas a la agricultura, comercio, la explotación de minas y canteras y la construcción; actividades que claramente requieren de agua.

Por otra parte, la situación en otros países como Chile y Argentina³, los cuales tienen mayor experiencia en la industrialización del litio, dan cuenta que el recurso hídrico se ha convertido en un factor delicado. Si bien, esta situación confirma que un proyecto de esta magnitud afectará a la región, todavía queda en duda el cómo afectará (ya que el contexto juega un papel importante), y eso es justamente lo que el presente trabajo pretende investigar.

² En los tres siglos que duró el saqueo, según Eduardo Galeano (reconocido periodista y escritor), se extrajo de cerro Rico de Potosí unos 60.000 millones de toneladas de mineral, que serían materia prima suficiente, según el propio Galeano, para construir un puente de oro y plata desde Potosí hasta el palacio de los reyes en Madrid

³ Chile y Argentina se encuentran entre los mayores productores de litio a nivel mundial

Figura 1. 1 Ubicación de la empresa encargada de la industrialización de litio



Fuente: <http://www.ylb.gob.bo>

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Identificación del problema

Al suroeste del altiplano de Bolivia, ubicado en el Departamento de Potosí, se encuentra el Salar de Uyuni, con una extensión mayor a cualquier otro salar en el mundo (10.582 Km²), situada a una altura promedio de 3.653 msnm (GNRE, 2012).

Estudios realizados desde la década de 1970 dan cuenta que el Salar de Uyuni es quizás el reservorio⁴ más importante de litio⁵ (Li) en el mundo. Si bien ya se conoce las características del salar desde finales del siglo pasado y sus potenciales usos, es recién hasta el primero de abril del año 2008 que el entonces Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, mediante DS N^o 29496, declaró prioridad nacional la exploración, explotación e industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni, llevando a cabo el mismo en un principio como un proyecto completamente Estatal (partiendo por los recursos económicos hasta el talento humano); sin embargo, a partir del año 2017 se aceptó la participación de socios (empresas privadas), bajo la condición de que el Estado sea accionista mayoritario.

El proyecto desde sus inicios ha estado conformado por tres fases (GNRE, 2012):

- Fase I, consiste en la producción a escala piloto de sales de Li y una producción semi-industrial de Cloruro de Potasio (KCl), iniciadas el 2011
- Fase II, implementación de la planta industrial con capacidad de producción de 45.000 [TM/año] de sales de litio, y [700.000 TM/año] de KCl. (En proceso)
- Fase III, fabricación de materiales de cátodo, electrolitos, para la fabricación de baterías de Li. (En proceso)

Actualmente el proyecto se encuentra en una fase piloto, con una producción de 250 TM de sales de litio al año (YLB, 2019) y se prevé que la fase industrial comience el año 2021 con una capacidad de producción reducida y después de un par de años se alcance la capacidad máxima de 45.000 TM de sales de litio al año.

⁴ Alrededor de 21 millones de toneladas según estimaciones de la Empresa Yacimientos del Litio Boliviano (YLB).

⁵ El litio (Li) tiene la característica de ser el metal más liviano del mundo, el principal uso que se le da es en baterías, ya que permite almacenar gran cantidad de energía en poco espacio, eso implica que las baterías sean más pequeñas y durables, además que “contribuyen” con el medio ambiente. (Del Barco, 2012)

El proyecto se desarrolla al Sudeste del salar, colindando principalmente con el Municipio de Colcha K, el cual alberca cerca de 13.000 habitantes, todos ellos situados en el área rural; teniendo como principales actividades económicas a la agricultura (principalmente quinua), comercio, la explotación de minas y canteras y la construcción (INE, 2018).

El Plan de Desarrollo Municipal Colcha K 2007- 2011; indica que, esta región además de poseer los mayores índices de pobreza extrema a nivel Bolivia (casi el 34% de la población se encuentran en esta situación); carece de recursos hídricos importantes, apreciándose sólo lagunas o “bolsones” de agua encerrados, así como pocos arroyos y de acuerdo con las variables climáticas, ésta corresponde a puna semidesértica, con una temperatura media de 8.3 °C y una precipitación media de 187.1 mm; este municipio presenta aproximadamente 211 días de heladas al año, siendo las más perjudiciales para la actividad agrícola y ganadera las que se presentan en los meses de enero a marzo; en la región se tiene una humedad relativa de 34%; son pocos los lugares que pueden ser considerados propicios para la agricultura y en adición se tiene una vegetación escasa. Por otra parte, según los datos obtenidos en el Censo de Población y Vivienda 2012, realizada por el Instituto Nacional de Estadística; solo el 67% de los hogares de este Municipio cuentan con acceso a la red pública; el resto lo obtiene de pozos sin bomba; pileta pública; lluvia, río, vertiente o acequia; pozo con bomba; carro repartidor y lago o laguna; y solo 2 de cada 10 hogares disponen de alcantarillado.

Por otra parte, la empresa Yacimientos del Litio Bolivianos (YLB) encargada del proyecto, ahora utiliza como fuentes de suministro de agua, tanto para consumo humano como para las plantas del campamento Llipi y del salar, dos pozos de agua⁶ provenientes del sector de San Jerónimo, el cual se encuentra dentro del Municipio de Colcha K.

Cerca de estos pozos de explotación se encuentran sembradíos de quinua, y habitantes que se quejan porque consideran que les “están robando su agua”, solo por mencionar algunos actores involucrados en el consumo de agua.

Finalmente, la situación en otros países como Chile y Argentina (los cuales tienen mayor experiencia en la industrialización del litio), dan cuenta que el recurso hídrico se ha convertido en un factor delicado; hasta el punto que los pobladores de Antofagasta en Chile, se

⁶ PSG-001 y PSG-002, cuyos estudios técnicos tan cuenta que posee un caudal de 16,5 Lts/seg y 13,5 Lts/seg respectivamente (YLB, 2018)

manifestaron en contra de la asignación de derechos de agua a las empresas que extraen litio del Salar de Atacama, argumentado que están terminando con el recurso hídrico. Si bien, esta situación confirma que un proyecto de esta magnitud afectará a la región, todavía queda en duda el cómo afectará al Municipio de Colcha K (ya que el contexto juega un papel importante), y eso es justamente lo que el presente trabajo pretende investigar; todo ello desde un enfoque de seguridad hídrica.

1.2.2. Delimitación del problema

El presente trabajo, considera como zona de estudio al Municipio de Colcha K ubicado en el Departamento de Potosí, Bolivia; dado que en dicho municipio se sitúa una de las plantas de la empresa YLB; la Planta de Llipi (encargada de la producción de sales de litio) y el campamento Llipi, quienes a la fecha han estado extrayendo agua subterránea.

En cuanto al espacio temporal se refiere, el trabajo hace prospectiva al año 2030; toda vez que considera lo siguiente:

- En la actualidad la empresa YLB se encuentra con una producción a escala piloto de 250 TM de sales de litio al año; la entrega llave en mano de la planta industrial se prevé para la gestión 2021 (fecha que puede variar dadas las circunstancias que se viven hoy en día en Bolivia y el mundo), como toda empresa que recién comienza a operar no puede hacerlo al 100% de su capacidad; por lo que, alcanzar el máximo de su capacidad tomará un par de años, tomando en cuenta ello se estima que para el año 2030 la YLB podría encontrarse operando a su máxima capacidad (45.000 TM de sales de litio al año). Como puede observarse existe una brecha considerable entre ambas producciones (piloto-industrial), donde sí se trabaja con la primera no se apreciaría los volúmenes considerables de consumo de agua y posibles impactos que en realidad generaría este proyecto nacional.

1.2.3. Pregunta de investigación

Si bien el proyecto de industrialización de Litio todavía se encuentra en fase piloto y los niveles de consumo de agua son aún bajos en comparación con lo que se requerirá en una producción a escala industrial; queda la interrogante de cómo esta nueva actividad económica

afectará a otros usuarios del agua (consumo humano, agricultura, ganadería y la Madre Tierra⁷), entendiendo que estos últimos requieren de una cantidad y calidad mínima aceptable; es así, que el trabajo se propuso desde un enfoque de seguridad hídrica la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se verá afectada la seguridad hídrica del Municipio de Colcha K del Departamento de Potosí en Bolivia por la industrialización del litio del Salar de Uyuni al año 2030?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar los efectos de la industrialización del litio de Salar de Uyuni en la seguridad hídrica del Municipio de Colcha K del Departamento de Potosí en Bolivia al año 2030.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar la problemática en torno al agua en regiones donde se encuentran empresas que producen sales de litio en Sudamérica
- Estudiar las características del proyecto de industrialización del litio en Bolivia, su vinculación con el concepto de desarrollo entendido como el “vivir bien” y la situación actual de la empresa YLB con los recursos hídricos en el Municipio de Colcha K.
- Efectuar un análisis del estado del arte vinculado a los conceptos de Seguridad Hídrica y las metodologías que permiten estimar el Índice de Seguridad Hídrica.
- Estimar dos índices de seguridad hídrica para el Municipio de Colcha K: antes de la producción de sales de litio (para el año 2015); cuando se tenga una producción industrial el año 2030.

1.4. Hipótesis

La experiencia de explotaciones de litio en Argentina y Chile, señalan que se trata de una actividad que requiere de volúmenes considerables de agua, mismos que llegan a atentar

⁷ Este es un término proveniente de la cosmovisión andina originario del quechua *Pachamama*, es mencionado en la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia y es entendido como la riqueza natural de una región.

contra la sustentabilidad del recurso y de los ecosistemas asociados; por otra parte, al ser la industrialización del litio un proyecto estratégico para Bolivia (y con la esperanza de generar desarrollo en la región y el país), es importante, en un inicio determinar cómo esta nueva actividad podría afectar la Seguridad Hídrica del Municipio de Colcha K, para así, identificar los aspectos más relevantes en los que se debe trabajar y minimizar los posibles efectos en la seguridad hídrica de esta región. En este entendido y considerando todo lo anterior, el presente trabajo tiene como hipótesis

La disponibilidad de agua y la gestión social serán los parámetros con mayor afectación en el Municipio de Colcha K del Departamento de Potosí en Bolivia, cuando la industrialización del litio del Salar de Uyuni se encuentre operando al máximo de su capacidad; por lo que, las acciones que tome la empresa YLB y el Gobierno en estos parámetros coadyuvará a la sostenibilidad de la Seguridad Hídrica en este Municipio.

El hecho de que la YLB sea una empresa pública, no la exime de cumplir con su responsabilidad social y ambiental; más aún, cuando la industrialización del litio tiene como finalidad mejorar el desarrollo no solo de la región sino también del país. Es por ello que las acciones que vaya a realizar la YLB son de carácter estratégico, las cuales conducirán a lograr la sostenibilidad ambiental y la seguridad hídrica, al mismo tiempo que alcanza su máxima capacidad productiva y por consecuencia el desarrollo.

1.5. Justificación

La historia del Departamento de Potosí se destaca por la explotación minera (incluso mucho antes de que Bolivia nazca a la vida Republicana), sin que estos siglos de explotación minera (pasando por la plata, estaño y ahora el Litio) hayan traído consigo beneficios para la población de Potosí; es irónico que, con tanta riqueza minera, este Departamento concentra los mayores índices de pobreza extrema a nivel Bolivia.

La minería siendo una de las principales actividades económicas de la región, demanda elevados volúmenes de agua, al igual que otra actividad económica predominante como la agricultura y, más importante aún, la demanda de agua para el consumo humano; estas demandas se dan en una zona árida con escasez de agua.

Ahora bien a estas demandas (solo por mencionar algunas) se agrega un proyecto sin precedentes en Bolivia, la industrialización de litio del Salar de Uyuni; datos de otros países vinculados a la explotación de Litio como Argentina y Chile dan cuenta que se requiere volúmenes considerables de agua; tanto así, que recientemente en Chile se pretende restringir el uso de agua en zonas del Salar de Atacama donde operan empresas que explotan el litio, debido a que han excedido los niveles de sustentabilidad.

En ese entendido es importante analizar qué pasará con la disponibilidad de agua para el consumo humano, agricultura, ganadería y el medio ambiente (solo por mencionar a algunos usuarios del agua) cuando ya se tenga una producción a escala industrial de sales de litio; para que a partir de este estudio las autoridades competentes puedan tomar acciones preventivas respecto a la competencia por el agua.

1.6. Estrategia metodológica

En primer lugar se realizó una revisión documental relacionada a: la problemática del agua que se ha dado en países que tienen mayor experiencia en el rubro de sales de litio tales como Argentina y Chile; así también se realizó una revisión en torno a información oficial enmarcada en el proyecto de industrialización del Li, conceptos de seguridad hídrica y metodologías para la determinación de índices de seguridad hídrica con sus respectivas aplicaciones. En lo que respecta a la información recaudada para la evaluación de las acciones ambientales y relación comunitaria por parte de la YLB, se recurrió a la información oficial de la empresa mediante sus nueve memorias institucionales (de la gestión 2010 al 2018⁸).

Por otro lado, también se trabajó con la cronología, haciendo seguimiento de la información diaria en todos los niveles geográficos, coadyuvándose para ello de un software (Zotero) permitiendo el fichado de artículos vinculados con el trabajo de investigación; realizando así la revisión bibliográfica de libros y revistas en línea (U.S. Geological Survey, CEPAL, entre otros) se dio en el transcurso de toda la investigación.

⁸ Toda vez que la memoria institucional de la gestión 2019, recién su publicará este año y hasta la presentación del presente trabajo dicho documento no se encuentra disponible para el público en general.

Una última fuente de información fueron las entrevistas; las cuales se llevaron a cabo como entrevistas semiestructuradas⁹ a ocho personas clave que pertenecen a la academia (seis de ellos) y el restante ex funcionarios de la YLB (la realización de las entrevistas sucedió entre Enero de 2020 y Abril de 2020 y sus tiempos de duración variaron en un promedio de 50 minutos; las preguntas variaron en función de si eran académicos o ex funcionarios); estas entrevistas tuvieron como finalidad el poder conocer distintas opiniones en torno al proyecto de industrialización del litio en Bolivia (visto también como un proyecto que contribuiría al desarrollo del país), sus implicaciones en el consumo (o potencial consumo) de recursos hídricos en la región, los actuales y potenciales impactos (tanto positivos como negativos) para las poblaciones aledañas y en el caso de cinco académicos entrevistados sus opiniones coadyuvaron en la estimación de los nuevos pesos de los indicadores para el cálculo del índice de seguridad hídrica.

En cuanto a la estimación del Índice de Seguridad Hídrica (ISH), en la metodología de Animesh Gain y sus colaboradores, señalan que el mismo está conformado por cuatro indicadores, los cuales a su vez se subdividen en criterios; estos indicadores y criterios tienen un peso para expresar su relevancia relativa y así contribuir a la construcción del índice; dichos pesos fueron definidos por los autores (Gain et al., 2016).

Sin embargo, dado el contexto boliviano y los recientes acontecimientos suscitados en el país, se concluye que los pesos asignados por los autores de la metodología, no necesariamente podrían ir acorde a la realidad boliviana; por lo que, se pensó que era conveniente realizar en primera instancia una revaloración de los pesos de los indicadores; esto como se mencionó con anterioridad con ayuda de las entrevistas realizadas a los académicos y haciendo uso de uno de los métodos del análisis multicriterio. El método de la ordenación simple es el método de ponderación de variables más sencillo, consiste en que el decisor ordena los criterios de mayor a menor importancia en función de su propia opinión, de forma que después se otorga la mayor puntuación al primero y la menor al último; este método, por su sencillez, puede ser aplicado en situación de muy escasa información (Aznar y Guijarro, 2012). Sin embargo, para el caso de la ponderación de los 4 indicadores que conforman el ISH, la simplicidad de este

⁹ Se tuvo una guía base de entrevistas, con un banco de preguntas, las cuales variaron en función de a quien se le hacía la entrevista (Ver Anexo 1)

método conlleva a que exista una jerarquización cuyos pesos serían: 40%, 30%, 20% y 10%; cuando en la realidad pueden existir indicadores que tengan el mismo peso (45%, 20%, 20% y 15% como es el caso de la ponderación original de la metodología de Gain).

En tal sentido, analizando otros métodos se concluyó que aplicar el método AHP (Analytic Hierarchy Process)¹⁰ es la mejor alternativa; empero, como el trabajo no consiste en la elección de la mejor alternativa como tal, sino más bien de ponderar variables (indicadores); de todo el proceso analítico jerárquico, se aplicó específicamente la etapa en la cual los expertos dan su opinión sobre la importancia de cada variable por sobre otra.

1.6.1. Una nota sobre eventos contingentes durante la investigación

A partir de junio del año 2019 y hasta la fecha han ocurrido algunos acontecimientos que han tenido y tienen un impacto en la presente investigación; los eventos más trascendentales son los siguientes:

- **Decreto Supremo 3738**; el 10 de diciembre de 2018 el gobierno del entonces presidente Morales, mediante Decreto Supremo crea la Empresa Pública Mixta YLB ACISA – E. M.; esta asociación con la empresa alemana iba destinada a la industrialización y comercialización de sales de litio; sin embargo, a mediados del año 2019 toma mayor fuerza el rechazo por parte del Comité Cívico Potosinista¹¹ (CONCIPO) a este decreto, por ser considerado como un atentado para los intereses de Potosí y el país, este rechazo es reflejado mediante paros en la ciudad de Potosí organizado por CONCIPO que eventualmente y ante la indiferencia del gobierno se fueron convirtiendo en paros cívicos a nivel Departamental, los cuales pararon momentáneamente el 20 de octubre debido a que se realizaron las elecciones presidenciales.
- **Elecciones nacionales**; el 20 de octubre de 2019 se llevaron a cabo las elecciones generales en Bolivia para elegir al nuevo presidente y vicepresidente del país; sin embargo, dada la mínima diferencia entre el primer y segundo lugar (el partido de

¹⁰ El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) fue propuesto por el Profesor Thomas L. Saaty (1980), como respuesta a problemas concretos de toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los EEUU, siendo actualmente un clásico en el mundo de la empresa donde se aplica en casi todos los ámbitos donde es necesario tomar una decisión de cierta complejidad (Aznar y Guijarro, 2012, p. 123).

¹¹ Entidad cívica que está conformada por representantes de distintas instituciones del Departamento de Potosí

Morales y el partido de Mesa) y ante las denuncias de vicios en las elecciones (habilitación de personas fallecidas, actas observadas, entre otras), comenzó una convulsión social en rechazo a los resultados de las elecciones que daba como ganador al Movimiento Al Socialismo – MAS IPSP (partido del ex presidente Morales); los paros comenzaron en varias ciudades capitales y en departamentos, unos a favor y otros en contra. El conflicto continuo en noviembre y con la finalidad de apaciguar las aguas un poco, a inicios de ese mes el gobierno en curso abrogó el DS 3738; empero eso no bastó para la sociedad y el conflicto solo se fue agravando a tal magnitud que Evo Morales presentó su renuncia a la presidencia mediante un video, a esta renuncia le siguieron varias otras de ministros, viceministros, senadores, diputados, gobernadores, alcaldes entre otros, todos afines al partido del entonces gobierno. A raíz de todas estas renuncias se determinó que por línea constitucional la entonces senadora de la oposición Jeanine Añez fungiría como presidenta constitucional transitoria, cuyo gobierno tiene como prioridad y finalidad llamar a la brevedad posible a nuevas elecciones. Este proceso ha conllevado a nuevas autoridades, en distintos niveles ya sea por renuncia o por cambio; y la YLB al estar bajo la tuición del Ministerio de Energías no ha sido la excepción; desde noviembre de 2018 hasta enero de 2019 se cambiaron a dos gerentes administrativos de la YLB, el primero porque formaba parte del anterior gobierno y el segundo porque no era oriundo del Departamento de Potosí y la población exigía que fuese un potosino el que administre la YLB. Empero, como el actual gobierno es transitorio no tiene tuición para tomar decisiones a largo plazo, se limita (o debería limitarse) a dar continuidad al trabajo que se ha estado realizando.

- **Pandemia COVID – 2019;** esta es una situación que ha afectado a todo el mundo y en el caso boliviano en particular ha conllevado a una reprogramación en las fechas de las elecciones presidenciales que deberían de haberse llevado a cabo el 3 de mayo de 2020; esto sin duda representa un retraso más en el proyecto de industrialización del litio, aún más cuando el Municipio de Colcha K hasta el 15 de mayo ha sido declarado como un municipio de riesgo medio¹² a causa del COVID-19; más importante aún, se

¹² Desde el 11 de mayo el Gobierno implementó en Bolivia una cuarentena dinámica, la cual categoriza a los municipios en: riesgo alto, riesgo medio y riesgo moderado; las restricciones y medidas de seguridad contra el COVID-19 varían en función a la categoría asignada; siendo los municipios con alto riesgo aquellos que cumplen

debe analizar cómo esta situación afectara a todas las actividades humanas, toda vez que nada volverá a ser lo mismo después de la pandemia.

Figura 1. 2 Eventos contingentes durante la investigación



Fuente: Elaboración propia

Estos acontecimientos, en particular los dos primeros, más que considerarlos como un aspecto negativo en la investigación (dado que han complicado el trabajo de campo), han conllevado a realizar un mejor análisis de aspectos que inicialmente no se les había dado la debida importancia.

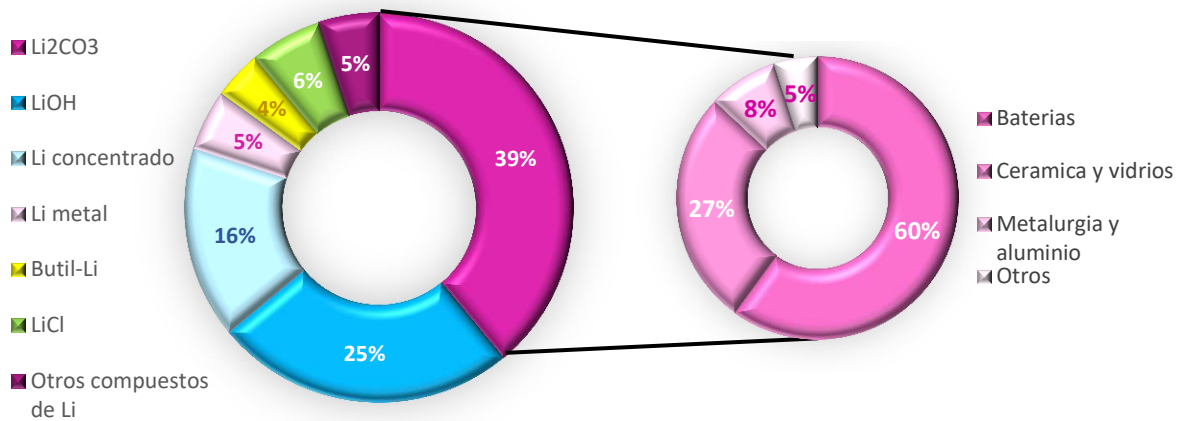
las medidas más severas. Es importante destacar que esta categoría puede cambiar cada semana en función de cómo se desarrolle la pandemia en cada municipio.

Capítulo II – El litio y la problemática del agua en el mundo

El Litio cuyo símbolo químico es Li con un número atómico de 3, se constituye en el primer metal en la tabla periódica, es altamente reactivo por lo que en la naturaleza existe solo combinado en rocas pegmatitas, rocas sedimentarias y mayormente en salmueras naturales.

Este elemento posee propiedades físicas y químicas de carácter peculiar, las que lo han convertido en un elemento clave en numerosas aplicaciones (algunas de ellas de alto nivel tecnológico); es el más liviano de todos los elementos sólidos (gravedad específica 0,534 g/cm³), lo que junto a su alto potencial electroquímico (3,045 Volt,) lo convierten en el componente preferido de las baterías recargables de alta densidad energética, también su bajo peso específico permite usarlo en aleación aluminio-litio para la industria aeronáutica, (Comisión Nacional del Litio, 2015).

Gráfica 2. 1 Demanda de Litio por compuesto químico – 2017 Escenario base



Fuente: Elaboración propia con base a SignumBOX (2016, citado en Comisión Nacional del Litio, 2016)

2.1. El Li en la corteza terrestre

El Li resulta ser un elemento cuantioso el cual se encuentra en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm), aunque se lo puede encontrar en una diversidad de minerales, conocidos también como depósitos en roca (aproximadamente 145 especies mineralógicas contienen Li), solo algunas poseen valor económico (Del Barco, 2012).

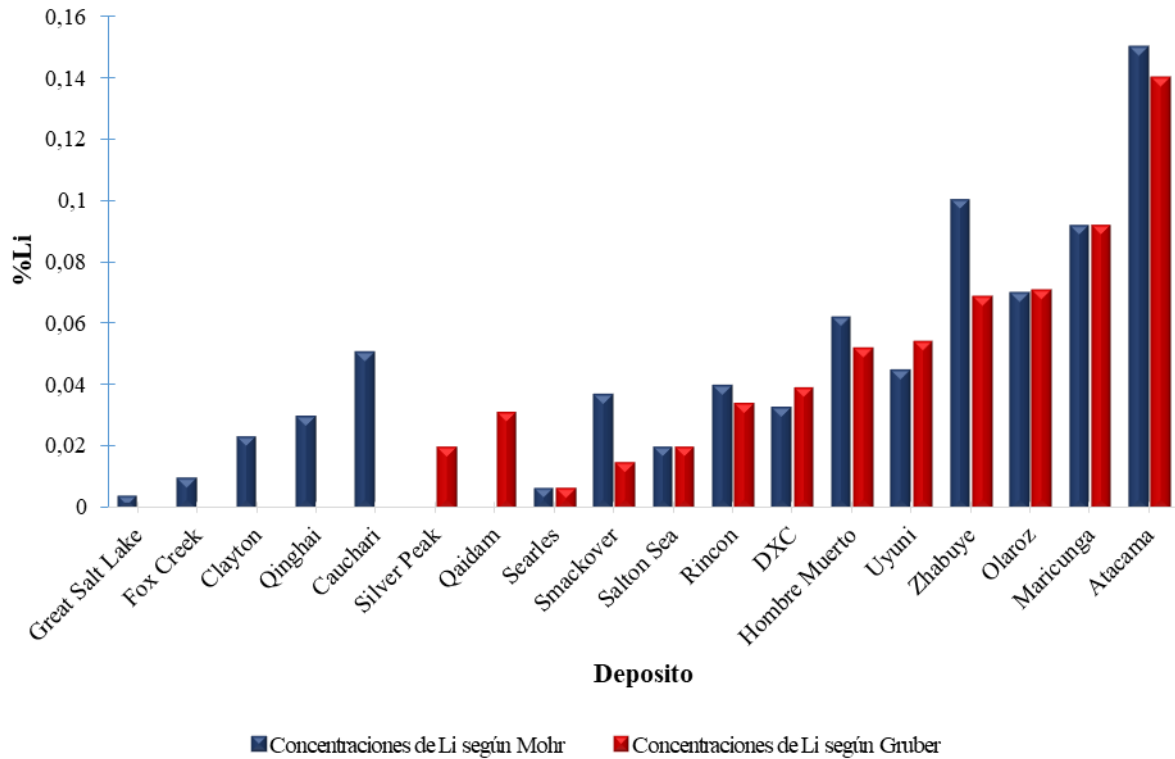
Estos depósitos de roca con valor económico tienen la característica de tener una elevada concentración en Li; 0,2 – 2% (en comparación con los depósitos de salmueras 0,02 – 0,2%); sin embargo, el coste de producción de depósitos de roca resulta ser de 2 a 3 veces mayor, que el coste de producción en salmuera.

Por otra parte, el Li también se encuentra en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) y en el agua de mar, en concentraciones que bordean las 0,17 ppm equivalente a 0,000017%, (Del Barco, 2012). Si bien los depósitos en el agua de mar son abundantes, la concentración del mismo resulta ser muy baja para su extracción; además, esta agua posee otros diversos minerales que hace que actualmente sea imposible su extracción y explotación, pero esto no impide que se estén realizando estudios para la obtención futura del Li proveniente de agua de mar.

Ahora bien, aunque los depósitos en roca son importantes, los volúmenes significativos de Li se encuentran en los salares, los cuales han tomado miles de años para su formación, siendo el resultado de una evaporación solar de soluciones con abundantes sales que se encuentran en una cuenca endorreica.

La Gráfica 2.2 muestra la concentración de Li de los salares más importantes en el mundo, de este compendio de salares, el salar de Atacama de Chile resulta ser uno de los de mayor importancia, teniendo una concentración en Li cercano al 0,15%; tres veces más que la concentración de Li en el Salar de Uyuni, Bolivia; sin embargo, este último es el salar con mayor superficie.

Gráfica 2. 2 Concentraciones de Li por depósito en salmuera según Gruber y Mohr



Fuente: Elaboración propia con base a Gruber et al. (2011, p. 4) y Mohr et al. (2012, p. 69)

Pero ¿tener la mayor superficie de salmuera es suficiente?; pues bien, para determinar la eficiencia y viabilidad de la recuperación de Li a partir de salmueras, existen diversas variables, tales como la concentración de sales contenidas, la ubicación geográfica, el clima, entre otros, para mayor detalle ver Tabla 2.1, (COCHILCO, 2013, p. 4).

Tabla 2. 1 Variables que determinan la viabilidad de extracción de Li a partir de salmueras

Variable	Efecto
Concentración de Li	Influye sobre la cantidad de sales recuperables de Li; es decir es la cantidad de Li por volumen de salmuera se mide en ppm o en %, un valor muy bajo conllevaría a tiempos de evaporación demasiado prolongados (o una mayor dimensión de las piscinas de evaporación) para llegar al valor mínimo requerido de concentración para el proceso

Variable	Efecto
	químico posterior.
Superficie del salar	Determina la cantidad de salmueras disponibles además de la viabilidad de un proyecto extractivo, considerando la ubicación geográfica, la disponibilidad a servicios básico entre otros puntos a considerar.
Concentración de K	El K es un coproducto de la extracción de Li y aumenta el margen de ganancias, bajando los costos operacionales.
Relación Mg:Li	Una mayor concentración de Mg aumenta el consumo de cal para precipitar Mg y/o requerirse una mayor superficie de evaporación solar para concentrar las sales de Mg y separarlas por cristalización, encareciendo la recuperación de Li.
Clima	Debido al uso de la evaporación solar como método extractivo, se requiere un clima árido; es decir, la tasa de precipitación debe ser muy inferior y la tasa de evaporación mayor.

Fuente: Elaboración propia con base a COCHILCO (2013, p.4)

Es importante destacar que recién desde los años sesenta, las salmueras fueron convirtiéndose en la principal fuente de Li, dado que los costos de producción son inferiores en comparación de aquel que parte de minerales (Del Barco, 2012); empero, de ser una actividad minera relativamente joven en comparación los impactos medioambientales son uno de los factores de los cuales no se tiene muchos estudios puesto que no se conoce con exactitud cómo afecta la explotación de Li de los salares en el ecosistema.

2.2. Bolivia, ¿El mayor reservorio de Li en la tierra?

Con relación al volumen de los recursos identificados y reservas mundiales¹³ de Li, las estimaciones difieren mucho en el tiempo y de fuente a fuente, estas variaciones pueden ser causadas a que los diversos estudios incluyen un número distinto de depósitos y las metodologías de estimación no son consistentes.

¹³ “Recurso identificado”, se entiende que es una concentración de mineral potencialmente extraíble, cuya localización, grado, cantidad y calidad son conocidas o estimadas a partir de evidencia geológica. La “reserva” se constituye en la parte de los recursos identificados que reúne los requisitos fisicoquímicos mínimos para llevar a cabo prácticas de producción minera y cuya explotación es económicamente viable en las condiciones actuales (Del Barco, 2012 p. 124).

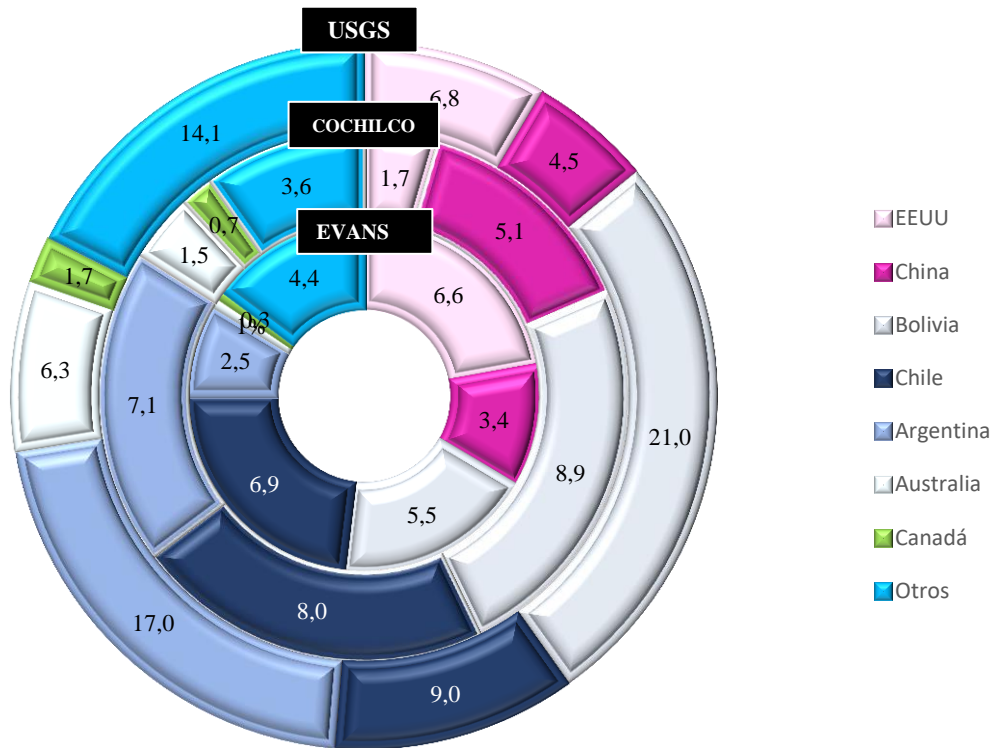
Desormeaux (2018) hace referencia que Argentina, Bolivia y Chile forman el 49% de recursos identificados a nivel mundial (el 16% pertenecería a Bolivia), datos de la misma fuente indican que al 2018 Argentina y Chile integraron el 61% de reservas de Li (48% pertenecería a Chile), datos que al día de hoy varían. Por otra parte, según el Servicio Geológico de Estados Unidos¹⁴ (USGS por sus siglas en inglés), en su reporte anual *U.S. Geological Survey* señalan que las reservas de Li a nivel mundial son del orden de los 17 millones de toneladas métricas y los recursos identificados ascienden a los 80 millones de toneladas métricas, de los cuales 21 millones de toneladas pertenecen a Bolivia (USGS, 2020, p. 99).

Hablar a detalle de todas las fuentes que hacen referencia a estos datos conllevaría a una larga relatoría y hasta alguno que otro debate quizás; sin embargo, no está de más conocer a groso modo los datos numéricos de diversas fuentes; donde los recursos identificados en el planeta tierra varían de 28 a 80 millones de toneladas métricas de fuente a fuente, la Grafica 2.3 presenta una comparación de estas estimaciones. Considerando la información brindada por Evans, COCHILCO y USGS, Bolivia es el país que tiene las mayores reservas¹⁵ de Li.

¹⁴ Uno de las fuentes mundiales más importantes de información en recursos mineros.

¹⁵ La diferencia entre recurso y reserva se detalla en el pie de nota 13

Gráfica 2. 3 Reservas de Li en el mundo [MM deTM]



Fuente: Elaboración propia con base a Evans (2009), COCHILCO (2013) y USGS (2020)

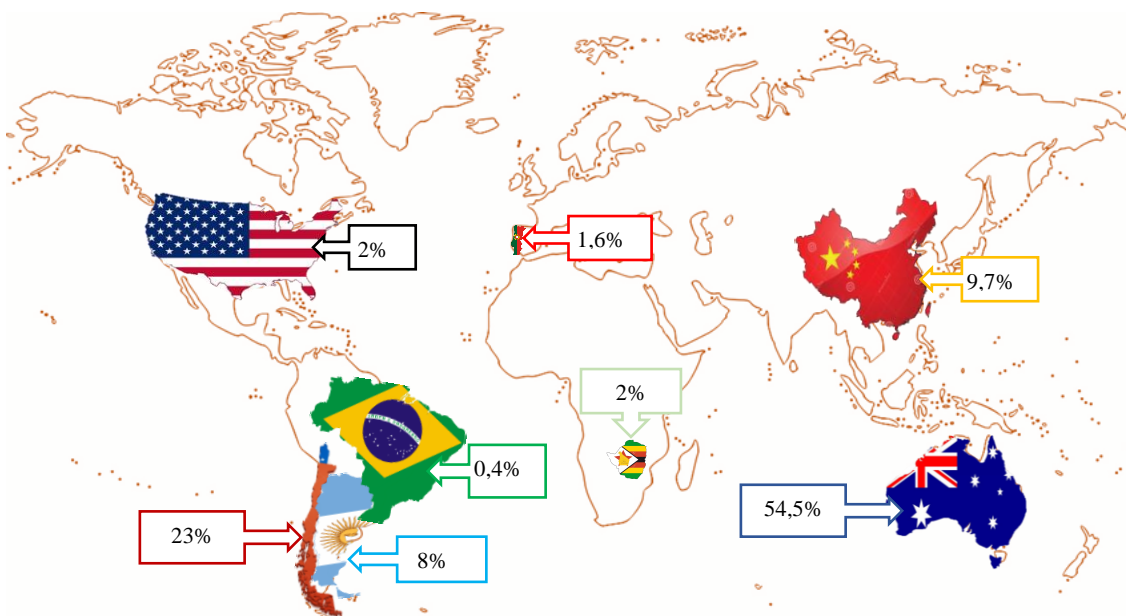
2.3. Principales productores de Litio

Según SignumBOX (2011) hasta hace un par de años atrás Chile era el mayor ofertante de Li ocupando el 37% de participación en el mercado; sin embargo, esta situación ha ido cambiando, según el USGS (2020) sus datos reportan que a la fecha Australia lleva la batuta; siendo el principal productor de Li en forma de concentrado, el cual es producido a partir de espodumeno¹⁶; aun así por el momento Chile sigue siendo el mayor productor de sales de Li a partir de salmuera.

Pero esta situación puede cambiar ya que los actuales productores tienen varios proyectos de expansión en puertas, además un elemento a considerar en este punto es el hecho de que Bolivia no ha incursionado formalmente al mercado de Li.

¹⁶ Es un mineral que contiene óxido de litio

Figura 2. 1 Porcentaje de participación de los principales países productores de sales de litio

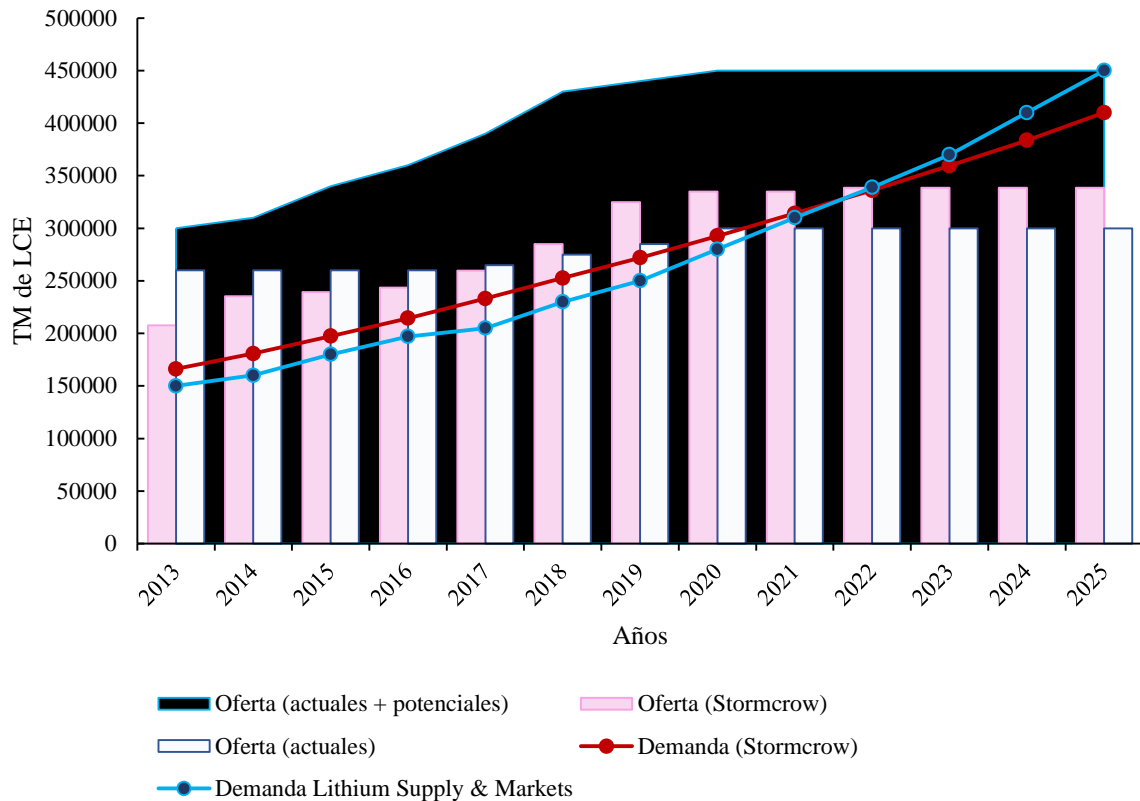


Fuente: Elaboración propia con base a la USGS (2020, p.99)

Según Ströbele-Gregor (2015) la arquitectura de las empresas dedicadas al procesamiento industrial del Li es bastante compleja, estas empresas se caracterizan por un desarrollo estructural dinámico (varias de ellas no solo producen Li, diversifican su oferta), además que algunas de ellas controlan toda la cadena de valor del Li; por consiguiente, la posibilidad del control Estatal de esas compañías que actúan globalmente es limitada. De hecho, existe una tendencia que estas grandes empresas se amplíen mediante *joint ventures* con empresas del sector automovilístico, de la industria de las tecnologías de información y del sector energético.

Es importante destacar que, a diferencia del proyecto estatal en Bolivia, tanto en Chile como en Argentina las principales compañías productoras de Litio son privadas y actualmente tienen varios proyectos de expansión, esto debido principalmente a que se prevé que la demanda de Li incremente y se llegue a un punto donde la oferta no sea suficiente.

Gráfica 2. 4 Datos históricos y proyecciones de la demanda y oferta de Li



Fuente: Elaboración propia con base a Stormcrow (2015), SignumBOX y COMIBOL (2011, 2012 respectivamente ambos citados en Del Barco, 2012)

2.3.1. La explotación del litio y su impacto en las comunidades aledañas

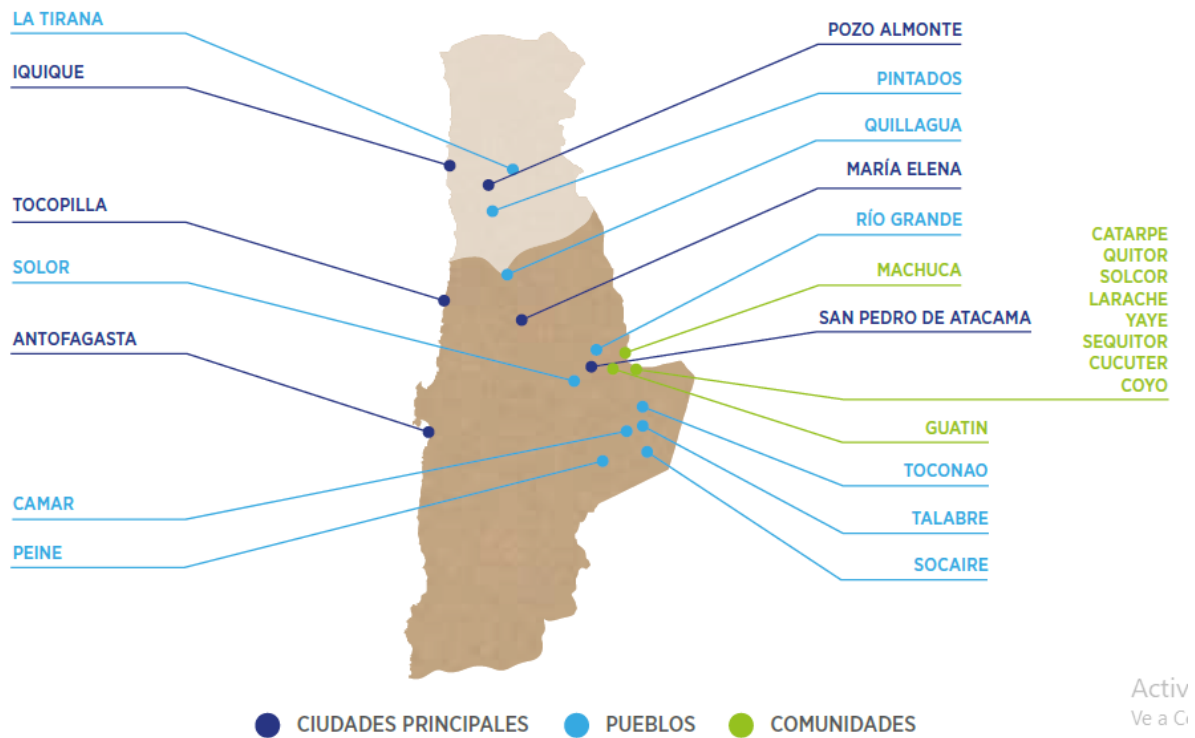
Aunque se mencionó con anterioridad que los productores de Li se encuentran dispersos en todo el mundo y su fuente difiere de rocas, arcillas y salmueras; a partir de este apartado el análisis se concentra en la explotación de Li a partir de salmueras, específicamente en los casos de Argentina y Chile; dado que de la lista de países que obtienen Li desde salmuera estos dos son los que mayores similitudes tienen con Bolivia (si bien, las características fisicoquímicas difieren es importante mencionar que esta diferencia existe en todo el mundo, es decir, no hay dos salares que posean las mismas características fisicoquímicas, incluso dentro de un mismo salar las concentraciones pueden variar considerablemente) como por

ejemplo: características climatológicas similares (zonas áridas, situadas a alturas superiores a los 2.300 msnm, bajos niveles de precipitación, entre otros), contextos culturales semejantes (en las regiones donde se encuentran estos salares en los tres países predominan la cultura aymara y quechua), área rural predominante, bajos niveles de educación; en adición Argentina y Chile se encuentran entre los pioneros y principales productores de Li.

Ahora bien, los salares andinos (ubicados entre los 2.300 y 4.800 metros sobre el nivel del mar) han sido habitados desde tiempos remotos por pueblos indígenas: los kollas y atacameños del Salar de Salinas Grandes y Laguna de Guayatayoc en Argentina; quechuas y aymaras del Salar de Uyuni en Bolivia y los atacameños del Salar de Atacama en Chile; solo por mencionar algunos (Romero et al., 2019); teniendo como actividades de sustento la ganadería con la cría de camélidos (llama, alpaca, vicuña, guanaco); la agricultura (quinua, hortalizas y otros productos); la comercialización de sal y recientemente tomando mayor fuerza el turismo; estas comunidades que se sitúan a los alrededores de los salares tienen una población que oscila entre los 100 a 3.000 habitantes¹⁷.

¹⁷ Según el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, las comunas son la división administrativa menor y básica en Chile, en el territorio de una comuna, puede haber más de un centro urbano sea este: ciudad (más de 5000 habitantes), pueblo (entre 2001 a 5000 habitantes, o 1000 a 2001 si un 50 % de la población se dedica a las actividades económicas secundarias o terciarias), u otra localidad o forma de asentamiento humano.

Figura 2. 2 Ubicación geográfica de las ciudades, poblados y comunidades indígenas cercanas a las operaciones de SQM en las regiones de Tarapacá y Antofagasta



Fuente: Reporte de sustentabilidad SQM 2017 (2018)

)

Por otra lado, la idea de que el Li forma parte de estilos de vida más sustentable y tecnologías de avanzada puede solapar algunas insustentabilidades que la explotación del Li genera a nivel local; tal como lo dicen Gundermann y Göbel (2018) esta minería se sitúa en salares que representan ecosistemas delicados, ubicados en desiertos o semidesiertos de altura con limitados recursos hídricos, vegetación escasa y dispersa; su explotación acarrea efectos de consideración en la naturaleza que denota lo invasivo del mismo; en ese entendido la principal preocupación de los habitantes locales es el elevado consumo de agua de las empresas mineras, que conllevan la extracción de salmueras de los salares, los requerimientos de agua para el procesamiento de estas y los campamentos de los trabajadores; en algunos casos estas empresas mineras son percibidas como invasores y competidores para los lugareños.

Aun con estas observaciones los pobladores no se han mantenido alejados en su totalidad de las empresas mineras; una de las relaciones con mayor antigüedad entre ambas es la laboral, contratando mano de obra de las comunidades campesinas cercanas a los salares, que hasta el día de hoy todavía se cumple; empero, esta relación laboral se ha limitado a una mano de obra no calificada o poco calificada¹⁸, conllevando a bajas remuneraciones; el nivel de educación de los lugareños es una de las principales razones que los encierra en esta categoría.

Claramente no toda la población forma parte de esta relación laboral; por lo que, existen otros temas de cooperación, conflicto o controversia que involucra a ambas partes, estos pueden ser agrupados conforme se explica a continuación en los siguientes apartados.

2.3.1.1. Territoriales

Vinculadas a un tema de derecho propietario de tierras y también de sus riquezas, puede tornarse en un tema conflictivo cuando se sostiene que las áreas de explotación y sitios de trabajo e instalaciones de las empresas de litio, así como caminos de tránsito corresponden a tierras sujetas a demandas de titulación por parte del Estado; por ejemplo: las zonas de reservas naturales que por ley son intocables o cuando los comunarios perciben una invasión en sus derechos sobre los recursos del suelo (canteras, sitios de extracción de leña, medicinas, materiales de construcción) y del subsuelo (sus riquezas minerales); tanto en Argentina como en Chile se ha estado trabajando en tener una mayor claridad sobre los derechos propietarios en los alrededores de los salares.

2.3.1.2. Ambientales

Esto se convierte en un tema muy delicado para las comunidades y quizá en un dolor de cabeza para las empresas de litio.

Existen varias preocupaciones en torno al aspecto ambiental, efectos negativos sobre: el agua con el uso indiscriminado del recurso, la disminución de los espejos lacustres del acuífero del borde del salar, por mencionar algunos; la flora con la pérdida de especies endémicas como los

¹⁸ Una de las empresas en Chile indica que han despedido trabajadores indígenas por incumplimiento de prácticas de seguridad, alcoholismo e inasistencias sin justificación (Gundermann y Göbel, 2018)

algarrobos en el caso chileno y la fauna, que en el caso argentino los comunarios denuncian un aumento de las muertes de los flamencos, enfermedades y muerte de camélidos.

Otro impacto socio ambiental es el volumen considerable de escombros que se tiene en el salar, generados por los trabajos realizados por las empresas de Li y las fugas de diésel causadas por las bombas que extraen la salmuera de los pozos ubicados en el salar, lo que conlleva a afectar a los microorganismos existentes en las salmueras fósiles del salar y que contienen información valiosa referente al origen y conformación de los ecosistemas en la región (Jerez, 2018).

En el mismo documento de Jerez, se menciona un informe de Fiscalización Ambiental en Chile (DFZ-2014-26II-RCA-IA) el cual al año 2013 presenta datos de conductividad eléctrica y pH de suelos, mismos que al evaluarse con datos históricos se descubrió un incremento de más del 90% de las muestras, modificando suelos moderadamente salinos a suelos fuertemente salinos; algo similar sucede con el pH aumentando su nivel de alcalinidad siendo congruente con el incremento de la salinidad, resultando preocupante debido a que se supone que el proyecto de la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM¹⁹) no debería de generar impactos significativos, sin embargo, estas modificaciones afectan considerablemente al ecosistema de la región incluyendo la calidad de las aguas.

Sin embargo, existen algunas acciones en pro de resguardar el entorno medio ambiental; como por ejemplo en Chile en el centro del Salar de Atacama se encuentra la Reserva Nacional Los Flamencos, creada en 1990 la cual se destaca por la protección de las especies de fauna como el tuco tuco de la puna, zorro culpeo, puma, vicuña y guanaco; y en lo que a flora se refiere el tamarugo y el algarrobo los cuales están en estado de conservación vulnerable, esta reserva es coadministrada por la Corporación Nacional Forestal y comunarios aledaños; así mismo, en esta cuenca del salar se tiene varios sectores que fueron declarados sitios RAMSAR²⁰.

2.3.1.3. Culturales

Culturales, referido al resguardo, limitación de acceso y control sobre sitios de importancia cultural y aquellos hoy considerados patrimoniales, como senderos de uso histórico, “camino

¹⁹ La SQM es la principal empresa productora de litio en Chile

²⁰ Humedales de importancia internacional

del Inca”, sitios arqueológicos, construcciones históricas antiguas en los pueblos, corrales y canchas de cosecha, sitios de faenas tradicionales, lugares rituales (Gundermann y Göbel, 2018).

Por su parte, la SQM en Chile en su Reporte de Sustentabilidad 2017, indica que durante más de 10 años, ha trabajado en conjunto con la Corporación Museo del Salitre de Humberstone y Santa Laura, Corporación Museo del Salitre Chacabuco, Corporación Museo del Salitre Pedro de Valdivia y Fundación Ruinas de Huanchaca, mediante el financiamiento para sus gastos operacionales y la realización de proyectos de investigación, conservación y rescate patrimonial.

Vinculado a esto también se tiene al turismo; por ejemplo: en el municipio de San Pedro de Atacama se sitúa uno de los principales destinos turísticos de Chile, puesto que anualmente acoge a más de cien mil visitantes, todos ellos embelesados por los paisajes de la región y la diversidad cultural de las comunidades (Jerez, 2018). En esta línea la SQM por su parte ha estado realizando asesorías para la puesta en marcha del “Plan de Desarrollo Turístico de María Elena y Pedro de Valdivia”, una de las ciudades cercanas a las operaciones de SQM en las regiones de Tarapacá y Antofagasta.

2.3.1.4. Desarrollo local

Siendo esta una de las demandas más persistentes de las comunidades aledañas a las empresas; van dirigidas a obtener fondos de dinero administrados por ellas mismas en función de sus objetivos y necesidades, financiamiento de infraestructura y servicios para las localidades interesadas, con mayor o menor participación comunitaria, relación con el gobierno local y otras agencias públicas (Gundermann y Göbel, 2018).

Por ejemplo, la minera Rockwood²¹ el año 2016 firmó un convenio con 18 comunidades atacameñas del Municipio de San Pedro de Atacama y el Consejo de Pueblos Atacameños que las agrupa; esto fue un requisito para que la Cooperación de Fomento de la Producción autorizara un incremento en la extracción de Li de más del doble, a cambio del 3% de las ventas anuales para cada comunidad (monto que ascendió el año 2017 a unos USD 200.000 para cada una) y un sistema que permita el monitoreo compartido de las capas freáticas del

²¹ Actualmente Albermarle, una de las principales empresas productoras de sales de lio

salar; sin embargo, las críticas no faltan debido a las falencias en su implementación. En adición, el acuerdo en sí ha sido debatido, esto debido a que se sostiene por parte de algunos sectores que las bases de las comunidades no habrían sido informadas ni consultadas y que varios de sus dirigentes habrían sido presionados e incluso obligados a firmarlo dicho acuerdo (Jerez, 2018).

2.3.1.5. Asistenciales

Entendidas como apoyos específicos que pueden tener las comunidades particulares o grupos dentro de ellas, no sujetos a una lógica de definición y desarrollo de proyectos; por ejemplo, en el caso chileno el préstamo de un equipo electrógeno para resolver problemas de iluminación y disposición de energía con ocasión de festivales y reuniones sociales (Gundermann y Göbel, 2018).

Por su parte, en el caso argentino se tiene centros comunitarios, donaciones de prendas de vestir, materiales escolares, financiamiento económico para la realización de torneos de futbol, obras de infraestructura para la comunidad, transporte gratuito entre las comunidades considerando que existe limitaciones en el transporte en las localidades en cuestión, así también apoyo para la realización de actividades culturales (Jerez, 2018).

2.3.1.6. Sociales

Vinculado en parte a la relación entre los trabajadores de las empresas y los comunarios; en Chile por ejemplo se ha pedido reglamentar en los centros poblados las relaciones entre los trabajadores de las empresas y los residentes atacameños, solicitando a los primeros que sigan cierto protocolo de conducta que no altere la vida cotidiana de las aldeas y de sus moradores; en particular de mujeres jóvenes (Gundermann y Göbel, 2018).

Un aspecto delicado en lo social son los procesos de consulta; considerados en muchos casos como procesos viciosos, debido a que se desarrollan a puertas cerradas, en los cuales participan una mínima cantidad de personas que en muchos casos tienen intereses particulares más que comunitarios; ya que son o trabajadores de las empresas o trabajadores públicos que tienen cierto grado de favoritismo a las empresas. En la Argentina para que un proceso de consulta sea legalmente válida debe tener el 50% más uno de los votos de las comunidades y

se ha tenido procesos de consulta donde participan alrededor de 30 personas cuando los involucrados ascienden a más de 3 mil personas, los vicios en estos procesos consultivos llegan a tal magnitud que se tienen pruebas de falsificación de firmas en las actas de dichos procesos y aunque ha habido demandas judiciales por parte de los comunarios a causa de estas irregularidades las mismas han sido desestimadas (Jerez, 2018).

2.3.1.7. Educación

Con anterioridad se mencionó que la relación laboral entre los comunarios y las empresas se limitaba a una mano de obra no calificada o poco calificada; esto debido al nivel educativo que alcanzan los comunarios; en tal sentido, este apartado va más allá de los cursos, talleres que las empresas pueden realizar, ya que los mismos en su mayoría no tienen una vinculación directa con las empresas de litio.

Se debe tener una visión a largo plazo, pensar en la formación de talento humano local, no solo en temas técnicos sino también en talento humano especializado en temas ambientales, entre otros. Esto sin duda toma tiempo y requiere de una planificación a largo plazo; dar lugar a aquellos que terminaron el bachillerato puede ser un comienzo; posteriormente se puede capacitar a bachilleres a fin de conseguir algún título técnico, de tal forma que les permita tener una mejor relación laboral con las empresas bajo condiciones más equitativas.

Por ejemplo, en la Argentina, las empresas mineras junto al gobierno provincial de Jujuy inauguraron hace un par de años atrás la carrera de Química Minera Sustentable para los pobladores jóvenes susqueños²²; así mismo, Sales de Jujuy ha realizado capacitaciones a los habitantes las comunidades aledañas, en temas vinculados a la fiscalización ambiental, de esta forma estos habitantes puedan ser veedores en procesos de auditorías ambientales que se realicen; empero esto puede resultar contraproducente dado que de cierta forma en la práctica la empresa se transforma en juez y parte en la fiscalización (Jerez, 2018); por lo que, en temas de capacitación para el control existe una línea muy delgada entre la formación de talento humano y servidores para las empresas.

Además de la formación de talento humano, de esta forma también se puede apoyar a la creación de micro y/o pequeñas empresas en rubros que oferten a un precio reducido servicios

²² Persona originaria de Susques, perteneciente a la provincia Jujuy, Argentina

que abarquen las necesidades técnicas de los trabajos de las empresas de Li, siendo beneficiadas ambas partes, dado que para estas empresas les resultaría más económico contratar servicios de contratistas locales que externos (Jerez, 2018).

Con todo lo antes mencionado, es importante destacar que los cambios internacionales en la razón de ser de las empresas, su responsabilidad para con la sociedad, las organizaciones sociales indígenas originarias, los debates ambientales, y la sociedad civil en sí, coadyuvándose marcos legales nuevos e innovadores, condujeron a las empresas hacia nuevos términos de relación. En el caso chileno las nociones de Responsabilidad Social Empresarial, como una estructura de las relaciones empresariales con su entorno comenzaron por los años 90s y desde el pasado reciente, ha incursionado el principio de “valores compartidos” vinculado al prototipo de la minería sustentable; es por ello, que las empresas del Li se vieron obligadas a diseñar acciones más regulares, planificadas y en armonía con algunas demandas locales; no necesariamente para una mejor relación con el entorno sino más bien para acceder a permisos ambientales y/o a una licencia social, mismas que son necesarias para poder operar (Gundermann y Göbel, 2018).

Finalmente, si bien la explotación de litio tiene un poco más de tres décadas, es recién a inicios del siglo XXI que se han denotado focos de conflicto, en particular cuando de proyectos de expansión se trata; dado que recién se han percibido los efectos negativos de años de explotación de este recurso; algo que también llama la atención radica en que las actividades agrícolas y ganaderas aunque siguen siendo actividades centrales para las economías locales, en los últimos años ha ido decayendo notoriamente, esto sin duda requiere de un análisis más minucioso y profundo.

2.3.2. El Litio y la problemática del agua

Entre Argentina, Bolivia y Chile, existen ciertas semejanzas; espacio geográfico cercano, misma fuente de obtención de litio, características climatologías similares en las regiones de los salares, entre otros; empero también es importante resaltar las principales diferencias:

- En Chile el agua es privada y se transa en el mercado, en Bolivia y Argentina el agua es propiedad del Estado. Quizá por este aspecto en Argentina se tiene mayores estudios y participación de la sobre la problemática del agua, en comparación a la chilena (que

ciertamente ha tenido manifestaciones de la sociedad en contra de las concesiones de agua a empresas productoras de Li)

- Aunque en Chile se tiene un marco jurídico que indica que no se puede dar concesiones referentes al Li (por ser un recurso estratégico), las principales empresas productoras de Li son privadas y extranjeras, al igual que en Argentina. En el caso boliviano de características estatales, que aunque permite la participación de socios en algunas partes del proceso, el Estado deberá ser socio mayoritario.
- Las características fisicoquímicas de los salares, tanto en Argentina, Bolivia y Chile difieren, lo que conlleva a que en cada salar se tenga un proceso de obtención de litio específico pero todos ellos vinculados a la evaporación solar; así también, estas diferencias fisicoquímicas se dan incluso dentro de un mismo salar; por lo que, los rendimientos de un determinado proceso pueden variar.

Con estas aclaraciones, las discusiones en torno al Li pasan principalmente por lo económico y su rentabilidad, dejando de lado un aspecto igual de importante, que es el medioambiental; como bien lo dice Gómez (2017) en un contexto donde la mercantilización de la naturaleza en todas sus formas ha provocado la merma de los bienes hasta ahora comunes del entorno global (tierra, agua, aire) y un creciente deterioro del hábitat, la minería metalífera ha sido señalada tanto en América Latina como en la Argentina como responsable por la destrucción del paisaje, la pérdida de biodiversidad, la polución atmosférica, la alteración del ciclo hidrológico, la competencia por el uso del recurso hídrico, la contaminación del suelo y el agua con cianuro, metales pesados, drenajes ácidos de roca y la afectación de la salud de la población.

En el caso particular de Chile, el abastecimiento de agua para las comunidades aledañas al salar provienen en su mayoría de fuentes de aguas superficiales como quebradas, lagunas, vertientes y en menor cantidad de aguas subterráneas las cuales son obtenidas mediante el bombeo de pozos; estas fuentes de agua destinadas al consumo humano y riego son auto gestionadas por las comunidades, de manera cooperativa mediante los comités de agua potable, las juntas de vecinos y las asociaciones de regantes; por otra parte, se debe destacar que no solo el proceso productivo *per se* sino también los campamentos de los trabajadores han aportado significativamente al agotamiento de fuentes de agua. La sobreexplotación de

agua ha llegado a tal punto que en el año 2016 la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas declaró como agotados los ríos San Pedro y Vilama a petición de la asociación atacameña de regantes para evitar que sigan otorgando más permisos de uso consuntivo de sus aguas (Jerez, 2018).

Jerez (2018) también indica que durante el año 2007 existieron conflictos entre la empresa SQM y la comunidad de Toconao, debido al incremento en las extracciones de agua de pozos sin autorización y la contaminación generada por las aguas residuales de los campamentos que tiene la empresa en los predios del salar, en donde beben agua los mamíferos y aves originarias, conllevando a un grave daño al ecosistema. A raíz de esto en febrero del año 2018 se presentó dos recursos de protección en la Corte de Apelaciones de Santiago de Chile por parte de las comunidades del salar y otras organizaciones, argumentando daño ambiental al salar y por no realizar una consulta previa, libre e informada a los comunarios sobre el convenio llevado entre CORFO y SQM para incrementar la producción de Li en tres veces, quebrantando los derechos territoriales y empeorando la situación crítica en la que se encuentra los recursos hídricos del salar; el mismo todavía se encuentra en proceso judicial.

Tomando en consideración todos estos potenciales impactos, en el 2018 el Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe (IEALC) realizó una jornada de reflexión y debate, en el cual participaron investigadores y representantes de las comunidades afectadas por la industrialización de Li en la puna argentina y chilena, de esta jornada se pudo rescatar importantes opiniones de representantes de las comunidades, tales como:

“Es fácil decir que el litio es algo bueno, menos contaminante y el futuro de los vehículos que van a ser más sustentables, pero hay que ver lo que deja en el territorio, los impactos ambientales y el tema del agua”, se preocupa Walter Alancay, representante de la comunidad de Aguas Blancas, en las Salinas Grandes y Laguna Gayatayoc, en Jujuy

“Estamos muy preocupados por el agua, porque una empresa estuvo explorando la cuenca entre 2010 y 2011 y pinchó una vena que es la fuente de la cuenca. Después taparon el pozo, pero sigue perdiendo cuatro litros de agua por segundo”, advierte

Cemento Flores, representante de otra de las 33 comunidades que habitan en la región de Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc.

Estas opiniones de los directos involucrados dan cuenta (sin ser ellos expertos en el tema del agua) que existe un problema en torno al agua que debe ser tomado en consideración.

Además, los lugares donde se hallan los salares en Argentina son zonas áridas y donde según Fornillo (2017) escasea el agua, y con las explotaciones las napas se salinizan, las fuentes de agua para pastoreo se secan; por lo que, los comuneros denuncian alteraciones ambientales; sin embargo, al igual que en muchos lugares no se cuenta con datos públicos precisos; y en adición los informes ambientales los elaboran las mismas empresas, siendo estos juez y parte.

Aunque el impacto ambiental por contaminación de la minería del Li en general es menor que la minería tradicional a cielo abierto, o bien combinando esta modalidad de extracción con la explotación subterránea. La evaporación y procesamiento del Li extraído en salmuera requiere de grandes cantidades de productos químicos peligrosos, tales como: carbonato, fosfato, hidróxido y oxalatos de sodio, además de cal y otras bases, ácidos e hidróxidos. Tanto así, que la FMC Lithium²³ utiliza en promedio de 2.130 toneladas semanales de estos insumos; razón por la cual, desde hace ya varios años los campesinos de la zona apuntan a Minera del Altiplano²⁴ como responsable de la polución de arroyos cuya agua utilizan para abreviar el ganado, irrigar cultivos y satisfacer su propio consumo (Mapa conflictos mineros, 2017 citado en Gómez, 2017).

2.3.2.1. Requerimiento de agua para la producción de Li

Tal como lo menciona Gómez (2017) rara vez los estudios de impacto ambiental vinculadas a la extracción de litio hacen referencia al agua; sin embargo, existe cierto consenso académico al respecto, el cual estima que la extracción de una tonelada de Li requiere la evaporación²⁵ de alrededor de dos millones de agua. El bombeo de volúmenes masivos de agua subterránea no solo ocasiona un importante descenso del nivel de base de la cuenta (napas y acuíferos); sino también conlleva al descenso del nivel de agua superficial (e incluso el secado de las lagunas,

²³ La FMC Lithium es la empresa responsable del 8% de la producción de Li en el mundo (Desormeaux, 2018)

²⁴ Filial de la fabricante de químicos FMC Corporation

²⁵ El proceso de evaporación demora entre 12 a 24 meses, esto dependerá de las características del salar

ríos, arroyos, vegas, vertientes, ciénagas, humedales y ojos de agua que alimentan al salar). La aceleración del flujo de agua subterránea, la consiguiente escasez y/o irreversible desaparición de los escasos recursos hídricos del área y la contaminación (vía salinización) de las capas de agua dulce de las salinas ponen en riesgo a un ecosistema frágil, afectando negativamente a la fauna y comprometiendo las economías de subsistencia de comunidades originarias y campesinas locales (Manrique, 2014, p. 37, citado en Gómez, 2017).

En Chile, las empresas SQM y Albemarle por temas de trabajos vinculados al Li, tienen permitido por la entidad ambiental pertinente el uso de 864 metros cúbicos por hora (m^3/h) de agua dulce para SQM y de 84,5 (m^3/h) para Albemarle, en cuanto a la salmuera (agua salada) se tiene autorizado el uso de 6.120 m^3/h de salmuera a SQM y 1591 m^3/h a Albemarle, considerando que esta última se autorizó el 2016, debido a que antes se extraía 511 m^3/h de salmuera, la sumatoria de estos valores significa una extracción diaria que supera los 200 mil metros cúbicos agua dulce y salada (Jerez, 2018); así mismo, el investigador Sergio Mantilla, de la Universidad de Antofagasta (Chile), en su tesis de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable “Evaluación Ambiental del desarrollo de la industria del litio en la Región de Antofagasta” del año 2017, indica que en el salar de Atacama las empresas mineras de cobre y litio en su conjunto explotan alrededor de 17.230 m^3/h de recursos hídricos (de los 19.440 m^3/h que ingresan al salar según estimaciones anteriores), siendo la minería del litio el responsable de más de la mitad del gasto hídrico; esta demanda de agua se constituye en una de las principales causas de las alteraciones en las condiciones ambientales existentes en la cuenca del salar.

En el caso argentino, según distintas fuentes, el consumo de agua de Minera del Altiplano oscila entre 280 y 304 m^3/h , siendo esta última cifra reconocida por la propia empresa. FMC Lithium cuenta con varias fuentes de aprovisionamiento del recurso, utilizando agua proveniente tanto de fuentes superficiales (cauces de La Punta, río Las Papas) como subterráneas (pozos registrados en la Dirección de Riego y excavaciones no declaradas) (Gómez, 2017).

Tomando en consideración estos datos y una producción de 24 horas/día, la extracción de Li en el Salar del Hombre Muerto requeriría el consumo de 7.296.000 litros diarios y 2.663.040

metros cúbicos anuales (133.152 litros de agua por tonelada de carbonato de litio²⁶); aunque este cálculo da como resultado una huella hídrica inferior a la estimada por los expertos (221.920 litros de agua por tonelada de carbonato de litio), no deja de preocupar el fuerte impacto de la actividad sobre el recurso.

Aceptando como válido el parámetro de referencia establecido por la Organización Mundial de la Salud (250 litros diarios por persona), la demanda hídrica anual de Minera del Altiplano sería al menos 20,4 veces más grande que el volumen (130.487,5 m³/año) consumido por los 1.430 habitantes del departamento de Antofagasta de la Sierra en idéntico lapso y representaría el 7,93% del agua utilizada (33.564.305 m³/año) por toda la población de la provincia de Catamarca (367.828 habitantes, según el último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado en 2010) (INDEC, 2013, s/p citado en Gómez, 2017).

El Informe de Impacto Ambiental del año 2011 del proyecto Salares Cauchari-Olaroz de la Minera EXAR S.A. en Argentina, por su parte, indica que extraerán 1300 m³/h de salmuera, y teniendo una demanda promedio de agua de 288 m³/h más un 20% de diseño para abastecer una planta y un campamento de los trabajadores, con una vida útil estimada en 40 años (Jerez, 2018).

Por otra parte, según el proceso de la empresa Lithium Américas, para una producción anual de 40.000 toneladas de Carbonato de Litio serán necesarios (Sticco et al., 2019):

- 26.124.000 metros cúbicos de salmuera por año
- 1.124.000 metros cúbicos de agua dulce por año, de los cuales serán utilizados 784.000 metros cúbicos para los estanques y el remanente para la planta de carbonato de litio

2.3.2.2. Posibles soluciones al problema

Dada la inquietud de académicos, investigadores y la sociedad civil, se observan algunas posibles soluciones que se plantean para minimizar el impacto negativo de la producción de Li en los recursos hídricos, ciertamente estas ideas/propuestas deben de ser aterrizadas, pero es el comienzo y sin duda las mismas pueden coadyuvar al caso boliviano, dado que los mismos

²⁶ Tomando en consideración una producción de 20.000 [TTM/año]

todavía no reciben los impactos de una producción masiva; para una mejor comprensión se agruparon estas ideas/propuestas de la siguiente forma:

Tabla 2. 2 Posibles soluciones ante la problemática del agua

USO DE TECNOLOGIA

- En Argentina existen potenciales técnicas de extracción de recursos evaporíticos que surgen fundamentalmente del desarrollo de ciencia básica financiada por organismos estatales. Por ejemplo, el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía, de la Universidad de Buenos Aires, patento un modo de extracción de litio que consume poca agua (Fornillo, 2017)
- Reemplazo del método evaporítico por uno de separación por vía humedad, como por ejemplo el patentado por el CONICET
- Otros métodos disponibles en el mercado que emplean nanotecnología.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Utilizando estas alternativas a la evaporación, el agua de “evaporada” podrá ser repuesta en el subsuelo mediante pozos inyectores (Sticco et al., 2019) - Menor consumo de agua - Uso sustentable del agua - Menores impactos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimientos con dificultades para ser eficiente en niveles de producción masiva - Falta de emprendimiento de las empresas, del Estado nacional, regional y local. - Tecnologías costosas que resultan ser inviables para las empresas

PARTICIPACION DE LA SOCIEDAD

- Implementación de una consulta previa, libre e informada sobre los proyectos de Li a la población afectada, para que así ellos puedan conocer los beneficios y riesgos
- Con ayuda de las entidades pertinentes ser más exigentes con los estudios solicitados a las empresas productoras de Li (balances hídricos, impactos directos en los recursos hídricos, etc.) teniendo así un mayor control sobre las mismas
- En el caso chileno, por ejemplo, con la finalidad de enfrentar la escasez hídrica, se tiene un sistema de regulación de los turnos de riego de 200 predios, haciendo uso del agua del río Toconao; de esta forma, cada poblador tiene su turno cada 25 o 27 días (anteriormente esta distribución se realizaba cada 20 días); esta ampliación en los periodos de riego se debe a la disminución del caudal del río (Jerez, 2018).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Mayor participación de la sociedad lo que conlleva a un mayor control de parte de ellos hacia las empresas - Incremento del sentido de pertenencia por parte de los comunarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para la coordinación - Intereses políticos y personales que interfieren - Escasa reglamentación - Información dudosa brindada a la población

INCREMENTO DE LA TARIFA DE AGUA PARA ESTA ACTIVIDAD

- En el año 2010 la Dirección de Recursos Hídricos de Argentina insto a Minera del Altiplano a pagar ínfima cifra de 200.000 pesos por su ininterrumpido consumo hídrico desde 1999 hasta esa fecha, esto resulto ser más beneficiosos para la empresa, puesto que el agua utilizada era facturada como “agua de riego”, con un costo de apenas un centavo el metro cubico; sin embargo, un año después, el ente estatal reanudo sus reclamos y reestructuró el esquema tarifario, llevándolo esta vez a 90 centavos el metro cubico y solicitando a la empresa que regularizara la deuda correspondiente al año 2011 equivalente a 1.784.477,8 pesos (446.927,8 dólares) por el consumo de 2.5 millones de metros cúbicos de agua (EL ESQUIÚ, 2012d, s/p; EL INVERSOR ON LINE, 2015, s/p citado en Gómez, 2017).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Mayor control sobre el consumo de agua por parte de las empresas para minimizar sus costos operativos - Reutilización del agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Débiles organismos operadores del agua - Dificultad para la medición de los volúmenes de agua efectivamente consumidos - Normativa que apoya a concesiones mineras debido al ingreso que representan para el país

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta una tabla que describe con mayor detalle las tecnologías alternativas para la obtención de litio, que podrían reducir el consumo de agua:

Tabla 2. 3 Tecnologías alternativas para la obtención de Li

Método	Desarrollador	Descripción	Estado
INQUIMAE	Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (UBA) – Argentina	Consiste en utilizar energía solar para extraer litio con la misma tecnología de las baterías, por medio de un proceso electroquímico que requiere poca energía, que es limpio, selectivo y rápido, y que no evapora agua sino que permite que vuelva al salar como salmuera, y tampoco se agregan sustancias químicas (http://www.unsam.edu.ar)	Patentado/escala laboratorio
Procedimiento de Obtención de Litio y Compuestos Intermediarios a partir de Aluminosilicatos	CONICET – Argentina	El procedimiento consiste en poner partículas de aluminosilicatos en contacto con al menos un compuesto de flúor. Después de agitar y calentar la mezcla hasta alcanzar la temperatura adecuada, se lleva a cabo un proceso de precipitación y filtrado. Los compuestos de litio resultantes obtenidos de este procedimiento pueden ser carbonato o fluoruro de litio. En el proceso de separación también se obtienen, como subproductos, materias primas de alto valor y gran aplicación industrial, tales como criolita y hexafluorosilicato de sodio (www.conicet.gov.ar)	Patentado/escala laboratorio

Fuente: Elaboración propia con base a www.unsam.edu.ar y www.conicet.gov.ar

2.4. Conclusiones del capítulo

Ciertamente el Li ha ido tomando mayor importancia con el avance de las tecnologías, esto se observa con el incremento en su demanda, lo que ha conllevado a la incursión de nuevos ofertantes y en otros casos con la expansión de los ya establecidos; no solo resulta atractiva la elevada demanda existente sino también los precios que se tranzan en el mercado; todo apunta a que en un futuro estos factores vayan en aumento; sin embargo, existen aspectos que todavía no han sido tratados con la debida delicadeza que se merecen, tal es el caso del aspecto ambiental y social que involucra principalmente a los pobladores que se sitúan en cercanías de las empresas que producen Li.

La bibliografía consultada da cuenta, que en Argentina y Chile (países vecinos de Bolivia, quienes han sido pioneros y tienen la batuta en la producción de Li en Sudamérica) aun

después de tres décadas de explotación todavía se siguen estudiando los impactos ambientales que trae consigo esta actividad minera; sin embargo, algo que ha quedado claro son los elevados volúmenes de agua que se utilizan y se evaporan debido al proceso de producción que se lleva a cabo, afectando a regiones que desde ya son áridas y sufren de escasez hídrica. Si bien desde los últimos 10 años en estos países han procurado implementar medidas que coadyuven a una mejor gestión del recurso hídrico (mejorar los procesos de producción, implementación de responsabilidad social por parte de las empresas, prohibición en la explotación de algunos acuíferos), todavía queda mucho por trabajar. Es importante mencionar que estas medidas se dieron una vez que se observaron los impactos negativos que traía consigo la explotación de Li (aplicación de acciones correctivas), esto debe servir como claro ejemplo para que Bolivia no espere a que se agoten sus acuíferos para recién tomar acciones; ahora que todavía se encuentra produciendo Li en pequeñas cantidades debe prever acciones para minimizar los impactos a futuro (implementación de acciones preventivas), en tal sentido, en el siguiente capítulo se analiza con mayor detalle como el Gobierno encara el proyecto de industrialización de Li desde el año 2008, los avances realizados, la vinculación con los municipios aledaños y las medidas que han estado ejecutando en cuando al recurso hídrico se refiere.

Capítulo III – Litio, agua y desarrollo en Bolivia

Mientras el subsuelo del sudoeste de Potosí es rico en minerales, la tierra en la superficie sufre cada vez más de la falta de un recurso vital para la vida como el agua (Hollender & Shultz, 2010).

Frente a la necesidad de reducir las emisiones de CO₂, se va promoviendo el uso de energías alternativas, autos eléctricos y nuevos sistemas de almacenamiento de energía de alto rendimiento; por lo que, se está apostando por las baterías de litio y se prevé que este mercado crezca considerablemente en los próximos años. Por otra parte, los yacimientos de litio de Bolivia están entre los más grandes del mundo, lo que alimenta expectativas de que el proyecto desarrollado por el Gobierno permita al país salir de la pobreza y la dependencia (Ströbele-Gregor, 2015).

3.1. Entendiendo el “desarrollo boliviano”

El su tesis doctoral de Estudios del Desarrollo de la Universidad Autónoma de Zacatecas “El papel del litio en el desarrollo boliviano” del año 2012, Roberto Del Barco realiza un análisis amplio y meticuloso sobre el litio en el contexto boliviano; en uno de sus apartados plasma los diversos enfoques y definiciones competentes al término *desarrollo*, de este estudio destaca el enfoque boliviano sobre desarrollo, denominado como “Vivir Bien”, el cual y citando a Del Barco “...se encuentra en el corazón de la propuesta de desarrollo boliviano, impulsada por el gobierno del Presidente Evo Morales. El enfoque boliviano del “Vivir Bien” corresponde a un patrón de desarrollo (en sustitución del patrón primario exportador) y democratización integral, plurinacional y diversificado...” (Del Barco, 2012, p. 25); este enfoque basado en el “Vivir Bien” constituye un desarrollo en equilibrio con la Madre Tierra (medio ambiente) y sus habitantes. Esto último, es un aspecto importante a considerar, ya que la industrialización de litio (que se pretende que coadyuve al desarrollo de la región) tiene que realizarse en concordancia con la Madre Tierra y sus habitantes.

Es decir, en parte el desarrollo para Bolivia es interpretado como un país industrializador; entendiendo como industrialización, a aquel producto con valor agregado cuyos niveles de producción sean competitivos en el mercado (entre otros aspectos, claro está), dejando de lado

así al país exportador de materia prima; de la mano con la generación de talentos humanos, ingresos monetarios, desarrollo tecnológico e innovación, Todos estos aspectos en su conjunto conducen al "Vivir Bien" de los bolivianos; en otras palabras, al desarrollo para los bolivianos.

Y aquí es donde ingresa el Proyecto Estratégico de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia; bajo la premisa que al industrializar estos recursos (dar valor agregado) se logrará alcanzar un desarrollo local, regional y nacional; toda vez que para alcanzar dicho cometido, se deberá fortalecer el talento humano, generar tecnología, aspectos que ciertamente coadyuvan al desarrollo; pero resulta ser para Bolivia un terreno un tanto desconocido. También es importante destacar que este proyecto ha sido concebido para convertirse en una fuente importante de ingresos para el país, ya que el precio y la demanda de litio a futuro tienden a ser bastante favorable.

3.1.1. Plan de Desarrollo Departamental de Potosí 2008-2012

Según el Plan de Desarrollo Departamental de Potosí 2008-2012, en relación con el medio ambiente de esta región hay un conjunto de “macro problemas”:

- Elevados índices de contaminación de suelos y fuentes superficiales y subterráneas de agua por la actividad minera;
- Disminución peligrosa de recursos hídricos debido al uso incontrolado de aguas superficiales y subterráneas para las actividades extractivas;
- Escasa educación e incumplimiento de normativa y reglamentos para el manejo sostenible de los recursos naturales y el medio ambiente
- Contaminación del Salar de Uyuni debido a la falta de saneamiento básico y a los desechos tóxicos y contaminantes de la minería y el turismo;

Este último macro problema; puede desglosarse de la siguiente manera:

- Saneamiento básico; lamentablemente los municipios aledaños al Salar de Uyuni tienen un servicio de saneamiento básico precario; por ejemplo, en la mayoría de estos municipios, solo 2 de cada 10 hogares cuentan con alcantarillado (Censo de Población y Vivienda 2012), y los desechos de los hogares restantes terminan en fuentes de agua que eventualmente llegan al Salar de Uyuni

- Turismo, de la mano con el problema anterior y debido a la gran afluencia de turistas al salar y la limitada cultura del cuidado ambiental y tratamiento de residuos sólidos, se genera contaminación directa dentro del salar, es importante también destacar que la carencia de infraestructura y medios para una mejor gestión de residuos, contribuye a la contaminación
- Desechos tóxicos y contaminantes de la minería; la minería es una actividad que lleva siglos en Potosí, por lo que, el medio ambiente ha sido quien más ha sufrido los efectos del mismo, debido no solo a la explotación de recursos mineros sino también de recursos hídricos; los desechos de aguas contaminadas que llegan a fuentes de agua limpia para posteriormente contaminarlas; como también por la contaminación de partículas suspendidas que por los vientos son esparcidos a kilómetros del lugar de origen, en el región del salar, San Cristóbal es la empresa minera más grande y principal responsable de fuentes de agua contaminada y consumo excesivo del recurso hídrico; sin embargo, también existen cooperativas pequeñas que no son reguladas por las autoridades competentes.

Estos son algunos de los aspectos que deben ser considerados con el ingreso de esta nueva actividad en la región.

3.2. Los recursos evaporíticos en Bolivia: un poco de historia

Bolivia, a lo largo de su historia se ha caracterizado por la explotación de sus recursos naturales, pero la historia de los recursos evaporíticos en particular comienza en los años 70, cuando en 1974 según Decreto Supremo (DS) N° 11614, previa ubicación y cuantificación, se declara Reserva Fiscal a nuevos yacimientos, de los cuales forma parte el Salar de Uyuni, garantizando que el Estado será quien decida: qué, cuándo, cómo, dónde y quienes pueden explotar estos recursos.

Posteriormente en el Gobierno de Víctor Paz Estensoro por DS N° 21260 se define con mayor precisión la declaratoria de Reserva Fiscal al Salar de Uyuni con un perímetro que comprende la costra salina y una franja de seguridad circulante; ya en 1998 el perímetro se reduce solo a la superficie de costra salina a través de la Ley N° 1854. En la actualidad se mantienen los

límites establecidos en el DS N° 21260, debido a que la ley antes mencionada fue abrogada en diciembre del 2003 (GNRE, 2013).

Por otra parte, es también desde los años 70, que numerosos estudios se fueron realizando en el Salar de Uyuni, el primero se dio en el marco del acuerdo con la francesa ORSTOM actual L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), donde el científico francés François Risacher incursionaba en la búsqueda de establecer la presencia de Li en el salar, el convenio con IRD finalizó en 1995. En el año 2000 la Universidad Duke de Estados Unidos, realizó estudios paleoclimáticos, los cuales consistían en fundar el comportamiento del clima en la región del Salar de Uyuni desde hace ya más de 15.000 años, persiguiendo este objetivo perforaron en el Salar un pozo de 220 metros de profundidad sin tocar fondo (GNRE, 2013).

Estos estudios fomentaron el interés por esta riqueza natural y durante el gobierno de Siles Suazo el año 1985 se estableció mediante la Ley N° 719, el Complejo Industrial de los Recursos Evaporíticos, teniendo como principal función el representar al Estado en temas de licitaciones, asociaciones y suscripción de contratos en temas vinculados con los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni. Pero es recién en 1988, durante el gobierno de Víctor Paz Estensoro que se acuerda algunos términos de un borrador de contrato para la explotación de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni con la Food Machinery Chemical Corporation – FMC (ex Lithium Corporation of América – LITHCO), posteriormente durante el gobierno de Jaime Paz Zamora (1992) se suscribe el primer contrato, el cual fue rechazado por el Comité Cívico Potosinista y otras organizaciones sociales de ese Departamento. Los problemas y presiones sociales se fueron agudizando y entre medio un segundo contrato con la misma empresa fue observado por el Congreso Nacional, lo que finalmente conllevó al rechazo de las enmiendas al segundo contrato por parte de la FMC, anunciando al mismo tiempo su salida definitiva del país (Del Barco, 2012).

Durante varios años se dejó de lado el tema de los recursos evaporíticos y en enero del año 2008 la Federación Regional Única de Trabajadores y Campesinos del Altiplano Sur (FRUTCAS), plantearon al entonces presidente Morales la industrialización de los recursos del Salar de Uyuni; ante mencionada petición es que el 1 de abril de 2008 mediante DS N° 29496 se instruye a la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) la creación dentro de su

estructura institucional de una instancia responsable de la industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni, declarando prioridad nacional la industrialización de este recurso, para el desarrollo productivo, económico y social del Departamento de Potosí y de Bolivia en su conjunto (GNRE, 2013).

3.3. Camino hacia la exploración, explotación e industrialización de los Recursos Evaporíticos

Con el DS N° 29496, la COMIBOL el 3 de abril de 2008 mediante Resolución de Directorio N° 3801/2008, se aprueba el proyecto “Desarrollo integral de las salmueras del Salar de Uyuni” (proyecto inaugurado por el presidente Morales, el 10 de mayo de 2008 en Llipi Loma del Departamento de Potosí), creando dentro su estructura institucional la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia, cambiando su denominación el 29 de junio de 2010 a Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), y finalmente el 27 de abril del año 2017, el Presidente Evo Morales promulgo la Ley N°928, creando oficialmente en sustitución de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos; la Empresa Pública Nacional Estratégica de Yacimientos del Litio Bolivianos (YLB) bajo tuición del Ministerio de Energías, esta entidad es la encargada directa de la exploración, explotación e industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia y teniendo al Directorio, como máximo órgano de definición de lineamientos estratégicos institucionales de control y fiscalización; el cual está conformado por un representante del Ministerio de Energías, un representante del Ministerio de Medio Ambiente y Agua; y un representante del Ministerio de Minería y Metalurgia.

3.3.1. Estrategias del proyecto

La industrialización de los recursos evaporíticos resulta ser un proyecto sin precedentes, la misma tiene características particulares en relación a los emprendimientos nacionales del último tiempo. De hecho, la propuesta de “industrialización cien por ciento estatal” y la aceptación de la inversión extranjera “como socios y no patrones” se han constituido en la plataforma política del entonces gobierno de Morales (2005 - 2019).

Para la lograr tal cometido, la YLB (en ese entonces la Gerencia Nacional de los Recursos Evaporíticos) diseña la “Estrategia Nacional de Exploración, Explotación e Industrialización

de los Recursos Evaporíticos”, misma que fue publicada por el presidente Evo Morales el 21 de octubre del 2010.

Esta estrategia concibe al proyecto en tres fases mencionadas en la siguiente tabla.

Tabla 3. 1 Fases del proyecto de industrialización del litio

FASE I: PLANTA PILOTO DE Li_2CO_3 Y PLANTA SEMI INDUSTRIAL DE KCl	
Inversión	19 500 000 USD
Puesta en Marcha	Planta piloto de Li_2CO_3 (2013) Planta semi-industrial de KCl (2012)
Financiamiento	100% Estado Boliviano
Fuente	Ejecutado con recursos propios de COMIBOL
Tecnología	Boliviana
Producción estimada	480 TM/año de Li_2CO_3 12 000 TM/año de KCl
Producción real	250 TM/año de Li_2CO_3 al 2018 2 200 TM/año de KCl al año 2017
FASE II: PLANTA INDUSTRIAL DE Li_2CO_3 Y KCl	
Inversión	485 000 000 USD
Puesta en Marcha	Planta piloto de Li_2CO_3 (2021) Planta industrial de KCl (2018)
Financiamiento	100% Estado Boliviano
Fuente	Créditos concesionales del Banco Central de Bolivia
Tecnología	Boliviana
Producción estimada	30 000 TM/año de Li_2CO_3 350 000 TM/año de KCl
Producción al 2018	18 000 TM/año de KCl al 2018
FASE III: PRODUCCIÓN DE BATERÍAS DE LI	
Inversión	400 000 000 USD
Puesta en Marcha	2014
Financiamiento	100% Estado Boliviano
Fuente	Créditos concesionales del Banco Central de Bolivia
Tecnología	Boliviana

Fuente: Elaboración propia con base a Del Barco (2012), GNRE (2015.), YLB (2018, 2019)

3.3.1.1. Actividades desarrolladas

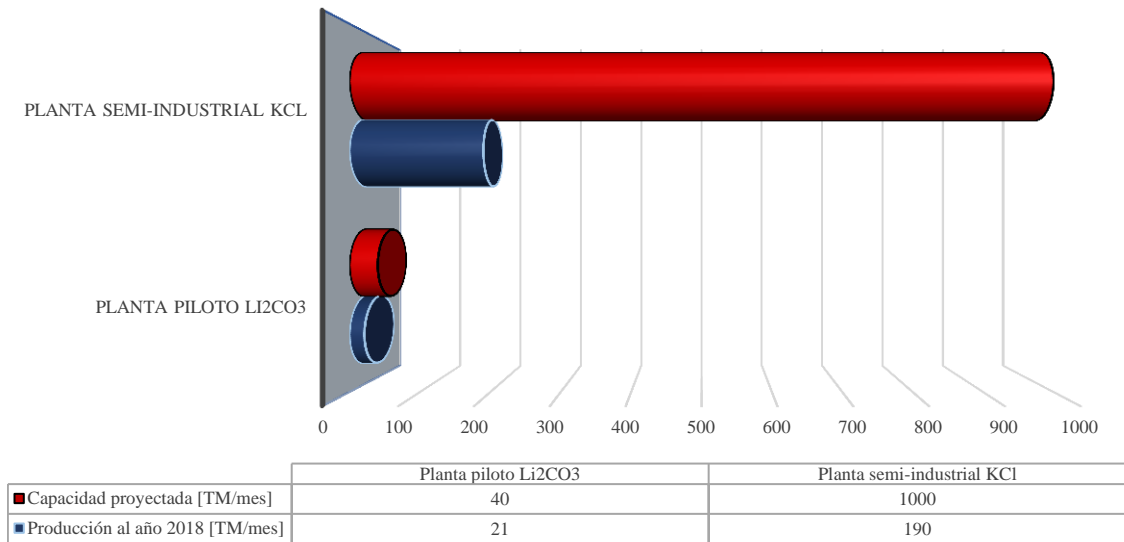
3.3.1.1.1. Fase I

La misma inicio sus actividades con la construcción de la infraestructura civil de ambas plantas, construcción de piscinas de evaporación, entre otros. La instalación de las plantas concluyo con la puesta en marcha de la planta semi-industrial de KCl (el 9 de agosto de 2012) y la planta piloto de Li_2CO_3 inaugurado el 3 de enero de 2013, ambas ubicadas al sur este del Salar de Uyuni (GNRE, 2013).

Esta fase concluyo el 2014, en el caso de la planta de KCl obteniendo un producto con una ley superior al 95%, lo cual es certificado por la empresa Alex Stewart y en la planta de Li_2CO_3 se obtuvo un producto de 99,5% de pureza.

No obstante la producción proyectada desde el 2010 en ambas plantas según GNRE (2011, p.40) y lo obtenido hasta el 2014 dato extraído de GNRE (2015, pp.16-19) están alejadas, en un comienzo se proyectó que la producción ascendería a 40 TM/mes de Li_2CO_3 y 1000 TM/mes de KCl debiendo haber iniciado sus actividades el segundo semestre de 2011, empero como se mencionó con anterioridad la puesta en marcha de las plantas se dio entre finales de 2012 y comienzos de 2013; la Gráfica 3.1 da a conocer esta diferencia entre las capacidades proyectadas y la capacidad actual.

Gráfica 3. 1 Fase I-Capacidad de producción proyectada vs. Producción al 2018



Fuente: Elaboración propia con base a GNRE (2011) y YLB (2019)

3.3.1.1.2. Fase II

Esta segunda fase comienza con la puesta en marcha de una planta de Li₂CO₃ y KCl a escala industrial, hasta el 2014 se avanzó con la construcción del primer módulo de piscinas industriales²⁷, el 2015 se concretó la adjudicación de la construcción de la planta industrial de KCl cuya entrega se formalizó a finales del año 2018; por su parte, se prevé que la planta industrial de sales de litio se encuentre lista para el año 2021.

En contraparte, lo planteado en GNRE (2011, p.70) indicaba que la producción a escala industrial iniciaría el 2014 con una producción anual de 2.500 [TM] y 200.000 [TM] de Li₂CO₃ y KCl respectivamente; sin embargo, hasta la fecha solo se tiene una producción ínfima comparado con lo estimado.

²⁷ Las piscinas industriales están proyectadas aproximadamente a 2.630 hectáreas de las cuales hasta el 2014 se concluyó con el primer módulo, 630 hectáreas (GNRE, 2015)

3.3.1.1.3. Fase III

En función a la estrategia planteada, la Fase III comprende la producción de baterías de ion Litio, material de cátodos y electrolitos. Para lograr este cometido en el complejo industrial de La Palca, del Departamento de Potosí la GNRE se implementó un laboratorio y una planta piloto de baterías de ion litio a través de un contrato bajo la modalidad de llave en mano de tecnología desarrollada (GNRE, 2015).

Esta fase contempla tres proyectos operativos: uno a nivel de laboratorio e investigación, como es el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia; una Planta Piloto de Materiales Catódicos y una Planta Piloto de Baterías (YLB, 2019).

3.3.1.2. Proceso de obtención de Carbonato de litio (Li_2CO_3)

Inicialmente la YLB intento obtener Li_2CO_3 por la línea de los cloruros (método que es utilizado en Argentina y Chile); sin embargo, la relación magnesio/litio presente en el Salar de Uyuni, complicaron este proceso (principalmente en tema de rendimientos); por lo que se tuvo que analizar y evaluar otros métodos para la de obtención de Li_2CO_3 , es así que después de varias pruebas se concluyó que la línea de los sulfatos, era la que mejores resultados les brindaba considerando las características fisicoquímicas del salar. Este proceso según la GNRE (2016) comienza con:

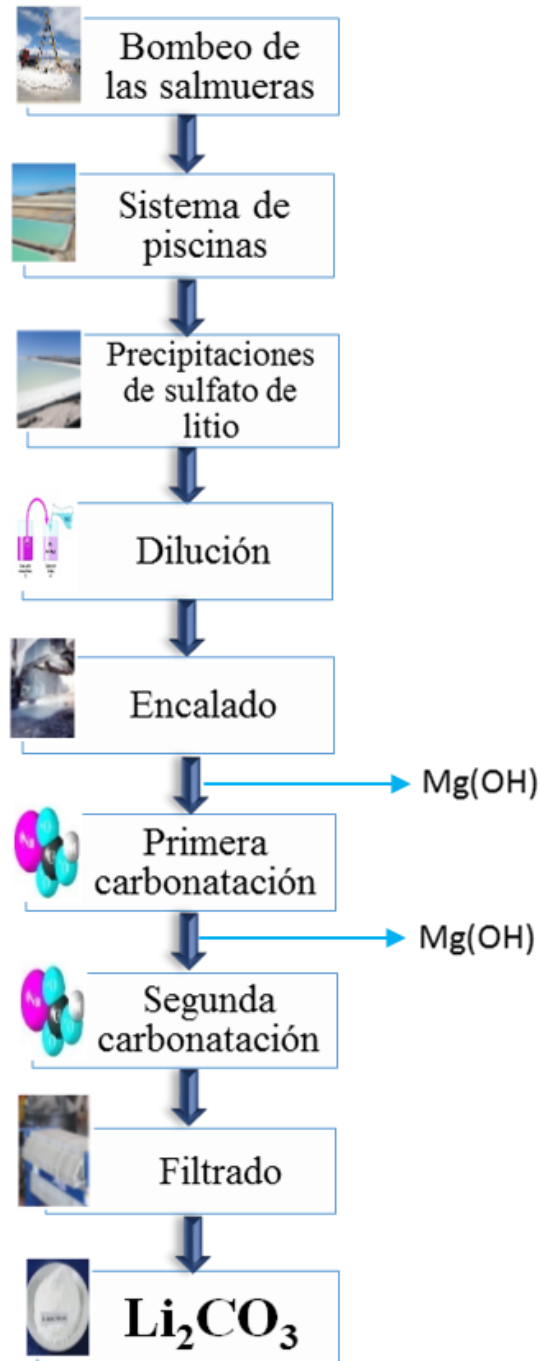
1. **Bombeo de las salmueras;** en un principio la perforación de pozos, ubicando el lugar de mayor concentración de Litio (Li), identificado el lugar se procede con la instalación de ductos y bombeo de las salmueras (concentrado de agua, sal y varios minerales como el Li, Mg, K, B, entre otros) a las piscinas de evaporación.
2. **Piscinas de evaporación;** mediante la evaporación con un proceso de cristalización fraccionada; se realiza la separación de los distintos elementos que forman parte de la salmuera bombeada; una vez llevada cabo esta evaporación los cristales de Sulfato de Litio son llevados a la planta piloto para continuar con su tratamiento. En esta etapa dado el proceso de evaporación se pierden volúmenes considerables de agua.
3. **Acondicionamiento de materia prima (dilución),** esta etapa se lleva a cabo con la finalidad de que la actividad de los iones de la salmuera aumente (debido a un proceso

de dilución), mediante la adición de agua o agua madre, para que la concentración de Li disminuya hasta el 1%.

4. **Encalado;** en esta etapa se agrega cal también conocida como lechada de cal (una mezcla de cal con agua).
5. **Primera carbonatación;** se agrega Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) a la solución anterior y se calienta el sistema hasta una temperatura comprendida entre los 40°C y 60°C
6. **Segunda carbonatación;** esta segunda etapa es realizada agregando la cantidad suficiente de Na_2CO_3 dependiendo de la cantidad de Li que se encuentre en la solución remanente y se lleva a un calentamiento de aproximadamente 90°C
7. **Filtrado;** Obtenido el Li_2CO_3 mediante un filtrado se realiza un lavado y separación del precipitado.

De las siete etapas del proceso todas involucran al líquido elemento, en las dos primeras vinculadas a la pérdida de agua por evaporación (dado el tamaño de las piscinas, los volúmenes de agua evaporada son considerables), a simple vista puede no apreciarse esta pérdida al considerar que se habla de salmuera; sin embargo, considerando que los salares se encuentran en cuencas endorreicas y son alimentadas por aguas subterráneas indirectamente es agua dulce la que se está evaporando y se está perdiendo. Las etapas restantes utilizan directamente agua dulce, misma que en función de la escala de producción también irá incrementando.

Figura 3. 1 Proceso de obtención de Li_2CO_3



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.1. Principales diferencias del proceso

La obtención de Li por la línea de los sulfatos presenta algunas ventajas por sobre la obtención por la línea de cloruros en cuando del tema ambiental se refiere. La principal radica en que por la línea de cloruros se realizan dos encalados (esto para separar el magnesio), lo que además de incrementar el uso de agua genera toneladas de residuos de cal.

Tabla 3. 2 Diferencias entre el proceso por cloruros vs sulfatos

	Diferencias	
	Proceso por cloruros	Proceso por sulfatos
Materia prima de Li_2CO_3	Cloruro de litio	Sulfato de litio
Encalado	Durante las piscinas de evaporación	Después de las piscinas de evaporación
Eliminación de Mg	Encalado y proceso de desalización	Encalado y carbonatación
Subproductos	Cloruro de potasio, Cloruro de magnesio	Cloruro de potasio, Sulfato de potasio, Cloruro de magnesio y otras sales

Fuente: Elaboración propia con base a GNRE (2012 y 2016)

3.4. El Municipio de Colcha K y la YLB

Dada la gran extensión del Salar de Uyuni (más de 10.000 km²), el mismo comparte frontera con varios municipios; sin embargo, el proyecto de industrialización de litio se encuentra en el sud este del salar, teniendo como uno de los principales municipios involucrados a Colcha K.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), hasta el año 2018 el Departamento de Potosí concentra los mayores índices de extrema pobreza a nivel nacional, donde 3 de cada 10 personas se encuentran en este umbral. La situación es más crítica en el Municipio de Colcha K, siendo que 6 de cada 10 personas se encuentran categorizadas como pobres (Censo de Población y Vivienda 2012 – INE).

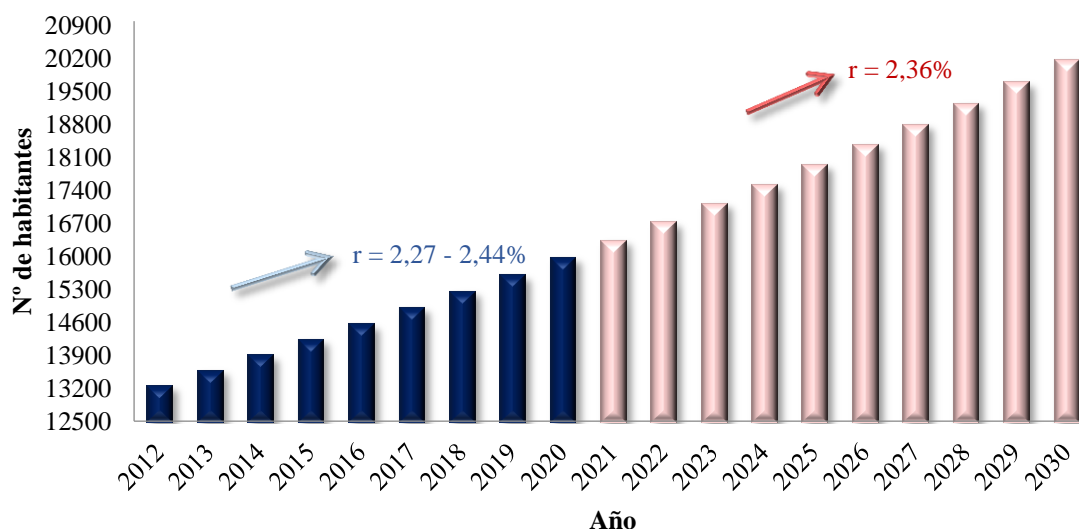
En el Plan de Desarrollo Municipal Colcha K 2007- 2011, se indica que el municipio se beneficia con aguas proveniente de la cuenca del Salar de Uyuni y la del Rio Grande López;

este último aporta a su vez al Salar de Uyuni; la mayoría de los ríos presentes son de carácter temporal y de muy escaso caudal, producto de la extrema aridez y del clima en la región; empero, existen manantiales que permiten que algunos cursos de agua tengan caudal permanente, los lugareños también cuentan con pozos de agua, aun así el recurso es escaso (más aun cuando se tiene ríos, vertientes y lagunas contaminadas; solo por mencionar a las aguas subterráneas); se debe destacar que la actividad minera a gran escala iniciada por la minera San Cristóbal²⁸, requiere de grandes cantidades de agua que la minera consigue a partir de una veintena de pozos profundos, lo que según versiones de los pobladores ha ocasionado la disminución de los cursos de río y vertiente. En cuanto a las variables climáticas se refiere, éstas corresponden a una puna semidesértica, con una temperatura media de 8.3 °C y una precipitación media de 187.1 mm; presenta aproximadamente 211 días de heladas al año, siendo las más perjudiciales para la actividad agrícola y ganadera las que se presentan en los meses de enero y marzo; en la región se tiene una humedad relativa de 34%; son pocos los lugares que pueden ser considerados propicios para la agricultura y en adición se tiene una vegetación escasa.

Por otra parte, según el Censo de Población y Vivienda 2012 – INE, este municipio alberga alrededor de 12.997 habitantes (siendo el 55% hombres), esparcidos en más de 45 comunidades. En la base de datos del INE se tiene una proyección del crecimiento poblacional de este municipio para el periodo 2012 – 2020, cuyas tasas oscilan entre 2,27 y 2,44%; teniendo una media de 2,36%; tres veces más que la tasa media del Departamento de Potosí (0,78%) y casi el doble que la tasa media de Bolivia (1,5%). Considerando la tasa media de crecimiento poblacional del municipio, se tiene la siguiente proyección poblacional (ver Gráfica 3.2), donde para el año 2030 se estima que este municipio contaría con alrededor de 20.175 habitantes; esta información es importante, debido a mayor población mayor demanda de recursos hídricos.

²⁸ Empresa minera que produce concentrados de zinc, plata y plomo, subsidiaria de Sumitomo Corporation

Gráfica 3. 2 Proyección del crecimiento poblacional del Municipio de Colcha K



Fuente: Elaboración propia con base a Estadísticas Sociales – INE (2020)

En cuanto a la procedencia del agua que llega a los hogares, del mismo censo realizado el año 2012 se tiene que solo el 67% de los hogares²⁹ de este Municipio cuentan con acceso a la red pública; el resto lo obtiene de pozos sin bomba; pileta pública; lluvia, río, vertiente o acequia; pozo con bomba; carro repartidor y lago o laguna; según las proporciones de la Gráfica 3.3; según el Plan Municipal de Colcha K 2007 – 2011, la cuenca del Salar de Uyuni y la del Río Gran Lipez son los más importantes para Colcha K, y como principales fuentes de agua para el consumo humano se tiene a ríos, vertientes, lagunas y pozos.

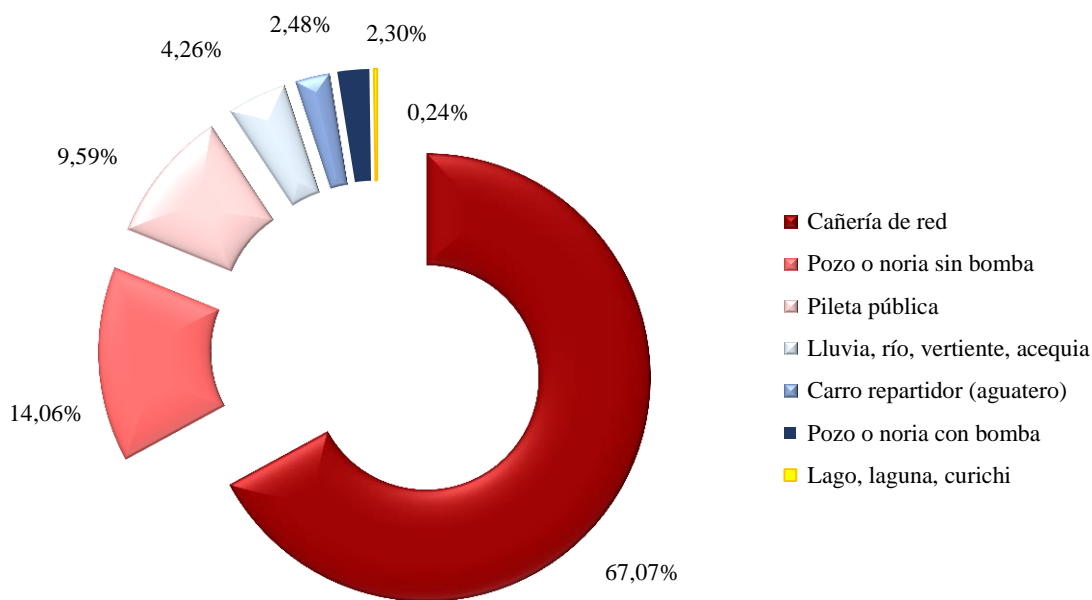
Así también, otro dato igual de alarmante extraído del mismo Censo radica en que solo 2 de cada 10 hogares disponen de alcantarillado.

Es importante destacar que este municipio al tener varias comunidades dispersas con poblaciones inferiores a los dos mil habitantes, la Empresa Prestadora de Servicio de Agua Potable (EPSA) se caracteriza por ser una EPSA de constitución indígena originaria

²⁹ De un total de 3.307 hogares

campesina³⁰; es decir, son las propias comunidades quienes se encargan de la gestión de las mismas.

Gráfica 3. 3 Procedencia del agua que utilizan los hogares en el Municipio de Colcha K



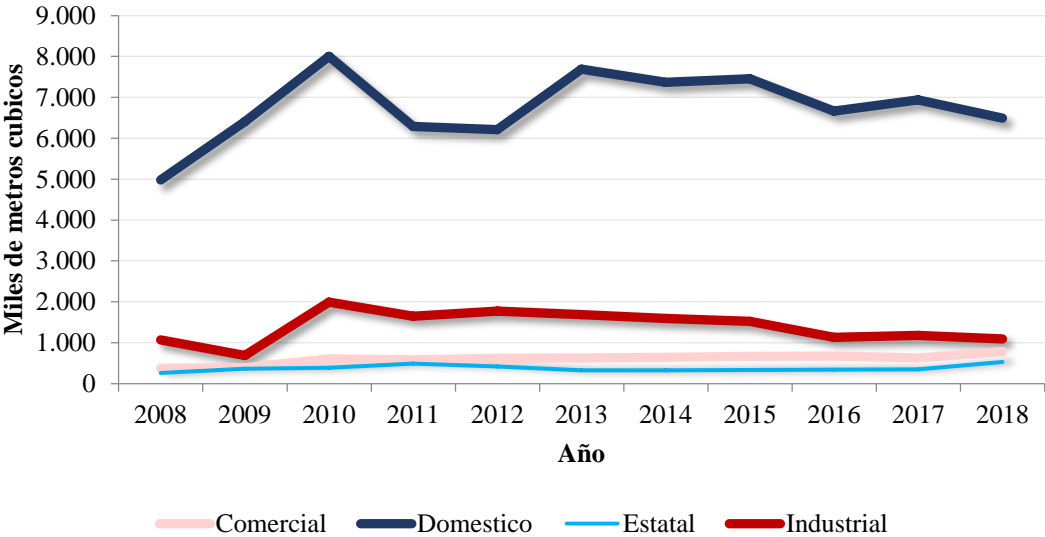
Fuente: Elaboración propia con base en INE – Censo de población y vivienda 2012

Si a nivel Departamento se habla, en el documento “Estadísticas de Medio Ambiente 2008 – 2018” publicado por el INE (2019); se tiene que el mayor consumo de agua potable en este Departamento según el tipo de servicio, es el destinado al consumo doméstico seguido del consumo industrial (ver Gráfica 3.4), se observa un pico sobresaliente del año 2009 al año

³⁰ La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) categorizo a las EPSA de acuerdo a la cantidad de población, dentro de su área de servicio autorizada, y la territorialidad de la siguiente forma: categoría A (eje troncal del país, mayor a 500.000 habitantes); categoría B (ciudades capitales, áreas periurbanas y otras ciudades mayores entre 50.000 y 500.000 habitantes); categoría C (ciudades intermedias entre 10.000 y 50.000 habitantes); categoría D (ciudades menores y/o municipios entre 2.000 y 10.000 habitantes) y categoría Registro (menor a 2.000 habitantes o EPSA de constitución indígena originaria campesina); salvo esta última categoría todas las anteriores forman parte del sistema de seguimiento regulatorio por parte de la AAPS (AAPS, 2019).

2010; en cuanto a los hechos importantes ocurridos en Bolivia durante ese periodo, está la promulgación de la Nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.

Gráfica 3. 4 Consumo de agua potable según el tipo de servicio en el Departamento de Potosí



Fuente: Elaboración propia con base a INE (2019)

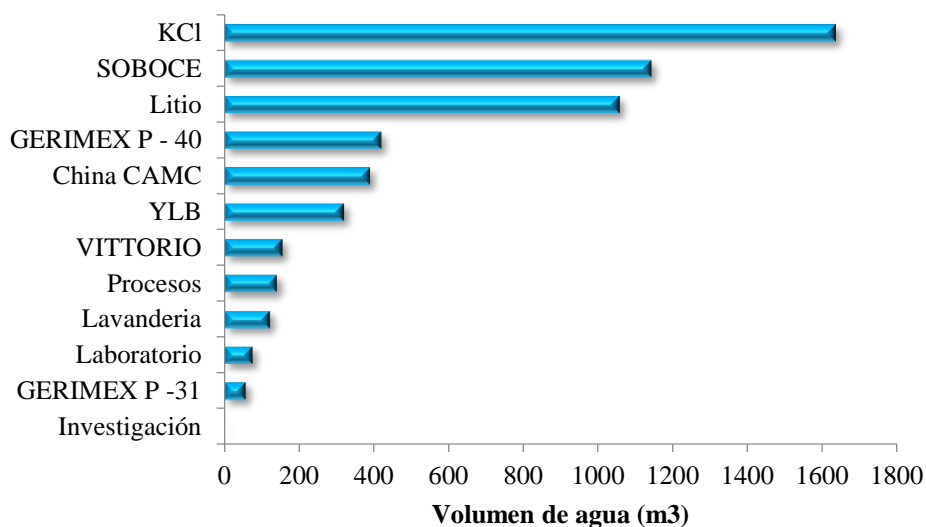
3.4.1. La empresa Yacimientos del Litio Bolivianos y su nexos con el agua

La YLB encargada del proyecto, actualmente utiliza como fuentes de agua, para consumo humano en los campamentos y para las plantas en Llipi y del Salar de Uyuni, dos pozos de agua (PSG-001 y PSG-002, cuyos estudios técnicos tan cuenta que posee un caudal de 16,5 Lts/seg y 13,5 Lts/seg respectivamente) provenientes del sector de San Jerónimo, el cual se encuentra dentro del Municipio de Colcha K (YLB, 2018). El proyecto: “Red de abastecimiento de agua planta Llipi – piscinas industriales”, fue diseñado por la Dirección de Operaciones de la YLB y ejecutado por la empresa GERIMEX SRL con una tubería HDPE de diámetro 8 pulgadas por una distancia de 26 km llegando así a las piscinas industriales, todo esto con la finalidad de dotar de agua dulce a la planta industrial de KCl, permitiendo así el funcionamiento y operación de dicha planta, en adición se considera la alimentación a las

piscinas industriales para el sistema de lavado de bombas (YLB, 2018). Cerca de estos pozos de explotación se encuentran sembradíos de quinua y habitantes que se quejan porque consideran que les “están robando su agua”, solo por mencionar algunos actores involucrados en el consumo de agua.

En su memoria institucional del 2017, la YLB indica que el uso de agua es controlado mediante el llenado de reportes de consumo, contando para ello con micro medidores de agua, y según dicho reporte en la gestión 2017 se consumieron alrededor de 5.506,880 m³ de agua, siendo la Planta de Cloruro de Potasio³¹ (KCl) quien más consumo este recurso (1.634,000 m³ de agua) y en tercer lugar la Planta Piloto de Litio³² con un consumo de 1.055,000 m³ de agua; en sumatoria ambas plantas representan el 49% del agua consumida durante la gestión 2017.

Gráfica 3. 5 Estimación de consumo de agua potable por área



Fuente: YLB (2018, p.55)

³¹ Dado que no existe mayor información se asume que la sigla KCl, se refiere a la planta de cloruro de potasio

³² Dado que no existe mayor información se asume que la palabra Litio, hace alusión a la planta piloto de litio; toda vez que durante esa gestión recién se estaban realizando la licitación de la construcción de la planta industrial de litio.

Por otro lado, el 40% remanente fue utilizado para distintas obras de infraestructuras, vinculadas a las plantas, a la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales (para aguas domésticas e industriales), entre otros.

Volviendo al dato de consumo de agua en la Planta Piloto de Litio, aunque no se tiene datos de la producción de sales de litio durante esa gestión, en la memoria institucional 2018 (YLB, 2019, p.13) indica que en cuanto a la planta piloto de litio “...se logró realizar la optimización productiva reflejando un incremento en la cantidad de producción mayor al 125% en comparación a la gestión 2017,...alcanzando una producción de 250 toneladas métricas de carbonato de litio...”; con base a esta información y realizando algunos cálculos se tiene que la gestión 2017 se tuvo una producción cercana a las 110 toneladas métricas de carbonato de litio; esto resulta ser un consumo de agua aproximado para dicha producción de 15 m³ por tonelada; sin embargo, en una de las entrevistas realizadas por Fornillo (2017) a uno de los técnicos encargados del funcionamiento de la planta piloto de litio, el cual indica que se obtuvo el dato de que al 2017 se utilizaban entre 20.000 a 30.000 litros de agua dulce para obtener 300 y 400 kilos de Li (75 m³ por tonelada) con una tasa de reutilización de agua que oscila entre el 30 y 40%; extrapolando esos datos a una producción industrial (30.000 toneladas/año) y considerando que el método de obtención de Li se replicaría a escala industrial, se consumirían aproximadamente 900.000 metros cúbicos de agua por año bajo un parámetro de eficiencia y 2.450.000 metros cúbicos de agua bajo uno de no eficiencia.

Ahora bien, dada la amplia brecha entre la información proporcionada por una fuente oficial (como es la memoria institucional de la empresa) y la información que proporcionan sus trabajadores, resulta imperiosa la necesidad de realizar controles rigurosos al consumo de agua, no solo en términos de cantidad sino también a que áreas se las destina.

En la Tabla 3.3 se puede observar un resumen del uso de agua por parte de las empresas productoras de Li.

Tabla 3. 3 Uso de agua por empresas productoras de Li

Empresa	País	Año	Producción (TM/año)	Agua dulce (m ³ /hr)	Agua salada (m ³ /hr)	Consumo anual estimado de agua dulce (m ³)
SQM	Chile	2018	70.000	864	6.120	60.480.000
Albemarle	Chile	2018	ND ¹	84,5	1.591	ND

Empresa	País	Año	Producción (TM/año)	Agua dulce (m³/hr)	Agua salada (m³/hr)	Consumo anual estimado de agua dulce (m³)
Minera del Altiplano	Argentina	2017	20.000	304	ND	6.080.000
Minera EXAR S.A.	Argentina	2011	25.000	288	1.300	7.200.000
Lithium Americas ²	Argentina	2019	40.000	128	2.985	5.120.000
YLB	Bolivia	2017	110	0,62 ³	ND	2.450.000 ⁴

¹ No disponible
² De agua dulce el 70% va a los estanques y el restante a la planta de carbonato de litio
³ Dato extraído de la memoria institucional de la YLB
⁴ Dato considerado de la entrevista realizada por Fornillo a un técnico de la YLB, para una producción de 30.000 toneladas

Fuente: Elaboración propia con base a Jerez (2018), Gomez (2017), Sticco et al (2019), YLB (2018) y Fornillo (2017)

De esta tabla se puede concluir lo siguiente:

- Tanto en Argentina como en Chile se realiza un control sobre el uso de salmuera (agua salada) extraída de los salares, en Bolivia no se debe dejar de lado este control, ya que aunque se habla de agua salada, no se debe dejar de lado que esa agua antes de ingresar al salar era agua dulce.
- Aunque se tiene los datos del uso de agua dulce en general, no se tiene claridad sobre qué áreas de una empresas son las que mayor consumo realizan, tener un control del consumo por área puede ser muy útil para realizar la trazabilidad y tomar acciones respecto a aquellas áreas que mayores niveles de agua consumen.

3.4.1.1. Acciones de la YLB en temas ambientales y sociales

Con la finalidad de tratar todas las aguas residuales; por una parte las aguas domesticas generadas por los campamentos y aguas industriales por la planta industrial de KCl, para así poder mitigar la contaminación en el Salar de Uyuni, la YLB cuenta con el proyecto Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Origen Doméstico e Industrial, ejecutado por la Empresa Constructora VITTORIO SRL; en adición, desde el año 2014 en el campamento Llipi se cuenta con baños ecológicos.

Figura 3. 1 Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas PTAR D



Fuente: YLB (2019)

Según su memoria institucional el año 2016 (GNRE, 2017) se instalaron medidores en lugares específicos en Llipi y el área del Salar, con ello se pretende llevar un registro de carga en las cisternas, el cual es llenado por personal que distribuye el agua a las distintas áreas operativas, estas medidas e información que se registraría conllevaría en un futuro al diseño e implementación de un Plan de Seguridad de Agua. Sin embargo, a la fecha no se tiene ninguna información referente a dicho plan.

Así también indican que se considera a futuro la instalación de una planta de tratamiento y desalinización para agua salada, de esta forma poder satisfacer el uso industrial de agua y minimizar los impactos en las fuentes naturales que se encuentran en comunidades aledañas al proyecto (YLB, 2018).

En cuanto a la relación con sus vecinos se refiere; se tenía a La Unidad de Gestión Comunitaria, la misma era la entidad que trabajaba de manera conjunta con las autoridades locales y población en general, informando a las comunidades sobre el desarrollo del proyecto, además de coordinar y viabilizar trabajos en el mantenimiento de caminos vecinales, agua potable y otras actividades, en la medida que las disposiciones legales lo permiten; de esta forma en el año 2013 se realizaron alrededor de 30 actividades vinculadas a la socialización del proyecto con comunidades aledañas (GNRE, 2014). Sin embargo, en la actual estructura

organizativa de la YLB esta unidad no se encuentra; además, en las memorias institucionales de las últimas gestiones no se mencionan actividades realizadas con los comunarios.

En la memoria institucional de la gestión 2014, menciona que el proyecto significó un importante impulso en la generación de fuentes de trabajo en el Sud Oeste boliviano, beneficiando de manera directa con la contratación de trabajadores del entorno del Salar de Uyuni, generando un promedio de 360 empleos directos y más de mil empleos indirectos mediante empresas sub contratistas, servicios, proveedores de insumos y otros; en adición se realizaron trabajos de apoyo en agua potable para las comunidades, mejoramiento de caminos vecinales, apoyo en la producción agrícola, apoyo en servicios de salud y educación escolar, privilegiado la contratación de empresas comunitarias, conformadas por habitantes de la zona, y que prestan servicios de transporte, construcción y provisión de alimentos (GNRE, 2015).

Ciertamente la contratación de personal en la YLB incremento de 20 trabajadores el 2008 a 563 trabajadores para el año 2018; de los cuales 250 trabajadores provienen de alguna parte del Departamento de Potosí (YLB, 2019); sin embargo, 8 de cada 10 trabajadores tienen por lo menos una formación de nivel técnico, pregrado o posgrado; por lo que, se puede concluir que el número de trabajadores en la YLB originarios de alguna comunidad aledaña es mínima, toda vez que el nivel de formación educativa en estas comunidades en el mejor de los casos llega al bachillerato.

3.5. Conclusiones del capítulo

La industrialización de Li resulta ser un proyecto sin precedente para Bolivia, no solo por el nivel de inversión que involucra sino también porque este proyecto pretende cambiar el rumbo de la historia boliviana (la cual ha estado marcada por la explotación y comercialización de materia prima en cuanto a sus recursos naturales se refiere), dando el paso hacia un país industrializador que oferta productos con valor agregado, contribuyendo así a alcanzar el “Vivir bien” para las y los bolivianos en armonía con la Madre Tierra (esto último es entendido como alcanzar el desarrollo para Bolivia en todas sus dimensiones).

Sin embargo, este proyecto desde su concepción el año 2008 hasta la fecha ha sufrido varios retrasos e inconvenientes, dejando ver falencias en el mismo. La inexperiencia de Bolivia en el rubro de la producción de Li ha sido un tema de debate desde su comienzo, se tuvo que optar

por políticas improvisadas para capacitar al talento humano principalmente en lo que se refiere al área de obtención de Li e Investigación & Desarrollo; aunque actualmente la YLB ha tomado medidas para minimizar algunos impactos ambientales en cuanto al líquido elemento se refiere (implementación de baños ecológicos en los campamentos, implementación de una PTAR en la Planta de Llipi) estas acciones se han quedado estancadas desde hace un par de años atrás, dando a entender que no se le está dando la debida importancia a los futuros impactos que traerá consigo este proyecto.

En adición, el aspecto social resulta ser preocupante y contradictorio con el discurso del “Vivir bien” del Gobierno boliviano; en una zona que sufre de limitado acceso a los servicios básicos (en particular en cuanto al saneamiento se refiere) y donde se pretende establecer un proyecto de la magnitud que representa la industrialización de Li; si bien, en los últimos años la cobertura a servicios básicos ha incrementado se debe considerar que en futuro los campamentos de la YLB contribuirán a un ascenso en la demanda de estos servicios, por lo que, las políticas públicas de saneamiento deberían de tomar en cuenta este aspecto.

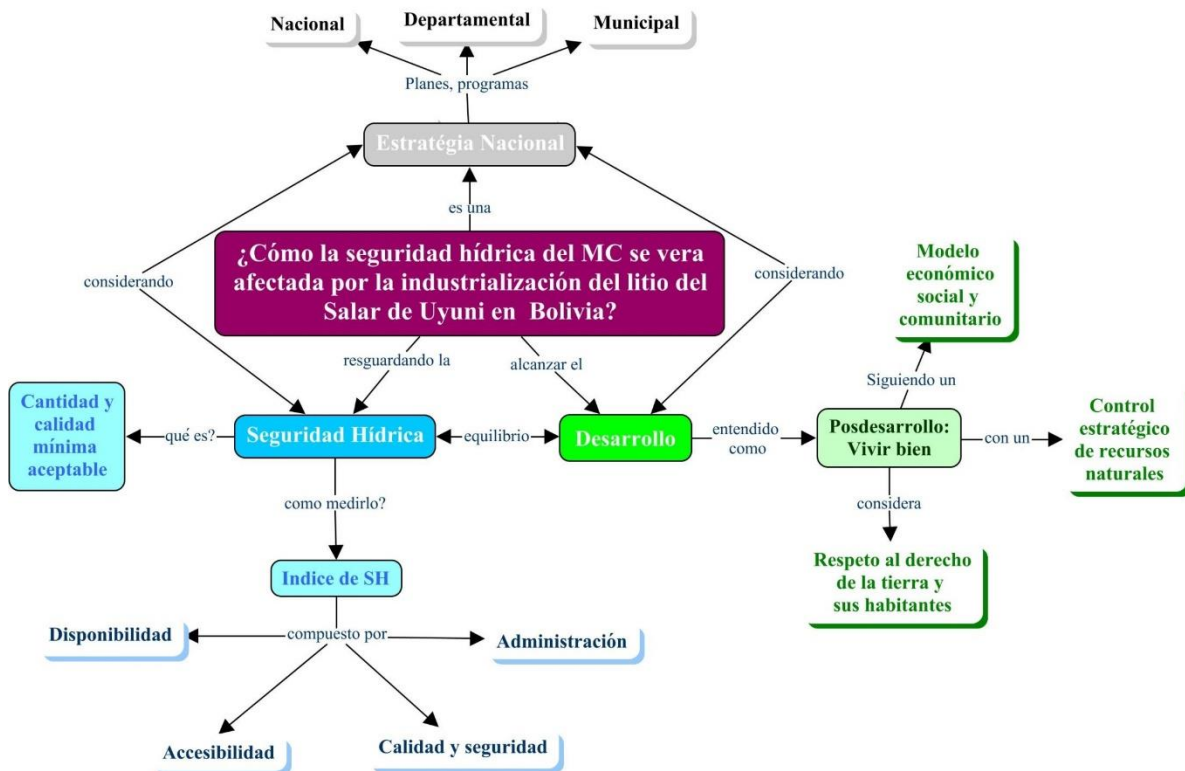
Por otro lado, el doble rol que juega el Gobierno (juez y parte) puede solapar algunas realidades poco favorables del proyecto, en particular en cuanto al tema ambiental se refiere, puesto que la Directiva de la YLB está conformada por un miembro del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (entidad que tiene bajo su tuición la emisión y control de licencias ambientales), esta situación no se da ni en Argentina ni Chile, puesto que las empresas productoras son privadas y en alguno que otro caso mixtas. En tal sentido, Bolivia debe de trabajar en medidas que minimicen esta parcialidad.

Finalmente, en el capítulo que le sucede al presente se habla sobre seguridad hídrica, esto para coadyuvar a un mejor tratamiento de toda la información recolectada hasta este punto, y para poder triangular la información también se contempla metodologías para la determinación de un índice de seguridad hídrica el cual permitirá en términos cuantitativos estimar el posible impacto que traerá consigo la industrialización de Li.

Capítulo IV – Midiendo la seguridad hídrica

El presente trabajo tiene como pilares conceptuales a la Seguridad Hídrica y el desarrollo, los cuales se relacionan de la siguiente forma:

Figura 4.1 Mapa conceptual



Fuente: Elaboración propia

4.1. Algunas definiciones de seguridad hídrica

Considerando los aspectos antes mencionados, como el desarrollo en equilibrio con la Madre Tierra y sus habitantes en el presente trabajo serán tratados desde el enfoque de Seguridad Hídrica, para ello es importante aterrizar el marco conceptual y definir con que concepto trabajará la presente investigación.

Es a partir del año 2000 y durante el II Foro Mundial del Agua que el concepto de Seguridad Hídrica va tomando mayor fuerza; distintas organizaciones y personas han ido definiendo el sentido epistémico de estas dos palabras; la mayoría de las definiciones tienen como común denominador tres palabras: cantidad, calidad y riesgo; una de las definiciones más utilizadas es:

“La provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua” Grey y Sadoff³³ (2007)

Puede considerarse una definición un tanto general; Mason y Calow por su parte, intentan ser más específicos y consideran a los ecosistemas como un factor importante (dejando de lado hasta cierto punto ese pensamiento antropocéntrico), en adición destacan que los distintos sectores están interrelacionados; para estos autores la Seguridad Hídrica es:

“Tener suficiente agua, en cantidad y calidad, para las necesidades humanas (salud, sustento y actividades productivas) y los ecosistemas, acompañada de la capacidad de acceso y aprovechamiento, de resolver las compensaciones entre los distintos sectores, y de manejar los riesgos asociados al agua, incluyendo crecidas, sequías y contaminación (citado en Peña, 2016)”

Ahora bien, la definición de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos, tiene un enfoque orientado al riesgo; indicando que a partir del cuidado de los cuatro tipos de riesgo que identifican se puede alcanzar una Seguridad Hídrica; sin embargo, este enfoque puede entenderse como una situación que si bien evade al riesgo, se limita justamente a eso; es decir, ¿Qué sucede cuando los umbrales de riesgo son superados?, el objetivo ha sido logrado; sin embargo, en este trabajo se considera que la seguridad hídrica va más allá de solo superar los niveles aceptables de riesgo, además este enfoque solo considera a los sistemas de agua, quitando protagonismo al ecosistema, siendo que el agua se relaciona con todo el sistema biótico y abiótico.

La definición de la OCDE (2013), es la siguiente:

³³ Esta es la definición que considera la Asociación Mundial del Agua (GWP por sus siglas en ingles)

“La seguridad hídrica consiste en mantener en niveles aceptables cuatro riesgos asociados al agua: 1) El riesgo de escasez, como falta de agua suficiente (en el corto y largo plazo) para los usos beneficiosos de todos los usuarios; 2) El riesgo de inadecuada calidad para un propósito o uso determinado; 3) El riesgo de los excesos (incluidas las crecidas), entendidas como el rebase de los límites normales de un sistema hidráulico (natural o construido) o la acumulación destructiva de agua en áreas que no están normalmente sumergidas y 4) El riesgo de deteriorar la resiliencia de los sistemas de agua dulce, por exceder la capacidad de asimilación de las fuentes de agua superficiales o subterráneas y sus interacciones, con la eventual superación de los umbrales aceptables, causando daños irreversibles en las funciones hidráulicas y biológicas del sistema”

En adición, es importante que los usuarios y la población en general puedan conocer y estar informados de los riesgos de los cuales son propensos a sufrir en caso de que se excedan determinados límites, como también lo que pasaría si son omisos a las medidas preventivas en su debido momento; esto puede resumirse en que se requiere de una gestión eficiente, oportuna pero también informada.

Por su parte, Peña (2013) considera las anteriores definiciones y propone que para Latinoamérica y el Caribe, Seguridad Hídrica es tener:

“1) Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción; 2) La capacidad (institucional, financiera y de infraestructura) para acceder y aprovechar dicha agua de forma sustentable y manejar las interrelaciones entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente y 3) Un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos”

Peña además de considerar los aspectos de cantidad, calidad y riesgo; agrega otro componente: *la capacidad institucional*, aspecto que varios autores dejaron de lado, siendo que el mismo juega un papel importante y más aún en el contexto Latinoamericano.

Ahora bien, dado lo antes mencionado, se puede concluir que la seguridad hídrica es transversal a todas las dimensiones del desarrollo económico. De acuerdo a esto, el reto de

contar con una mayor seguridad hídrica conlleva a dar respuesta a los riesgos de la actualidad y también en dar respuestas idóneas a potenciales desafíos que se puedan presentar en cada sector (IMTA, 2017); ningún país puede cumplir sus objetivos de desarrollo si no mejora la manera en que sus recursos hídricos son gestionados (GWP, 2012, citado en IMTA 2017).

Bien lo dice Peña (2016 citado en IMTA, 2017, p. 17) “Al tener la seguridad hídrica una compleja y estrecha relación con las políticas económicas y otras políticas sectoriales, los niveles de riesgo deberían corresponder a un balance entre diversos objetivos de política, con el propósito de que una mayor seguridad en una de ellas no implique una reducción inaceptable en otras”; esto resalta la importancia de un manejo adecuado del agua, pero para la toma de decisiones es sustancial conocer a que se enfrenta uno.

Por lo tanto, dado el enfoque de seguridad hídrica de Peña, más acorde al contexto Latinoamericano en su definición, la misma será la guía para el presente trabajo de investigación.

4.2. Índices de Seguridad Hídrica

Uno de los grandes vacíos en las definiciones de Seguridad Hídrica radica en la ambigüedad de las palabras: adecuada, mínima, entre otras; es por ello, que se necesita establecer una línea base para evaluarla y determinar que es adecuado para un región en particular, ya que, como es de esperarse, lo que es adecuado para uno no necesariamente lo será para otro; partiendo de esto y siendo la inquietud también de varios autores, es que se han desarrollado índices de seguridad hídrica, existen diversas metodologías y su aplicabilidad variará según el contexto, a continuación se presentarán las metodologías más sobresalientes y a partir de esta revisión bibliográfica, se definirá, la metodología que se utilizará para el presente trabajo de investigación el cual deberá ser acorde al contexto boliviano.

4.2.1. Metodología utilizada en el Asia Pacífico

La región del Asia Pacifico fueron los pioneros en esta materia, durante el Foro del Agua Asia-Pacifico y el Banco Asiático de Desarrollo propusieron medir en forma integral la seguridad hídrica, sobre la base de cinco dimensiones: 1) La satisfacción de las necesidades de abastecimiento de agua potable y saneamiento a nivel domiciliario; 2) Abastecimiento de agua

para el desarrollo de la agricultura, minería, industria y energía; 3) Suministro de agua a los centros urbanos, el tratamiento de las aguas cloacales y el drenaje de las aguas de lluvia; 4) La capacidad de restauración de los cuerpos de agua y ecosistemas para mantener los servicios ambientales y 5) La resiliencia frente a los desastres relacionados con el agua, definida a partir del nivel de riesgo, peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y de las capacidades existentes para hacer frente y recuperarse de los impactos (IMTA, 2017).

Cada dimensión fue cuantificada mediante otros indicadores, los cuales en su conjunto generan un valor de la seguridad hídrica de cada país, incluso en algunos casos es necesario considerar varios subindicadores, dada la complejidad y amplitud de las materias relacionadas con la gestión del agua. En esta tarea se utilizaron diversos indicadores; como, por ejemplo; parámetros clásicos de la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento (% de la población con servicio potable, etc.).

4.2.2. Metodología Mason y Calow

Los autores diseñaron un análisis ordenado de los temas relacionados con la seguridad hídrica; para ello, agruparon las distintas dimensiones del tema en torno a cinco ejes:

1) La capacidad efectiva de acceder a recursos hídricos; 2) La gestión de la variabilidad y el riesgo; 3) La satisfacción de las necesidades humanas (incluidas las relativas a la producción); 4) La atención de los requerimientos ambientales y 5) La gestión de la competencia y de los conflictos en relación con el aprovechamiento de los recursos hídricos. En relación a estas ideas sugirieron indicadores como; por ejemplo, la disponibilidad media de agua a nivel nacional (Mason & Calow, 2012).

4.2.3. Metodología Animesh Gain

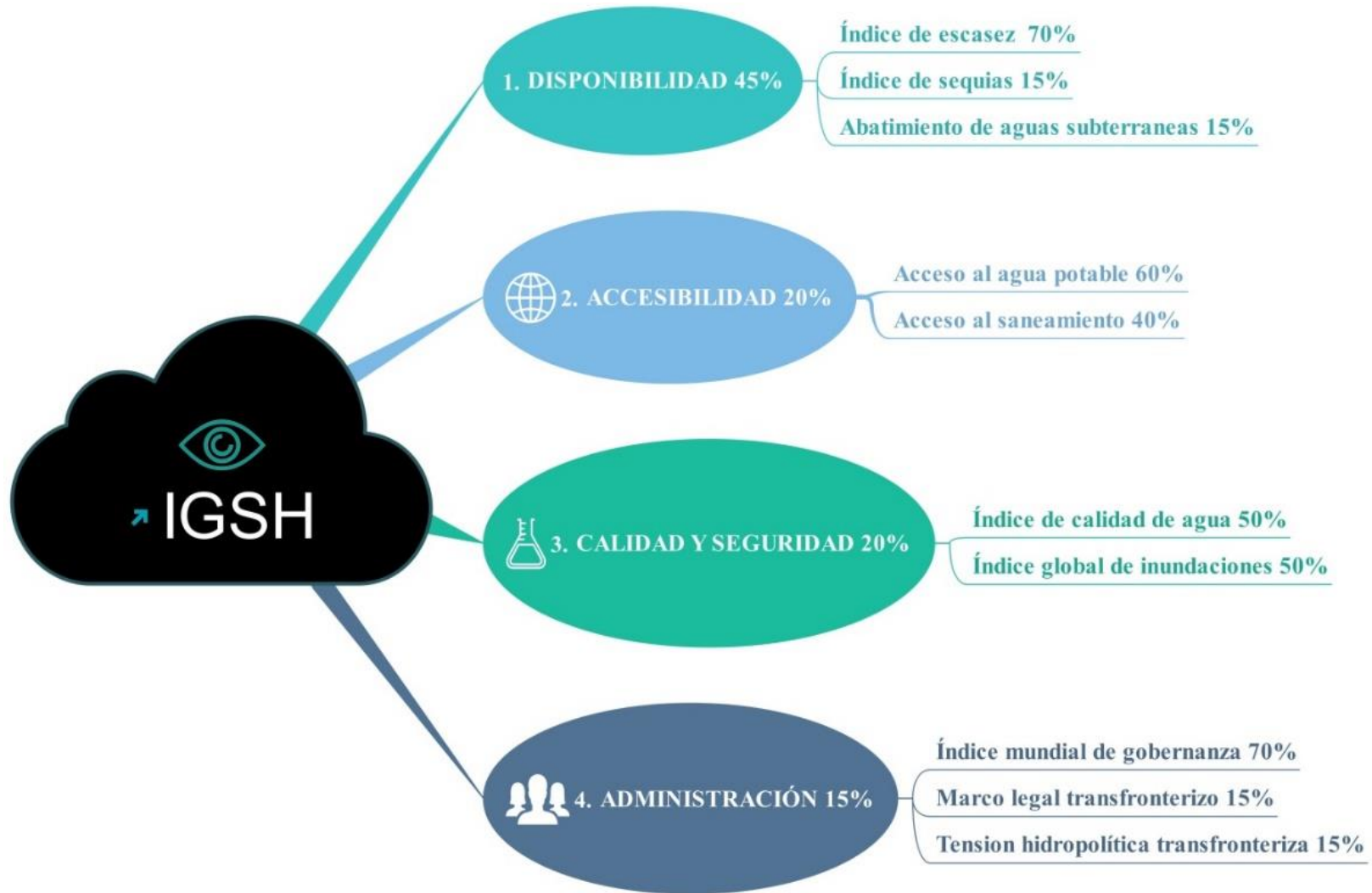
Animesh en conjunto que otros investigadores diseñaron una metodología para determinar el Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH), considerando el principio del objetivo 6 para el Desarrollo Sostenible “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Este índice está conformado cuatro indicadores: disponibilidad de agua, accesibilidad al agua, calidad y seguridad, y gestión social; los cuales a su vez se subdividen en criterios, la Tabla 4.1 resume los mismos.

Tabla 4. 1 Indicadores de Seguridad Hídrica según Gain et al.

Indicadores	Criterios	Definición, noción y fuentes de datos
Disponibilidad de agua	Índice de escasez de agua (WSI)	WSI es definido como la relación entre el agua total retirada y la disponibilidad. Fuente: Wada, Y.; Wisser, D.; Berkens, F.P., 2014
	Índice de sequía (DI)	El DI fue calculado usando el modelo hidrológico PCR-GLOBWB. Fuente: Wada, Y. et al, 2013
	Agotamiento de acuíferos	Fue calculado usando el modelo hidrológico PCR-GLOBWB. Fuente: Wada, 2012
Accesibilidad al agua	Acceso al saneamiento	Porcentaje de la población con acceso al saneamiento. Fuente: Hsu, A. et al, 2014
	Acceso a agua potable	Porcentaje de la población con acceso a agua potable. Fuente: Hsu, A. et al, 2014
Calidad y seguridad	Índice de calidad de agua	Fuente: Srebotnjak, T. et al, 2012
	Índice de inundación	Fuente: Center for H et al, 2005
Gestión social	Índice de gobernanza mundial	Fuente: Kaugamann et al, 2010
	Marco jurídico transfronterizo	Fuente: http://twap-rivers.org/indicators/
	Tensión política transfronteriza	Fuente: http://twap-rivers.org/indicators/

Fuente: Gain et al. (2016)

Figura 4. 1 Alcances y ponderaciones del IGSH según Gain et al.



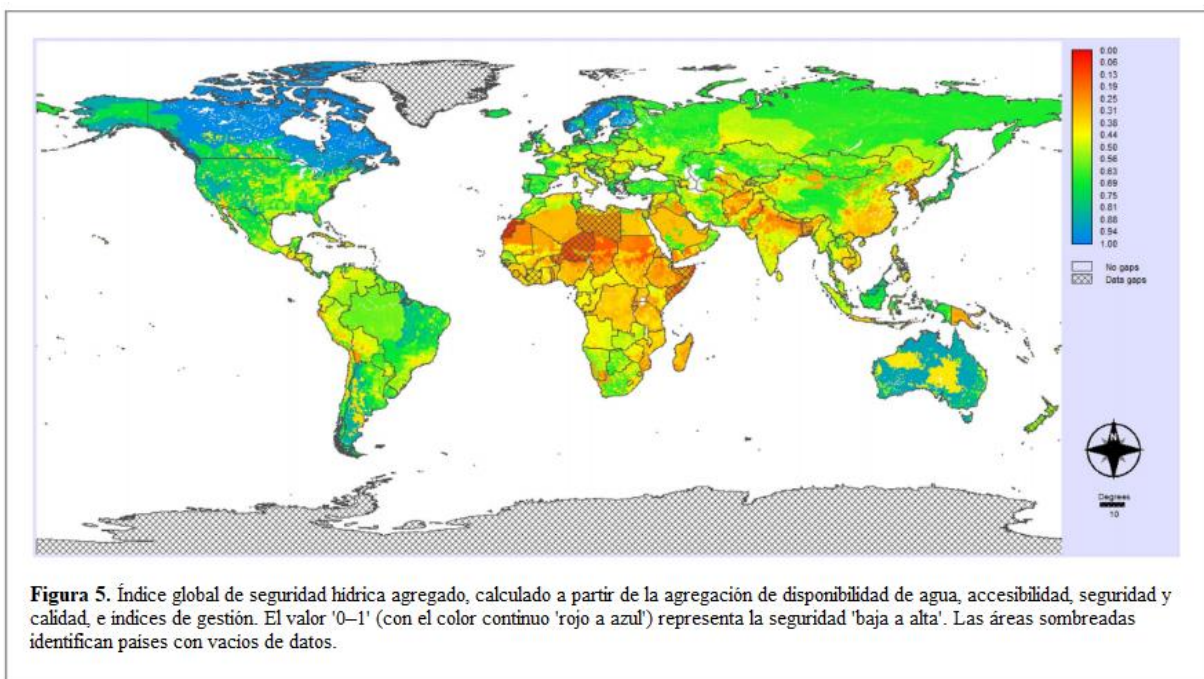
Fuente: Elaboración propia basado en Gain et al. (2016)

Esta metodología fue aplicada a nivel mundial, y se encuentra respaldada por las fuentes de información y métodos de normalización, pesado y agregación utilizadas. La misma no es rígida por lo que se puede considerar algún indicador adicional, o eliminar alguno de los ya existentes; en el caso de la seguridad hídrica es útil seguir un estándar, para fines de benchmarking y de colaboración internacional (IMTA, 2017).

4.2.3.1. Algunas aplicaciones vinculadas a la metodología

El año 2016 Animesh Gain y sus colaboradores (Carlo Giupponi & Yoshihide Wada), presentaron el trabajo *Measuring Global Water Security Towards Sustainable Development Goals*, el cual proporciona una evaluación mundial de la seguridad hídrica; en donde el termino de seguridad se conceptualiza como una función de disponibilidad de agua, accesibilidad al agua, calidad y seguridad, y gestión social (Gain, et al., 2016).

Figura 4. 2 Índice Global de Seguridad Hídrica



Fuente: Gain et al. (2016, p. 8)

De los resultados obtenidos (presentado en la Figura 4.2) se puede observar que para el caso boliviano en particular, la seguridad hídrica varía entre un nivel medio yendo a bajo (en función de la región analizada); de hecho los niveles más bajos se encuentran en el sud oeste de Bolivia, justamente donde se encuentra el Salar de Uyuni.

Por otro lado, el año 2017 la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) en conjunto con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) presentaron el Informe Final de Índices de Seguridad Hídrica, cuyo trabajo presenta un análisis y definición de índices específicos de seguridad hídrica a nivel estatal y municipal.

A nivel estatal se aplicó la metodología del Índice Global de Seguridad Hídrica, con datos de la gestión 2015 provenientes principalmente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así también con datos internacional en el componente de administración (IMTA, 2017).

4.2.4. Definición del índice de seguridad hídrica para el Municipio de Colcha K

La última metodología mencionada con anterioridad al haber sido aplicado a nivel mundial, posee un análisis más amplio y completo en comparación de otras metodologías, ya que las mismas han sido aplicadas en determinadas zonas y bajo contextos específicos; sin embargo, esto no quita que la metodología de Gain requiera ser contextualizada a la realidad boliviana; sin quitar la esencia de la metodología *per se*.

En tal sentido y tomando en cuenta la revisión bibliográfica; la disponibilidad de agua, la accesibilidad al agua, la calidad y seguridad del servicio, y de la gestión social, se analizó y decidió trabajar con los siguientes parámetros para este Municipio:

Tabla 4. 2 Parámetros para determinar la seguridad hídrica del Municipio de Colcha K

Disponibilidad de agua	- Índice de escasez; - Índice de vulnerabilidad a la sequía - Abatimiento de aguas subterráneas
Accesibilidad al agua	- Acceso a agua potable - Acceso al saneamiento
Calidad y seguridad	- Índice de calidad de agua - Índice de inundaciones

Gestión	- Índice de gobernanza
	- Marco legal

Fuente: Elaboración propia

4.3. Conclusiones del capítulo

Aunque el término de seguridad hídrica ha incursionado desde principios del nuevo milenio, a la fecha no se cuenta con un consenso en cuanto al concepto como tal se refiere; existen variaciones según el autor que se consulte; por lo que, después de hacer una revisión de varias fuentes se concluyó que el concepto que proporciona Humberto Peña es el más idóneo y mejor se acomoda al contexto boliviano.

Ahora bien, la relación existente entre el concepto de seguridad hídrica elegida y la metodología seleccionada para la determinación del índice de seguridad hídrica se la puede explicar de la siguiente manera:

- En el concepto de seguridad hídrica que habla de una “disponibilidad de agua en términos de cantidad y calidad, con un nivel de riesgo aceptable”, se relaciona con los indicadores de disponibilidad de agua, acceso al agua, y seguridad y calidad propuesto por Gain y sus colaboradores
- El aspecto vinculado a la capacidad institucional al cual hace referencia Peña, se relaciona con el índice de gestión, el cual considera según los autores de la metodología cuestiones de gestión social, como los enfoques de planificación y gestión del agua.

Este último aspecto ha sido (según la información recopilada en el segundo capítulo) volátil en cuanto a la problemática del agua se refiere, esto debe ser considerado y evaluado con meticulosidad por Bolivia para evitar o por lo menos minimizar situaciones que ya se han dado en Argentina y Chile; más aún cuando la industrialización de Li en Bolivia tiene la característica de ser un proyecto Estatal.

Capítulo V – Análisis de la información y resultados

5.1. De las entrevistas

De las entrevistas realizadas se destacan algunas ideas fuerzas como:

El tema político juega un papel importante.- desde la concepción del proyecto hasta estos días el contexto político ha ido cambiando, en un inicio el proyecto llevaba la bandera de ser 100% estatal (acorde al discurso del entonces gobierno del Sr. Morales), sin embargo, con el paso de los años el proyecto ha sufrido varios retrasos e inconvenientes lo que ha conllevado a que el propio gobierno decida permitir la participación de socios; ahora, con el cambio de gobierno el proyecto puede tomar nuevos rumbos. Lo cierto es que, hoy en día se viven tiempos difíciles en el ámbito político en Bolivia.

Alcanzar la industrialización³⁴ demorara más de lo esperado.- se considera que debe existir una reingeniería del proyecto, dado que hasta la fecha varias acciones han sido improvisadas, tanto en el ámbito técnico, económico como social. Así también, las acciones políticas que se tomen (en un contexto complejo) contribuirían o limitaría los avances de este proyecto,

La participación de los lugareños es vital para una buena gestión del agua.- con el tiempo se ha dejado de lado la participación de la sociedad, cayendo en el cliché de que el gobierno es quien tiene la razón; sin embargo, esos errores no pueden repetirse, más aun en una región que tiene el recurso hídrico limitado. Al ser el Estado juez y parte en el control del agua, es preciso que los comunarios puedan fortalecer la autogestión de este recurso, siendo ellos el ente regulador que vela por sus recursos.

La empresa YLB, debe adoptar medidas para tener un alto grado de eficiencia en la utilización del agua.- los procesos para la obtención de Li tienen rendimientos bajos, por lo que el agua no es utilizada de manera eficiente, estas medidas también deben considerar a los campamentos que conforman los trabajadores.

³⁴ Entendiendo por industrialización a aquella etapa en la que se cuente con un producto con valor agregado cuya escala de producción sea competitiva en el mercado

Al ser un proyecto estatal, el Estado es juez y parte, para el control de los impactos ambientales; por lo que, el control es endeble.- la participación de un representante del Ministerio de Medio Ambiente y Agua en el Directorio de la YLB, da la impresión de que existe cierta parcialidad para con el proyecto, por lo que, se debe evaluar la participación del mismo.

Los lugareños no cuentan con la debida información en lo que al proyecto respecta, los procesos de consulta tienen limitaciones.- al principio del proyecto si se realizaban procesos de consulta e información, sin embargo, con el paso de los años esas acciones se las ha dejado de lado, y eso ha conllevado a problemas entre los lugareños y la empresa, siendo el más reciente el que se llevó a cabo el año 2019, cuando el gobierno decreto la creación de una empresa mixta; la molestia de la población (además de no estar de acuerdo con los términos en los que se crearía esta empresa) radico en que, nadie consulto al pueblo potosino al respecto.

La información es asimétrica en cuanto a los recursos hídricos se refiere, en particular cuando de aguas subterráneas se habla.- un problema del que muchos países padecen es el acceso a la información y Bolivia no es la excepción, la limitada información que se genera es casi secreto de estado y no cualquier persona puede acceder al mismo.

La industrialización del Li si puede contribuir con un desarrollo económico (dada la creciente demanda y los elevados precios del Li).- sin embargo, el camino es sinuoso y largo, el cual debe considerar la participación de la sociedad y el cuidado del medio ambiente.

Analizando estas ideas, se observa que la mayoría de ellas, están vinculadas a un tema de gestión social.

5.2. Estimación del Índice de Seguridad Hídrica

Este apartado se desarrolla en tres partes: la primera destinada al cálculo de pesos de los indicadores que conforman el índice; una segunda parte estima el ISH base³⁵ para el Municipio de Colcha K (considerando para ello datos cercanos al año 2015) y finalmente se realiza la estimación del ISH para el año 2030.

5.2.1. Determinación de los pesos de cada indicador

Para la asignación de los nuevos pesos para los indicadores se hizo uso de uno de los métodos del análisis multicriterio; el método AHP (Analytic Hierarchy Process) sin embargo, como el trabajo no consiste en la elección de la mejor alternativa como tal, sino más bien de ponderar variables (indicadores); de todo el proceso analítico jerárquico, se aplicó específicamente la etapa en la cual los expertos dan su opinión sobre la importancia de cada variable por sobre otra (para mayor detalle en la metodología favor remitirse al Anexo 2). Para ello, se trabajó con las opiniones de cinco expertos bolivianos en temas de agua y que también conocen la problemática del lito en Bolivia; llegando a obtener los siguientes resultados:

					Matriz normalizada				Pesos
	DA	AA	SC	G	DA	AA	SC	G	
Disponibilidad de agua -DA	1	2	4	2	0,33	0,42	0,39	0,39	0,38
Accesibilidad al agua - AA	1	1	4	1	0,40	0,20	0,33	0,24	0,29
Seguridad y Calidad – SC	0	0	1	1	0,08	0,10	0,09	0,20	0,12
Gestión – G	1	1	2	1	0,18	0,29	0,19	0,17	0,21
SUMA	3	5	11	6					

³⁵ Para estimar como el Índice de Seguridad Hídrica se verá afectada al año 2030, se requiere de una línea de partida y dado que el año 2015 se comenzó con la producción a escala piloto en la YLB, se considera un punto de partida adecuado para realizar este análisis.

	Pesos según Gain et al	Nuevos pesos
Disponibilidad de agua	45%	38%
Accesibilidad al agua	20%	29%
Seguridad y Calidad	20%	12%
Gestión	15%	21%

De esto se puede entender que, para el contexto boliviano en particular, lo primordial para alcanzar una seguridad hídrica es la disponibilidad del recurso; es decir, si no se posee el recurso en sí, no se puede dotar de agua a las personas; por lo tanto, no existiría una accesibilidad, seguridad y calidad que gestionar.

Si se cuenta con el recurso físicamente disponible, el llevar el mismo a las personas que por derecho les corresponde a una calidad aceptable minimizando los riesgos, dependerá de una buena gestión. Ahora bien, aunque cada indicador posee un determinado peso, lo cierto es que todos están estrechamente relacionados.

5.2.2. Estimación del ISH base

Dada la complejidad que representa la determinación de cada indicador (que en muchos casos puede conllevar a un trabajo de investigación independiente) se optó por acudir principalmente a información secundaria y a fuentes primarias en aquellos casos donde la información se encontraba disponible para el público en general. Al tratarse del ISH base, se consideró información del año 2015 o cercana a este.

Los valores estimados del índice de seguridad hídrica oscilarán entre 0 – 1, representando una seguridad de baja – alta; es decir, aquellos valores que se acerquen a 1 indicaran que existe una alta seguridad hídrica en la región en cuestión; por el contrario si el valor estimado tiende a 0 esto indicaría que existe una baja seguridad hídrica.

Esta consideración también aplica para la interpretación de los indicadores y criterios, salvo los criterios que conforman el indicador de Disponibilidad de Agua, debido a que se trata de criterios que representan aspectos negativos; por ejemplo cuanto se habla del criterio “Índice de escasez de agua”, cuanto más alto es el valor (el cual oscila entre 0 – 1) indica que existe mayores niveles de escasez de agua; por lo que, no podría decirse que eso contribuiría positivamente a la seguridad hídrica (no aplicaría pues aquella consideración de que los

valores que se acerquen a 1 señalan que existe una alta seguridad hídrica); lo mismo sucede con los criterios: Índice de sequía y Agotamiento de las aguas subterráneas. Por lo tanto, solo para los criterios del indicador de Disponibilidad de Agua se realizó una conversión de los valores obtenidos de las fuentes, para proceder a la suma producto con los pesos y obtener el valor de Disponibilidad de Agua.

5.2.2.1. Fórmulas utilizadas

Para la estimación de los índices de seguridad hídrica, se realizó cálculos en dos etapas:

- La primera destinada a calcular los valores de los indicadores, para ello se hace uso de los valores obtenidos de cada criterio y los pesos de los mismos, esto mediante una suma producto representada por la siguiente formula:

$$I1 = C1 * x1 + C2 * x2 + \dots + Cn * xn$$

Dónde:

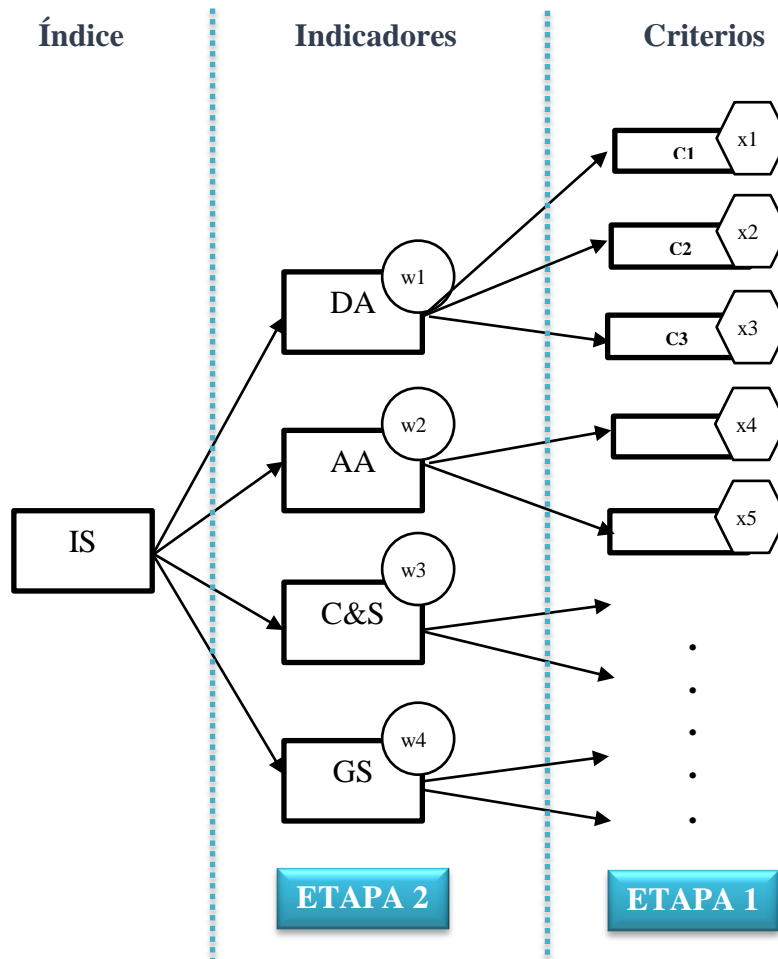
I1: Indicador 1

C1: Criterio 1

x1: Peso del criterio 1

Dicha fórmula se aplica para los cuatro indicadores considerando los criterios que los conforman y el peso asignado para el mismo

Figura 5. 1 Etapas en el cálculo del índice de seguridad hídrica



Fuente: Elaboración propia

- Una segunda etapa comprende el cálculo del índice de seguridad hídrica, para ello se realizó una sumatoria de los resultados del producto de cada indicador por su peso, haciendo uso de la siguiente formula:

$$ISH = DA * w1 + AA * w2 + C\&S * w3 + GS * w4$$

Dónde:

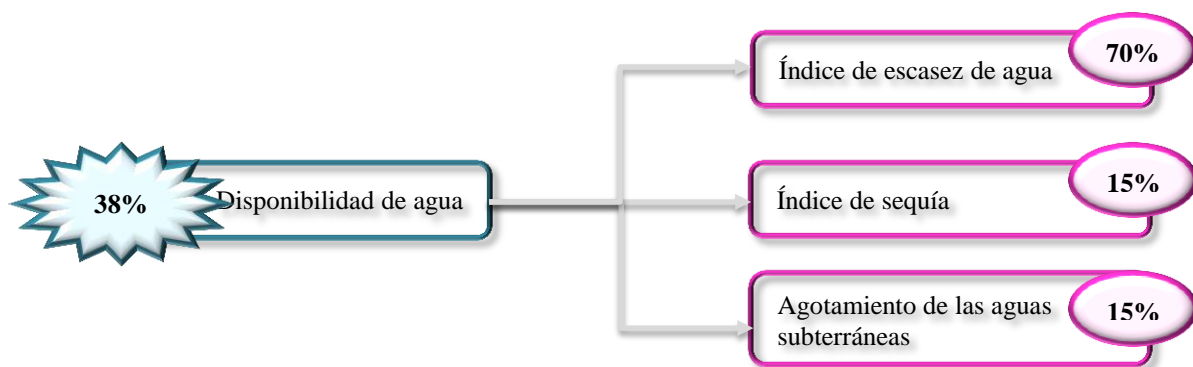
IS: Índice de seguridad hídrica

DA, AA, C&S, GS: Indicadores.- Disponibilidad de Agua, Acceso al Agua, Calidad y Seguridad y Gestión Social respectivamente
w(1-4): Peso de cada indicador

5.2.2.2. Disponibilidad de agua

Para que este término sea operativo, en primer lugar, se consideró el índice de escasez de agua (entendida como la relación entre la extracción total de agua y la disponibilidad de agua); el índice de sequía y el agotamiento de las aguas subterráneas definido como la extracción persistente de las aguas subterráneas del acuífero debido a la extracción (Gain et al., 2016).

Figura 5. 2 Disponibilidad de agua



Fuente: Elaboración propia con base a Gain et al. (2016) y entrevistas realizadas

De la Figura 5.2, se observan los pesos de los criterios que conforman el indicador; estos pesos contribuirán a la obtención del valor del indicador disponibilidad de agua; en la siguiente tabla se tiene los valores obtenidos para el indicador y sus fuentes de información.

Es importante destacar que el cálculo del valor del indicador es el resultado de una suma producto entre los valores obtenidos de cada criterio y sus pesos respectivos.

Tabla 5. 1 Indicador Disponibilidad de agua

Índice	Criterio	Valor 0	Valor 1	Fuente de información
Disponibilidad de agua (0,53)	Índice de escasez de agua	0,47	0,53	Copana, C. (2018). Efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los recursos hídricos: Pronóstico para el 2030. Universidad Católica Boliviana San Pablo, Bolivia. Trabajo de investigación realizado en el marco del convenio institucional entre el Instituto de Investigaciones Socio Económicas de la Universidad Católica Boliviana San Pablo y Hanns Seidel Stiftung Los valores de IEA más altos disminuyen la seguridad hídrica *Este trabajo fue seleccionado por sobre otros puesto que es reciente y considera el periodo de estudio para el índice de seguridad
	Índice de sequía	0,9	0,1	Para este criterio se trabajó con el Índice de precipitación estandarizado, lamentablemente en Bolivia no se cuenta con esta información, sin embargo, en Chile si, por lo que se optó por considerar el valor de una zona muy cercana a la del Municipio de Colcha K, esa información se encuentra disponible en: https://www.climatedatalibrary.cl/maproom/Monitoring/Meteorological/SPI.html Los valores de IS más altos disminuyen la seguridad hídrica *Es la fuente de información más cercana a la realidad boliviana
	Agotamiento de las aguas subterráneas	0,04	0,96	Molina, J. (2007). Agua y recuso hídrico en el sudoeste de Potosí. FOBOMADE. Bolivia Trabajo publicado por el Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo en coordinación con el Centro de Estudios superiores Universitarios de la Universidad Mayor de San Simón Los valores de IS más altos disminuyen la seguridad hídrica *Los estudios realizados en este ámbito en la región en cuestión son limitados, por lo que este estudio es el más cercano al periodo a evaluar

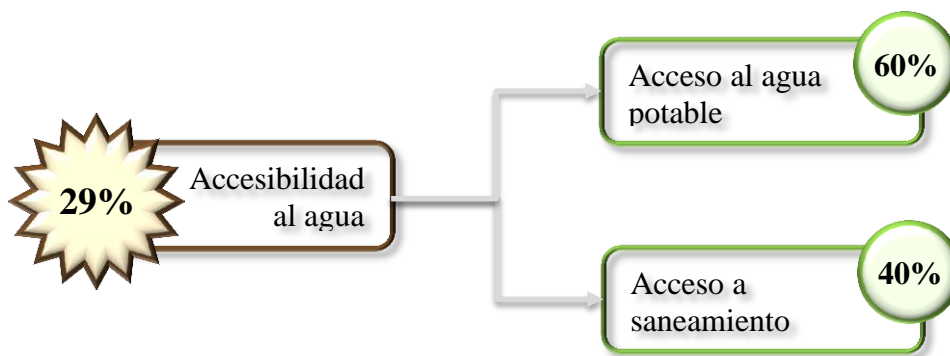
Fuente: Elaboración propia

Considerando que los valores más altos de los criterios conducen a una disminución de la seguridad hídrica, antes de proceder con la suma producto de los pesos por los valores, estos últimos deben ser reevaluados de la siguiente manera: aquellos valores cercanos a 1 tendrán un nuevo valor cercano a 0 (columna valor 1) y aquellos valores cercanos a 0 tendrán un nuevo valor cercano a 1; de esta forma se compensa la aclaración de que a valores más altos menor seguridad hídrica. Por lo tanto, la suma producto para la determinación del índice de disponibilidad se realizó entre los pesos de cada criterio y la columna Valor1.

5.2.2.3. Accesibilidad al agua

Este indicador está conformado por dos criterios: acceso al agua potable y acceso al saneamiento (los cuales son medidos como el porcentaje de la población con acceso a estos servicios básicos) los cuales se adoptan para representar la accesibilidad del agua para las personas, principalmente debido a las distintas condiciones socioeconómicas (Gain et al., 2016).

Figura 5. 3 Acceso al agua



Fuente: Elaboración propia con base a Gain et al. (2016) y entrevistas realizadas

De la Figura 5.3, se observan los pesos de los criterios que conforman el indicador; estos pesos contribuirán a la obtención del valor del indicador accesibilidad al agua; en la siguiente tabla se tiene los valores obtenidos para el indicador y sus fuentes de información.

Es importante destacar que el cálculo del valor del indicador es el resultado de una suma producto entre los valores obtenidos de cada criterio y sus pesos respectivos.

Tabla 5. 2 Indicador Accesibilidad al agua

Índice	Criterio	Valor	Fuente de información
Accesibilidad al agua (0,47)	Acceso al agua potable	0,67	Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 y Encuesta de Hogares 2015 del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, disponible en
	Acceso a saneamiento	0,40	

		www.ine.gob.bo
		*Fuente de información oficial
Acceso a saneamiento	0,17	Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 y Encuesta de Hogares 2015 del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, disponible en www.ine.gob.bo
		*Fuente de información oficial

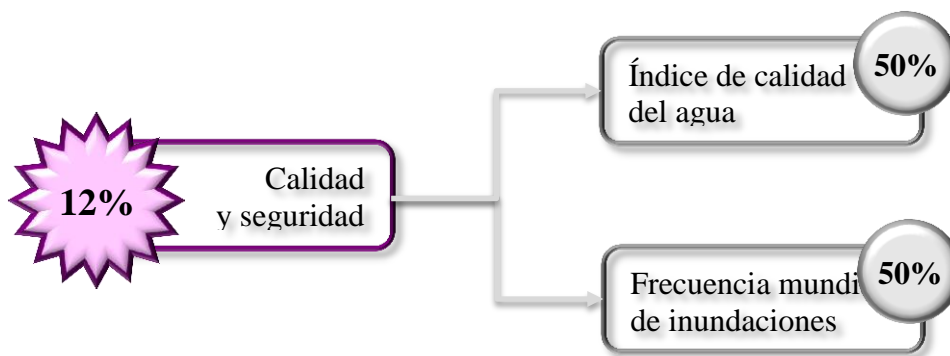
Fuente: Elaboración propia

El 67% de los hogares del Municipio de Colcha K tienen acceso al agua potable y solo el 17% de los hogares tiene acceso a saneamiento.

5.2.2.4. Calidad y Seguridad

Para representar la calidad y seguridad del agua, los autores han considerado tanto el índice de calidad de agua, como el índice de frecuencia de inundaciones (Gain et al., 2016).

Figura 5. 4 Calidad y seguridad



Fuente: Elaboración propia con base a Gain et al. (2016) y entrevistas realizadas

De la Figura 5.4, se observan los pesos de los criterios que conforman el indicador; estos pesos contribuirán a la obtención del valor del indicador accesibilidad al agua; en la siguiente tabla se tiene los valores obtenidos para el indicador y sus fuentes de información.

Es importante destacar que el cálculo del valor del indicador es el resultado de una suma producto entre los valores obtenidos de cada criterio y sus pesos respectivos.

Tabla 5. 3 Indicador Calidad y seguridad

Índice	Criterio	Valor	Fuente de información
Calidad y seguridad (0,7291)	Índice de calidad del agua	0,9583	Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (2017). Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas 2016. Bolivia Se trabajó con datos de la gestión 2016 puesto que no se tenía información de la gestión 2015 *Fuente de información oficial
	Frecuencia de inundaciones	0,5	Ministerio de Defensa de Bolivia (2016). Plan de contingencia de inundaciones. Se consideró la información vinculada con los Municipio con recurrencia en inundaciones, el cual los clasifica en: muy alto, alto, medio y bajo

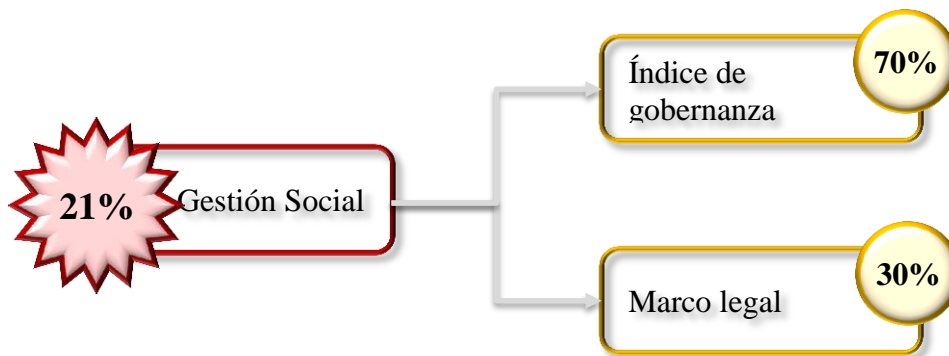
Fuente: Elaboración propia

En el valor del índice de calidad de agua proporcionado por la autoridad competente, debe aclararse que el 95,83% de las muestras cumplen con los parámetros de calidad, con una cobertura de 78%; por lo tanto, si se considera que la cobertura en la toma de muestras alcanzaría al 100% puede que el valor del índice de calidad de agua disminuya.

5.2.2.5. Gestión Social

Además de los factores antes mencionados, también existen cuestiones de gestión social e institucional, como los enfoques de planificación y gestión del agua, la capacidad institucional, las políticas económicas, las relaciones de poder y los sistemas de gobernabilidad que desempeña un papel importante en la provisión de seguridad del agua (Gain et al., 2016).

Figura 5. 5 Gestión Social



Fuente: Elaboración propia con base a Gain et al. (2016) y entrevistas realizadas

De la Figura 5.5, se observan los pesos de los criterios que conforman el indicador; estos pesos contribuirán a la obtención del valor del indicador disponibilidad de agua; en la siguiente tabla se tiene los valores obtenidos para el indicador y sus fuentes de información.

Es importante destacar que el cálculo del valor del indicador es el resultado de una suma producto entre los valores obtenidos de cada criterio y sus pesos respectivos.

Tabla 5. 4 Gestión

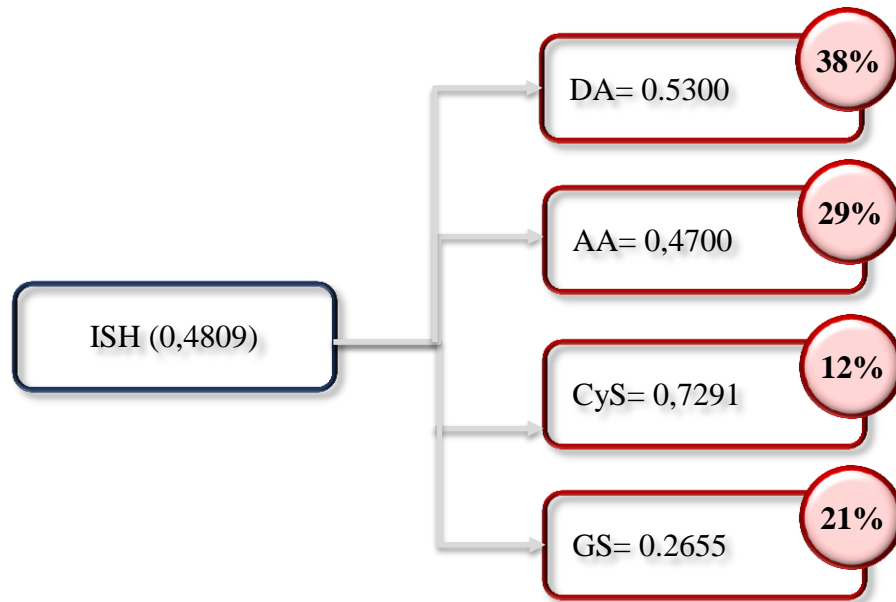
Índice	Criterio	Valor	Fuente de información
Gestión (0,2655)	Índice de gobernanza	0,299	Alemán, R. (2018). Representación gráfica de indicadores de gobernanza en Bolivia. Investigación y Desarrollo Vol. 2, N°3, Bolivia. Considera: Voz y rendición de cuentas; estabilidad política y ausencia de violencia y crímenes y terrorismo; efectividad del gobierno; estado de derecho y control de la corrupción
	Marco legal	0,1875	Alemán, R. (2018). Representación gráfica de indicadores de gobernanza en Bolivia. Investigación y Desarrollo Vol. 2, N°3, Bolivia. Considera la calidad regulatoria

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.6. Índice de Seguridad Hídrica base al 2015

Estimados cada uno de los indicadores, se procede al cálculo final del ISH base con una suma producto de los valores hallados para cada indicador y su respectivo peso; tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 5. 6 Índice de Seguridad Hídrica Base



Fuente: Elaboración propia con base a Gain et al. (2016) y entrevistas realizadas

Por lo tanto, el ISH para el año 2015 es de 0,4809; según la metodología se encuentra por debajo de la media, lo que indica que ya en el 2015 se tenía una baja seguridad hídrica

5.2.3. Estimación del ISH para el año 2030

Una vez determinado el ISH base, se procede a la estimación del ISH para el año 2030, para ello se siguen los mismos pasos realizados en el punto 5.2.2; considerando en algunos casos las mismas fuentes y en otras estimaciones a partir de la fuentes iniciales.

5.2.3.1. Disponibilidad de agua

Tabla 5. 5 Indicador Disponibilidad de agua 2030

Índice	Criterio	Valor 0	Valor 1	Fuente de información /consideraciones
Disponibilidad de agua (0,27)	Índice de escasez de agua	0,707	0,30	Copana, C. (2018). Efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los recursos hídricos: Pronóstico para el 2030. Universidad Católica Boliviana San Pablo, Bolivia. Trabajo de investigación realizado en el marco del convenio institucional entre el Instituto de Investigaciones Socio Económicas de la Universidad Católica Boliviana San Pablo y Hanns Seidel Stiftung Los valores de IEA más altos disminuyen la seguridad hídrica
	Índice de sequía	0,9	0,1	Para este criterio se trabajó con el Índice de precipitación estandarizado, lamentablemente en Bolivia no se cuenta con esta información, sin embargo, en Chile si, por lo que se optó por considerar el valor de una zona muy cercana a la del Municipio de Colcha K, esa información se encuentra disponible en: https://www.climatedatalibrary.cl/maproom/Monitoring/Meteorological/SPI.html Los valores de IS más altos disminuyen la seguridad hídrica
	Agotamiento de las aguas subterráneas	0,70	0,30	Molina, J. (2007). Agua y recuso hídrico en el sudoeste de Potosí. FOBOMADE. Bolivia Trabajo publicado por el Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo en coordinación con el Centro de Estudios superiores Universitarios de la Universidad Mayor de San Simón Los valores de IS más altos disminuyen la seguridad hídrica Al consumo de agua de las actividades ya existentes se agrega el volumen de consumo estimado por la YLB asumiendo una producción a escala industrial.

Fuente: Elaboración propia

Considerando que los valores más altos de los criterios conducen a una disminución de la seguridad hídrica, antes de proceder con la suma producto de los pesos por los valores, estos últimos deben reevaluar de la siguiente manera: aquellos valores cercanos a 1 tendrán un nuevo valor cercano a 0 (columna valor 1) y aquellos valores cercanos a 0 tendrán un nuevo valor cercano a 1; de esta forma se compensa la aclaración de que a valores más altos menor seguridad hídrica. Por lo tanto, la suma producto para la determinación del índice de disponibilidad se realizó entre los pesos de cada criterio y la columna Valor1.

5.2.3.2. Accesibilidad al agua

Tabla 5. 6 Indicador Accesibilidad al agua 2030

Índice	Criterio	Valor	Fuente de información /Consideraciones
Accesibilidad al agua (0,585)	Acceso al agua potable	0,712	Se asume que el incremento en el acceso al agua potable para el 2030 será el mismo que del año 2001 al 2012. Para ello se trabajó con los Censos Nacional de Población y Vivienda 2001 y 2012 y del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, disponible en www.ine.gob.bo
	Acceso a saneamiento	0,393	Se asume que el incremento en el acceso al agua potable para el 2030 será el mismo que del año 2001 al 2012. Para ello se trabajó con los Censos Nacional de Población y Vivienda 2001 y 2012 y del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia, disponible en www.ine.gob.bo

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.3. Calidad y Seguridad

Tabla 5. 7 Indicador Calidad y seguridad

Índice	Criterio	Valor	Fuente de información
Calidad y seguridad (0,745)	Índice de calidad del agua	0,99	Durante la gestión 2018 se alcanzó un 99% de conformidad de calidad de las aguas; sin embargo, la cobertura solo alcanzo un 66%; por lo que, se asume que para el 2030 la situación se mantendrá igual que la gestión 2018. Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (2019). Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas 2018. Bolivia
	Frecuencia de inundaciones	0,5	Ministerio de Defensa de Bolivia (2016). Plan de contingencia de inundaciones. Se consideró la información vinculada con los Municipio con recurrencia en inundaciones, el cual los clasifica en: muy alto, alto, medio y bajo

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.4. Gestión

Tabla 5. 8 Gestión 2030

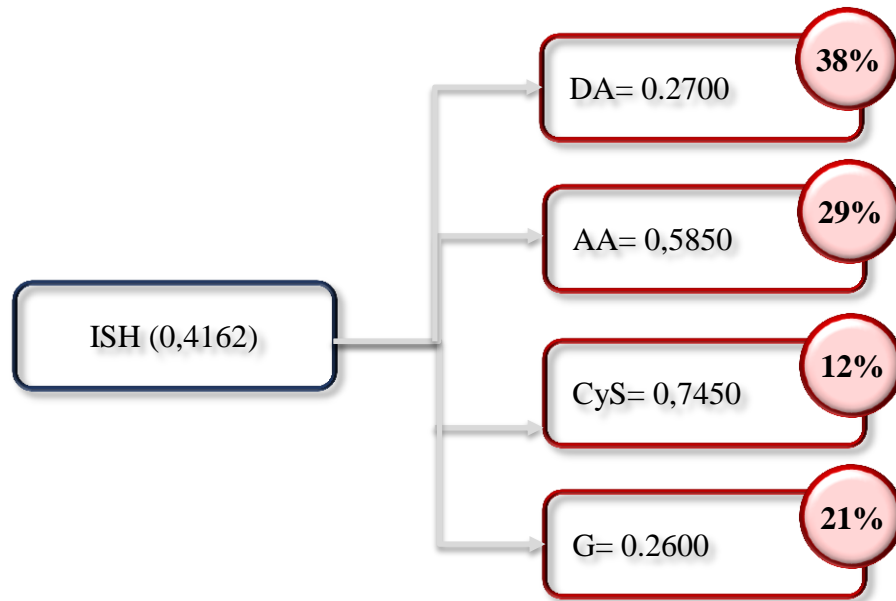
Índice	Criterio	Valor	Fuente de información
Gestión (0,2600)	Índice de gobernanza	0,313	Alemán, R. (2018). Representación gráfica de indicadores de gobernanza en Bolivia. Investigación y Desarrollo Vol. 2, N°3, Bolivia. Considera: Voz y rendición de cuentas; estabilidad política y ausencia de violencia y crímenes y terrorismo; efectividad del gobierno; estado de derecho y control de la corrupción En este documento se observa que entre el 2005 y el 2015 hubo un incremento de la gobernanza de un 4,66%; por lo que se asume que hasta el 2030 se tendrá un incremento similar
	Marco legal	0,1353	Alemán, R. (2018). Representación gráfica de indicadores de gobernanza en Bolivia. Investigación y Desarrollo Vol. 2, N°3, Bolivia. Considera la calidad regulatoria En este documento se observa que entre el 2005 y el 2015 hubo un decremento en la calidad regulatoria de un 27%; por lo que se asume que hasta el 2030 se tendrá un decremento similar

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.5. Índice de Seguridad Hídrica al 2030

Estimados cada uno de los indicadores, se procede al cálculo final del ISH al 2030 con una suma producto de los valores hallados para cada indicador y su respectivo peso; tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 5. 7 Índice de Seguridad Hídrica al 2030



Fuente: Elaboración propia

Se observa que para el año 2030, el ISH disminuiría en un 13% aproximadamente en el Municipio de Colcha K, el indicador más afectado es la disponibilidad de agua.

Tabla 5. 9 Tabla comparativa del ISH del 2015 y 2030

	Para el 2015	Para el 2030
Disponibilidad de agua	0,5300	0,2700
Accesibilidad al agua	0,4700	0,5850
Seguridad y Calidad	0,7291	0,7450
Gestión	0,2655	0,2600

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y recomendaciones

En un mundo tan cambiante, la búsqueda de estilos de vida más sustentables han conllevado al uso de materiales más “amigables” con el medio ambiente, en especial cuando de reducir la emisión de gases contaminantes se refiere, el litio es considerado como una muy buena alternativa (con la fabricación de autos eléctricos con baterías de litio, en sustitución de los autos tradicionales que requieren de combustibles fósiles para su funcionamiento, por ejemplo), la tendencia por el uso de este tipo de baterías ha crecido exponencialmente junto al avance de la tecnología, tanto así, que la producción de litio destinada para baterías ha incrementado exponencialmente en 1000% en los últimos 13 años (USGS, 2007, 2020); su precio también ha ido en ascenso considerablemente y se espera que en los próximos años los mismos continúen con esa tendencia.

Todo esto resulta ser muy atractivo, en particular para un país que se estima que tiene las mayores reservas de litio en el mundo como es el caso de Bolivia; sin embargo, estas tendencias de tecnologías de avanzada pueden solapar algunas insustentabilidades que la minería del litio produce a nivel local, propiamente en los salares donde se instalan las empresas mineras. Estos salares se caracterizan por ser ecosistemas frágiles y se han dejado parcialmente de lado los impactos medio ambientales que generan las empresas productoras de litio (en particular cuando del uso de los recursos hídricos se refiere); las experiencias en otros países dan cuenta que los impactos negativos no son observables inmediatamente; empero, en Argentina y Chile que tienen ya más de dos décadas en este rubro, han salido a luz algunos problemas generados a partir de esta minería, como el agotamiento de acuíferos, contaminación por aguas residuales de las empresas productoras de litio, despojo de agua para los otros usuarios, solo por mencionar algunos. Aunque también es importante destacar que estas empresas desde el pasado reciente han estado aplicando Responsabilidad Social y Empresarial (RSE), principalmente en las comunidades aledañas a los salares; los mismos a su vez tienen otras finalidades (además de las que por defecto tiene consigo una RSE), ya que para operar y/o expandirse estas empresas requieren de licencias sociales, otorgadas claramente por la población directamente involucrada y se apoyan de la RSE para tener la aceptación de los lugareños.

Ahora bien, Bolivia embelesada con las tendencias del mercado del litio, esperando ser un actor importante en el mismo para coadyuvar al desarrollo del país, tiene la mirada puesta en la producción a escala industrial de sales de litio y baterías de litio (entre otros subproductos); sin embargo, ahora que todavía se encuentra en una etapa piloto es imperiosa la necesidad de analizar los posibles impactos que esta minería puede generar consigo en el entorno local y regional. Al ser de un amplio espectro los posibles impactos (ambientales, sociales, económicos, etc.), el presente trabajo se enfocó en las posibles afectaciones a los recursos hídricos del Municipio de Colcha K (uno de los más cercanos al proyecto), que se generarían cuando la YLB se encuentre operando al máximo de su capacidad (dado que aunque se sabe que este tipo de minería consume elevados volúmenes de agua aún existen casos en los que se da por hecho que el recurso hídrico está y estará disponible permanentemente, siendo esto una completa falacia y más aún cuando se habla de una zona que por naturaleza es árida), el enfoque de seguridad hídrica utilizado para este análisis permitió aterrizar algunos conceptos que por su naturaleza pueden llegar a ser muy complejos, de esta forma a partir del análisis de la información disponible se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En lo referente al Índice de Seguridad Hídrica, puntualmente en el caso de las ponderaciones de los indicadores se observó que las mismas variaron en los pesos originales propuesto por los autores de la metodología; esto puede entenderse que para el contexto boliviano, si bien es importante la disponibilidad del recurso *per se*, la gestión juega un rol más importante de lo que originalmente se consideraba y más aún en la realidad boliviana; al tratarse de un proyecto estatal y una estrategia nacional los temas políticos van tomando fuerza, por su parte, las organizaciones sociales informales son actores que tienen un peso importante en la toma de decisiones en el país, a los cuales no se les debe dejar de lado bajo ningún criterio. En cuanto al contexto socioeconómico de la región el acceso al agua potable y saneamiento básico es un derecho que debe respetarse y cumplirse brindando una calidad y seguridad aceptable coadyuvada de una gestión adecuada de los recursos hídricos, no solo por parte de las entidades competentes sino también de una autogestión.

Es importante destacar que en cuanto a la determinación de los pesos para los indicadores que conforman el índice de seguridad hídrica, el trabajo realizado es considerado como una prueba piloto cuya finalidad principal era la de determinar si

puede existir o no una variación considerable de los pesos con respecto a la metodología original y los valores de estos; al observar que en efecto, hay parámetros que tienen mayor relevancia en el contexto boliviano de las que originalmente proponen los autores; para tener una mayor validez en cuando a los valores específicos de cada peso se recomienda realizar el cálculo de estos con la opinión de un grupo más amplio de expertos.

Desglosando el Índice de Seguridad Hídrica obtenida para el Municipio de Colcha K y realizando un análisis individual de cada indicador se puede concluir que:

- En cuanto a la disponibilidad de agua, al año 2030 se estima que el mismo disminuirá, siendo este el más afectado; por lo que, se debe cambiar el paradigma focalizado en la oferta y empezar a abordar a la demanda como un aspecto que debe controlarse, ser más eficientes en el uso de los recursos hídricos; lo importante no radica en conocer de dónde se obtiene más recursos sino más bien de como utilizamos menos.

También se debe dar énfasis al cuidado de las aguas subterráneas que muchas veces se deja de lado, sin considerar que tanto las aguas superficiales como subterráneas están estrechamente relacionadas. En la región donde se encuentra el Municipio de Colcha K, las empresas mineras en particular (incluida la YLB) utilizan pozos como fuentes de agua esto conlleva a uso intensivo de aguas subterráneas de las cuales muy poco o casi nulo control se tiene.

- En cuanto a la accesibilidad a los servicios básicos; realmente es preocupante que en pleno Siglo XXI, menos de un cuarto de los hogares en este municipio cuenten con acceso a saneamiento básico, y solo un poco más de la mitad cuenta con acceso a agua potable; es imperiosa la necesidad que para el año 2030 el acceso a estos servicios sea universal y no solo incremente en un ínfimo porcentaje, si bien es una tarea que le compete al gobierno, las grandes empresas que se encuentran en la región (San Cristóbal, la YLB, entre otras) tienen la obligación moral de coadyuvar a los lugareños en aspectos tan importantes como este. Considerando además que estas empresas cuentan con campamentos cuya cantidad de trabajadores tienen una importancia en municipio donde no superan los 13 mil habitantes.

- En cuanto a la calidad y seguridad; la información disponible en cuanto a la calidad de las aguas es un tanto dudosa; sin embargo, la experiencia en otros países como Chile y Argentina dan cuenta que la minería del litio contamina el agua con sus descargas que poseen químicos utilizados durante el proceso de obtención de sales de litio, en tal sentido la YLB debe enfocar sus acciones en minimizar sus impactos negativos al medio ambiente, en particular en cuanto a los recursos hídricos se refiere, la planta de tratamiento de aguas residuales es un avance, pero la misma debe mostrar resultados.
- En cuanto a la gestión, existen aspectos políticos que prevalecen en el proyecto de industrialización de litio; por lo que, las organizaciones sociales informales juegan un rol muy importante en torno a este recurso; también se observó que el marco legal es muy endeble en el país, con una ley de aguas con más de 100 años y una ley de medio ambiente que tiene privilegios para el sector minero. En adición, la empresa al pertenecer al Ministerio de Energías cuyos miembros del directo lo conforman representantes del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se convierte en juez y parte al momento del control en los impactos ambientales, del consumo de los recursos hídricos, entre otros aspectos; cuando en realidad debería de existir un ente neutral que regule de forma imparcial.

Si bien la industrialización del Li si puede contribuir con un desarrollo económico (dada la creciente demanda y los elevados precios del Li); el termino de desarrollo en el contexto boliviano involucra más que un desarrollo netamente económico, en Bolivia en los últimos 14 años alcanzar el desarrollo ha sido entendido como el “vivir bien”, buscar ese ideal del vivir bien con una Bolivia que deje de ser el país exportador de materia prima del cual se caracteriza y pase a una Bolivia productora, capaz de generar valor agregado pero todo esto en armonía con el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

Recomendaciones

En función de todo el trabajo desarrollado las recomendaciones se encuentran agrupadas de la siguiente manera:

- Para el Gobierno- en lo que refiere a este actor, el mismo no solo se ve involucrado en el aspecto de gestión sino también en todos los aspectos que considera el concepto de

seguridad hídrica y el índice; por lo que, para el aspecto de disponibilidad de agua, el gobierno debe establecer políticas más rígidas que resguarden las fuentes de agua dulce (más aun en regiones que por su naturaleza son áridas y el agua es limitada) cuando la misma se destinada principalmente a actividades mineras e industriales; pero estas políticas no deben limitarse al agua dulce; sino también a la salmuera extraída del salar, por ser agua salada su control se está dejando de lado, sin embargo, no se debe olvidar que el agua que ingresa al salar es agua dulce (que luego por las características del salar se convierte en salmuera) y que los volúmenes evaporados de esta agua son elevados y que más adelante si no se toman las medidas adecuadas podrían incluso afectar todo el ecosistema del salar.

En cuanto a la accesibilidad al agua; el gobierno tiene la obligación de garantizar el mismo a los y las bolivianas, para ello debe priorizar el consumo humano por encima de cualquier otro uso que se le dé al agua, en adición para la región en particular en sus acciones a futuro para incrementar la cobertura a los servicios básicos debe considerar que dado el proyecto de Li, habrá un incremento en la demanda de estos servicios, no solo por el personal que trabaja en la YLB, sino también por la migración que pueda existir por el movimiento económico que generaría el proyecto. De la misma forma, el gobierno mediante la entidad correspondiente debe controlar la calidad del agua, por lo tanto, aunque el proyecto es estatal debe de existir una separación entre el que regula y el regulado, considerando esto se debe reevaluar la participación de un representante del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) en el Directorio de la YLB; el MMAyA debe ser neutral y al formar parte de la empresa se da a entender una parcialidad que favorece a la YLB.

En el aspecto de gestión social por su parte, se debe fortalecer los mecanismos que permitan la participación social en el proyecto, los mismos deben tener acceso a información y mayor participación en la toma de decisiones; se debe garantizar la consulta previa ante cualquier decisión importante, ya que los lugareños son los directos beneficiados o perjudicados. Por otra parte, el aspecto económico también debe analizarse minuciosamente en cuanto al tema de regalías se refiere, este aspecto puede ser un punto de inflexión entre los comunarios y el proyecto.

- Para la YLB.- en términos de consumo de agua, la empresa debe mejorar sus procesos para minimizar el consumo de agua que se le destine a la producción de Li, un paso importante que dieron ha sido la construcción de su planta de tratamiento de aguas residuales (domesticas e industriales), pero no basta con solo tener la infraestructura, dicha planta debe mostrar resultados; para ello la empresa no debe escatimar esfuerzos para dar continuidad a este medida (mantenimiento, reactivos e incluso el uso que se le vaya dar al agua obtenida), otro aspecto que resaltar son los baños ecológicos con los que cuentan los campamentos, de igual forma los mismo requieren de mantenimiento y de culturizar al personal para darle un uso adecuado, este tipo de acciones son medidas preventivas que contribuyen al uso sustentable del recurso. Pero para conocer si estas medidas realmente están contribuyendo a uso eficiente del agua, el control y seguimiento es fundamental; según sus memorias institucionales la empresa cuenta con medidores destinadas al control, sin embargo, solo en la gestión 2017 se presentaron resultados (mismos que tienen cierto grado de incertidumbre), no solo basta con destinar al personal a que realice esta actividad sino también se debe control con las herramientas que faciliten el control y con procedimientos para el seguimiento y posterior toma de decisiones.

En cuanto al agua evaporada de las piscinas de evaporación se deben realizar investigaciones que permitan minimizar estas pérdidas, en especial cuando se tenga una producción a escala industrial de Li.

Aunque al principio del proyecto la YLB hizo participes a la sociedad civil ante los avances y decisiones importantes de la empresa, este es sido un aspecto que poco a poco se ha dejado, olvidando que en el caso particular de Bolivia las organizaciones sociales informales juegan un rol importante en la toma de decisiones en este tipo de proyectos, de hecho una de las principales molestias que se dio el año pasado por el pueblo potosino en cuanto al Decreto 3738 fue que no se les había consultado al respecto y que la decisión fue arbitraria. En tal sentido, la empresa debe retomar el contacto con la sociedad civil (mediante foros, charlas, etc.) para que los mismos se sientan parte del proyecto dándoles a entender que su opinión sí importa y no volver a cometer los errores del pasado minimizando el impacto que tiene la consulta previa a la población aledaña.

- Para la sociedad.- en primer lugar ellos tienen el derecho natural al acceso agua potable y saneamiento básico; por lo que sus autoridades y máximos representantes deben de dar prioridad a este aspecto, en todos sus planes de desarrollo debe de ser lo primero que se encuentre en la lista de proyectos a realizar, ya que acceder a estos servicios básicos conlleva a otros beneficios como por ejemplo minimizar las enfermedades por agua contaminada.

Por otro lado, considerando la reducida cantidad de habitantes en la región que conlleva a tener organismos operadores de agua un tanto improvisados (de los cuales poco se sabe), la auto gestión es fundamental para un uso eficiente del recurso y así también para realizar un control más riguroso a usuarios del agua, cuya demanda contempla volúmenes elevados, este control y seguimiento tanto a usuarios existentes (empresas mineras como San Cristóbal y las demás existentes) como a potenciales usuarios (en los que puede ingresar la YLB).

Finalmente el presente trabajo no pretende ser un detractor al proyecto de industrialización del Litio, o categorizarlo como bueno o malo; ciertamente, el uso de nuevas tecnologías vinculadas al litio para reducir las emisiones de CO₂ pueden llegar a ser muy beneficiosas para el medio ambiente, o el cambio de baterías de plomo por las baterías de litio para sistemas fotovoltaicos (siendo que las baterías de litio rinden hasta tres veces más) para reducir los grandes niveles de contaminación generadas por las baterías de plomo. Más allá de ello este trabajo pretende servir como una base de información para el análisis en la toma de decisiones, toda vez que el proyecto todavía se encuentra en etapa piloto y aún no se tiene las afectaciones que traería consigo una producción a escala industrial de sales de litio; por lo que, desde ahora se pueden planificar, ejecutar y controlar acciones preventivas que coadyuven a la producción de litio de la manera más amigable posible y/o minimizar en lo mayor posible los impactos negativos con el medio ambiente, en particular cuando al recurso hídrico se refiere.

BIBLIOGRAFÍA

- Ait-Kadi, M., & Lincklaen, W. (2016). Perspectives paper water-security. Recuperado 19 de mayo de 2019, de https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/perspectives-paper_water-security_spanish.pdf
- Alemán, R. (2018). Representación gráfica de indicadores de gobernanza en Bolivia. Investigación y Desarrollo Vol. 2, N°3, Bolivia.
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2019). Indicadores de desempeño de las EPSA reguladas en Bolivia, 2018, PERIAGUA, Bolivia.
- Aznar, J., & Guijarro, F. (2018). *Nuevos métodos de valoración: Modelos Multicriterio* (segunda). Universidad Pontificia de Valencia.
- Campanini, O. (2013). El agua para la minería. *Petropress*, 8–16. Disponible en: <https://cedib.org/wp-content/uploads/2013/01/El-agua-para-la-mineria.pdf>
- COCHILCO. (2013, Diciembre). Mercado internacional del litio. Recuperado a partir de http://www.cochilco.cl/descargas/estudios/informes/litio/Mercado_Internacional_del_Litio.pdf
- Comisión Nacional del Litio. (2015). *Litio: Una fuente de energía, una oportunidad para Chile* (Informe final) (p. 100). Chile: Ministerio de Minería. Recuperado a partir de http://ciperchile.cl/pdfs/2015/06/sqm/INFORME_COMISION_LITIO_FINAL.pdf
- Comisión Nacional del Litio. (2016). Oportunidades de integración de la cadena de valor del Litio en Chile. Recuperado a partir de https://www.corfo.cl/sites/Satellite;jsessionid=wIi4IIm2No3fcp8p0F1UFCyoONG_HcYggZoBapeFwYy2gz-n8OWZ!1813535964!2021178383?blobcol=urldata&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1475166262084&ssbinary=true.
- Copana, C. (2018). *Efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y los recursos hídricos en Bolivia: Pronostico para el 2030*. Universidad Católica Boliviana «San Pablo».
- Crespo, P., Palma, H., Quintanilla, J., & Quispe, L. (1987). *Tratamiento químico de salmueras*

- del salar de Uyuni - Potosí* (No. 7) (p. 122). Bolivia: Convenio UMSA-ORSTOM.
- Dante Ayaviri, N. (2014). Clasificación socioeconómica de los municipios de Bolivia. *Revista Perspectivas*, 33, 29-55.
- Del Barco, R. (2012). *El papel del litio en el desarrollo boliviano* (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
- Desormeaux, D. (abril, 2018). *Litio: Mercado y Regulación en Chile*. 23. SignumBOX
- Evans, R. (2009). *Lithium Resources are they Adequade?* Presentación en la Conferencia “Lithium Supply Markets 2009”. 26-28 de enero. Santiago de Chile
- Fornillo, B. (2017). La energía del litio en Argentina y Bolivia: Comunidad, extractivismo y posdesarrollo. *Colombia Internacional*, 93, 179-201. <https://doi.org/10.7440/colombiaint93.2018.07>
- Gain, A. K., Giupponi, C., & Wada, Y. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124015.
- GNRE. (2011). *Memoria Institucional 2010 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 102). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- GNRE. (2012). *Memoria Institucional 2011 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 103). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- GNRE. (2013). *Memoria Institucional 2012 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 123). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- GNRE. (2014). *Memoria Institucional 2013 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 119). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- GNRE. (2015). *Memoria Institucional 2014 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 116). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- GNRE. (2016). *Memoria Institucional 2015 - Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos* (p. 143). Bolivia: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.
- Gómez, S. (2017). *Minería del litio y acumulación por desposesión, el caso de Salar de Hombre Muerto (1999-2016)*. 27.
- Grey, D., & Sadoff, C. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 545-571.
- Gruber, P., Medina, P., Keoleian, G., Kesler, S., Everson, M., & Wallington, T. (2011, Julio 27). Global Lithium Availability. A constraint for electric vehicles? *Journal of*

Industrial Ecology, 16.

- Gundermann, H., & Göbel, B. (2018, agosto). Comunidades indígenas, empresas del litio y sus relaciones en el Salar de Atacama. *Chungara Revista de Antropología Chilena*, 50(3).
- Hollender, R., & Shultz, J. (2010). *Bolivia y su litio: ¿Puede el “oro del siglo XXI” ayudar a una nación a salir de la pobreza?* Bolivia: Centro para la Democracia.
- IMTA. (2017). Índices de seguridad hídrica (ISH) clave: HC1711.1 - Informe final. Recuperado 6 de diciembre de 2018, de <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1831/HC-1711.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INE. (2018, October 29). Instituto Nacional de Estadística - Producto Interno Bruto Departamental. Retrieved October 30, 2018, from <https://www.ine.gob.bo/index.php/producto-interno-bruto-departamental/producto-interno-bruto-departamental-5>
- Jerez, B. (2018). *Impacto socio ambiental de la extracción de litio en las cuencas de los salares alto andinos del Cono Sur*. Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina.
- Mason, N., & Calow, R. (2012). *Water security from abstract concept to meaningful metrics ; an initial overview of options*. Recuperado de <http://www.odi.org.uk/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/7865.pdf>
- Ministerio de Defensa de Bolivia (2016). Plan de contingencia de inundaciones.
- Mohr, S., Mudd, G., & Giurco, D. (2012, marzo 19). Lithium resources and production: Critical assessment and global projections. *Minerals*, 2, 65–84.
- Molina, J. (2007). Agua y recuso hídrico en el sudoeste de Potosí. FOBOMADE. Bolivia
- PDM Colcha K. (2008). *Plan de Desarrollo Municipal de Colcha K 2004—2007*. Disponible en: http://vpc.planificacion.gob.bo/uploads/PDM_S/05_POTOSI/050901%20Colcha%20K.pdf
- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. CEPAL. Retrieved from

- https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40074/1/S1600566_es.pdf
- Risacher, F. (1989). *Estudio económico del Salar de Uyuni* (No. 17) (p. 69). Bolivia: ORSTOM.
- Romero, A., Aylwin, J., & Didier, M. (2019). *Globalización de las empresas de energía renovable: Extracción del litio y derechos de los pueblos indígenas en Argentina, Bolivia y Chile («Triangulo del litio»)*. Centro de Información sobre Empresas y Derechos Humanos.
- Romero, J. (2018). *Las perspectivas locales sobre la gobernanza del litio boliviano*. Friedrich-Ebert-Stiftung Bolivia.
- SignumBOX. (2011, Noviembre 17). Litio demanda actual potencial y proyecciones. Recuperado a partir de <http://www.signumbox.com>
- SQM. (2018). *Reporte de sustentabilidad 2017*. Disponible en: <https://www.sqm.com/wp-content/uploads/2018/04/REPORTE-DE-SUSTENTABILIDAD-2017.pdf>
- Sticco, M. et al. (2019). *Estudio de los recursos hídricos y el impacto por explotación minería de litio: Cuenca Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc—Provincia de Jujuy*. <https://www.farn.org.ar/wp-content/uploads/2019/06/FARN-Estudio-de-los-recursos-h%C3%ADricos-y-el-impacto-por-explotaci%C3%B3n-minera-de-litio.pdf>
- Stormcrow. (2015, mayo 29). Initiating sector coverage Lithium - Strong gets stronger, 23.
- Ströbele-Gregor, J. (2013). El proyecto estatal del litio en Bolivia. Expectativas, desafíos y dilemas. *Nueva Sociedad*, (244), 74–83.
- Ströbele-Gregor, J. (2015). Desigualdades estructurales en el aprovechamiento de un recurso estratégico: La economía global del litio y el caso de Bolivia. Retrieved from http://www.desigualdades.net/Resources/Working_Paper/WP-79-Stroebele--Gregor-Online.pdf
- USGS. (2007). *Mineral Commodity Summaries 2007*. Reporte, Estados Unidos.
- USGS. (2017, Enero 19). *Mineral Commodity Summaries 2017*. Reporte, Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>
- USGS. (2020). *Mineral Commodity Summaries 2020*. Reporte, Estados Unidos. Recuperado a partir de <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-lithium.pdf>
- WWF. (2010). Caudal ecológico: Salud al ambiente, agua para la gente. Retrieved from http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf

- YLB. (2018). *Memoria Institucional 2017 – Yacimiento de Litio Bolivianos* (p. 103). Bolivia: Yacimiento de Litio Bolivianos.
- YLB. (2019). *Memoria Institucional 2018 – Yacimiento de Litio Bolivianos* (p. 103). Bolivia: Yacimiento de Litio Bolivianos.
- YLB. (2019a). Suscripción de Documento de Fundación de la Empresa Pública YLB-ACISA para la industrialización del Litio en Bolivia. Recuperado de http://www.ylb.gob.bo/archivos/notas_archivos/nota_de_prensa_aci-ylb_121218.pdf



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



Anexos

Anexo 1 - Guía base de entrevista

Proyecto de investigación:	La industrialización del litio del Salar de Uyuni en Bolivia: Entre el desarrollo y la seguridad hídrica
Institución:	El Colegio de la Frontera Norte con sede en Monterrey México
Programa:	Maestría en Gestión Integral del Agua
Entrevistador:	Ing. Ebeliz Nilda Fuentes Claros
Entrevistado:	
Fecha de entrevista:	

Muy buen día/tarde, la finalidad de estas entrevistas es poder conocer distintas opiniones en torno al proyecto de industrialización del litio en Bolivia, su consumo (o potencial consumo) de agua y sus implicaciones para las poblaciones aledañas.

En tal sentido, siéntase libre de compartir sus opiniones, ideas y/o comentarios en este espacio. Es importante destacar que la información recabada es solo con fines académicos y sus respuestas serán unidas a otras opiniones.

¡De antemano muchas gracias por su tiempo!

Preguntas realizadas a académicos:

1. Si yo digo “Industrialización de litio en Bolivia” ¿Qué es lo primero que se le viene a la mente?
2. ¿Qué opinión tiene respecto a que la industrialización del litio es un pilar importante para el desarrollo de Bolivia?
3. A nivel personal y considerando aspectos técnicos, económicos y sociales ¿Cómo cree que se encontrara el proyecto de industrialización de litio del Salar de Uyuni al año 2025 y 2030?

4. En cuanto al nivel de participación de la sociedad (principalmente de los lugareños) en el proyecto ¿considera usted que existen aspectos positivos que destacar? ¿Cuáles? ¿Por qué? ¿Cómo piensa que debería de ser?
5. Tomando en cuenta que el agua utilizada en el proyecto, no solo esta desinada al proceso productivo, sino también al uso en los campamentos y otros usos preexistentes en la región ¿Cómo considera que el proyecto maneja el tema del agua? ¿Por qué? ¿Qué recomendaciones haría usted?
6. ¿Cuál considera usted que debería de ser el nivel de participación de los lugareños en la toma de decisiones en cuanto al recurso hídrico se refiere? ¿Cómo considera usted que podría afectar el proyecto a los recursos hídricos? ¿Qué medidas se deben tomar en cuenta para cuidar los recursos hídricos?
7. Considerando que seguridad hídrica es tener: “Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción; con la capacidad (institucional, financiera y de infraestructura) para acceder y aprovechar dicha agua de forma sustentable y manejar las interrelaciones entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente y un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos” y que el mismo puede ser medido tomando en cuenta cuatro parámetros:
 - disponibilidad de agua: considerando este como un aspecto físico; escasez de agua, sequia, agotamiento de acuíferos
 - accesibilidad al agua: un aspecto socioeconómico que considera el acceso al saneamiento y acceso al agua potable
 - seguridad y calidad: considerado también como un aspecto socioeconómico vinculado a la calidad de agua y posibles inundaciones
 - la gestión: un aspecto social; que toma en consideración la gobernanza, marcos jurídicos, tensión política, poder de las organizaciones sociales informales

Por favor proceda a realizar una comparación de pares indicando el nivel de importancia según su opinión:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
--	------------------------	-----------------------	---------------------	---------

Disponibilidad de agua	1			
Accesibilidad al agua		1		
Seguridad y Calidad			1	
Gestión				1

Para ello considere la siguiente escala:

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual de importancia	El criterio A es igual de importante que el B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda

Por ejemplo: Entre disponibilidad de agua y accesibilidad al agua, si se considera que el primero es más importante que el segundo, entonces deberá llenar el valor de importancia (1, 3, 5, 7 o 9) en la siguiente casilla:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
Disponibilidad de agua	1			
Accesibilidad al agua		1		
Seguridad y Calidad			1	
Gestión				1

Por el contrario, si considera que la accesibilidad al agua es más importante que la disponibilidad de agua, entonces deberá llenar el valor de importancia (1, 3, 5, 7 o 9) en la siguiente casilla:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
Disponibilidad de agua	1			
Accesibilidad al agua		1		
Seguridad y Calidad			1	
Gestión				1

Dejando en blanco lo anterior, este análisis se debe realizar con cada par

8. Finalmente ¿Cómo considera que influirá los últimos acontecimientos vividos en Bolivia (elecciones observadas, cambio de gobierno, pandemia) en el proyecto?

¡Muchas gracias por su tiempo, que tenga un excelente día!

Preguntas realizadas a ex funcionarios:

1. Por favor comparta su experiencia dentro de la YLB ¿Qué actividades desempeñaba, en que área, duración, etc.? ¿Qué aspectos le llamaron más la atención de la YLB durante su estadía? ¿percibió algún tipo de participación o convivencia por parte de la empresa con los lugareños?; si usted se encontraba en algún campamento ¿conocía de donde proviene el agua que se utiliza? ¿Qué medidas para el cuidado del medio ambiente se tienen?
2. Si yo digo “Industrialización de litio en Bolivia” ¿Qué es lo primero que se le viene a la mente?
3. A nivel personal y considerando aspectos técnicos, económicos y sociales ¿Cómo cree que se encontrará el proyecto de industrialización de litio del Salar de Uyuni al año 2025 y 2030?
4. Tomando en cuenta que el agua utilizada en el proyecto, no solo esta desinada al proceso productivo, sino también al uso en los campamentos y otros usos preexistentes en la región ¿Cómo considera que el proyecto maneja el tema del agua? ¿Por qué? ¿Qué recomendaciones haría usted?
5. Finalmente ¿Cómo considera que influirá los últimos acontecimientos vividos en Bolivia (elecciones observadas, cambio de gobierno, pandemia) en el proyecto?

¡Muchas gracias por su tiempo, que tenga un excelente día!

Anexo 2 – Determinación de los pesos de los indicadores

Para ello se consideró las respuestas de la pregunta 8 de la guía básica de entrevista, cinco entrevistados coadyuvaron en el llenado de dicha tabla.

Con la aplicación de la metodología AHP se tuvo los siguientes pasos:

- Se realizó las comparaciones por pares cuantificadas mediante la escala de Saaty, logrando obtener una matriz de 4x4, dado que se trabajó con cuatro criterios (indicadores); a continuación se presenta la matriz de un entrevistado:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
Disponibilidad de agua	1	3	5	1
Accesibilidad al agua		1	3	
Seguridad y Calidad			1	
Gestión		1	3	1

- Para completar la matriz se consideran los valores recíprocos, llegando a obtener lo siguiente:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
Disponibilidad de agua	1	3	5	1
Accesibilidad al agua	1/3	1	3	1/1
Seguridad y Calidad	1/5	1/3	1	1/3
Gestión	1/1	1	3	1

- Al trabajar con cinco entrevistados se tuvo cinco matrices llenadas con distintos enfoques; por lo que, para tener una única matriz se decidió realizar un promedio de cada celda, teniendo como resultado lo siguiente:

	Disponibilidad de agua	Accesibilidad al agua	Seguridad y Calidad	Gestión
Disponibilidad de agua	1	2	4	2
Accesibilidad al agua	1	1	4	1
Seguridad y Calidad	0,24	0,49	1	1
Gestión	1	1	2	1

- El siguiente paso es obtener la matriz normalizada

					Matriz normalizada			
	DA	AA	SC	G	DA	AA	SC	G
Disponibilidad de agua - DA	1	2	4	2	0,33	0,42	0,39	0,39
Accesibilidad al agua - AA	1	1	4	1	0,40	0,20	0,33	0,24
Seguridad y Calidad - SC	0,24	0,49	1	1	0,08	0,10	0,09	0,20
Gestión - G	1	1	2	1	0,18	0,29	0,19	0,17
SUMA	3,02	5,05	11	6				

- Finalmente se obtiene el promedio de cada fila de la matriz normalizada para obtener el peso de cada criterio

	Matriz normalizada				Pesos
	DA	AA	SC	G	
Disponibilidad de agua - DA	0,33	0,42	0,39	0,39	38%
Accesibilidad al agua - AA	0,40	0,20	0,33	0,24	29%
Seguridad y Calidad - SC	0,08	0,10	0,09	0,20	12%
Gestión - G	0,18	0,29	0,19	0,17	21%

La autora es Ingeniera Industrial por la Universidad Técnica de Oruro, Bolivia. Desde la licenciatura ha incursionado en el estudio de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni de Bolivia, desde un enfoque de mercado hasta un enfoque ambiental. Egresada de la Maestría en Gestión Integral del Agua de El Colegio de la Frontera Norte, México.

Correo electrónico: ebelizfuentes@gmail.com

© *Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.*

Forma de citar:

Fuentes, E. (2020). *La industrialización del litio del Salar de Uyuni en Bolivia: Entre el desarrollo y la seguridad hídrica*. Tesis de Maestría en Gestión Integral del Agua. El Colegio de la Frontera Norte, México. pp. 117