



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE DESARROLLO DEL LITIO EN CHILE,  
ARGENTINA Y BOLIVIA ANTE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO  
CLIMÁTICO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

CAMILA FERNANDA REYES NAVARRO

PROFESOR GUÍA:  
EMILIO CASTILLO DINTRANS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
LUIS ORELLANA ESPINOZA  
IRENE DEL REAL CONTRERAS

SANTIAGO DE CHILE  
2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE GEÓLOGA  
POR: CAMILA FERNANDA REYES NAVARRO  
FECHA: 2023  
PROF. GUÍA: EMILIO CASTILLO DINTRANS

## **ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE DESARROLLO DEL LITIO EN CHILE, ARGENTINA Y BOLIVIA ANTE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

En los últimos años, el cambio climático ha afectado globalmente la calidad de vida de las personas debido a fenómenos meteorológicos extremos. La minería es uno de los muchos sectores afectados por estos eventos. En este contexto, la minería de minerales estratégicos se ha impulsado para promover tecnologías energéticas bajas en carbono, lo que ha aumentado la demanda de metales de transición energética, como el litio. La creciente demanda de litio se debe al desarrollo de tecnologías y mercados emergentes, como las baterías de vehículos eléctricos. Esto destaca la necesidad urgente de estudiar los efectos del cambio climático y otros factores en la minería de litio.

Este estudio busca analizar los elementos que determinan el desarrollo de esta industria específicamente en salares de Argentina, Bolivia y Chile, cuantificando el impacto que puede tener el cambio climático, el potencial geológico, la gobernanza de cada país y aspectos socioambientales en este desarrollo. La importancia de esta investigación radica en que, hasta la fecha, las investigaciones que vinculan el cambio climático con la minería en esta zona son escasas. Para lograr cuantificar el efecto de estos factores en el desarrollo de la industria minera de litio se propone una metodología, basada en datos de acceso público, que otorga a cada factor un valor en una escala del 0 al 1.

En cuanto al potencial geológico, se obtiene que Bolivia es el país del triángulo del litio con un mayor potencial. En lo que respecta a la gobernanza, Chile es el país con mejor marco regulatorio para la minería, lo cual no necesariamente es sinónimo de tener el mejor marco regulatorio para la minería de litio en específico, ya que la buena gobernanza para la industria del cobre puede sobreestimar este valor. Respecto al factor socioambiental, se tiene que el país con más conflictos socioambientales alrededor de sus salares de litio es Chile. Por último, los resultados climáticos arrojan que en promedio, el país más afectado frente a amenazas de sequía y precipitaciones extremas es Bolivia.

Tras analizar los resultados, se evalúa la capacidad de esta metodología para reflejar la realidad actual de los salares. Se concluye que cada factor afecta la minería de litio de manera distinta. Se obtuvo que el factor de potencial geológico y el factor de gobernanza juegan un gran papel en el reflejo del desarrollo de la minería de litio, mientras que los conflictos socioambientales y los efectos del cambio climático parecen no tener relevancia alguna. Estas resoluciones deben ser tomadas con cautela ya que la metodología propuesta presenta diversas limitaciones y puede profundizarse y perfeccionarse para buscar obtener resultados más confiables.

*A mi madre Carmen Gloria, a mi padre Álex y a mi hermano Maximiliano,  
por su apoyo y amor incondicional.*

# Agradecimientos

Sin dudas, la etapa universitaria ha sido un camino lleno de altos y bajos y es por esto que quiero comenzar agradeciéndome a mí (sí, como Snoop Dogg) por mi resiliencia y mi capacidad de adaptarme a nuevos retos, como vivir sola en una nueva ciudad, tolerar la frustración y el fracaso en múltiples ocasiones y abrirme a conocer nuevas personas.

Nada de lo vivido durante estos últimos años sería posible sin el apoyo y la confianza infinita puesta en mí de mis padres, Álex y Carmen Gloria, y de mi hermano Max. Desde pequeña me entregaron todas las herramientas posibles para que cumpliera mis sueños y fuera feliz, aunque eso significara mucho esfuerzo, y eso sigue hasta el día de hoy. Gracias hermanito por entregarme tu amor en mis visitas a Curicó y por siempre pedir por mí cuando atravesé momentos difíciles e importantes.

Agradezco a mi pololo Tomás por ser mi soporte y el mejor compañero que pude haber tenido durante todos estos años, que me dio la fortaleza y la motivación para superar mis tropiezos. También debo darle las gracias a mi suegra Paula, por abrirme las puertas de su casa y hacerme sentir en familia en esta nueva ciudad.

Por supuesto, también quiero agradecer a mis amigos. Gracias Krztlv y Daniel por darme su increíble amistad desde el primer momento en el que nos conocimos el día de inducción. Por otro lado, gracias Kim, Tille, Palo, Vicky, Jaime, Guille, Kelo, Mati y Nacho, por ser unos geoamigos maravillosos, siempre dispuestos a ayudarme, escucharme, contarme chismes, etc. Siempre recordaré el increíble apoyo que fueron día a día y los lindos momentos que vivimos en terreno, en nuestras juntas, en los almuerzos, en los carretes y vía zoom en pandemia.

A todos los amo mucho y espero que todo lo lindo que me entregaron, les llegue de vuelta a sus vidas por mil <3.

Por último, quiero darle gracias a mi profesor guía Emilio, porque ha sido un gran apoyo durante estos últimos meses entregándome muchas herramientas, aprendizaje y confianza. Su comprensión y consideración en todo momento ha significado mucho para mí.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1. Factores determinantes para el desarrollo de la industria del litio . . . . .	3
2.1.1. Potencial geológico . . . . .	3
2.1.2. Marco legal y regulatorio de la minería (Gobernanza) . . . . .	17
2.1.3. Aspectos socioambientales . . . . .	20
2.1.4. Cambio climático . . . . .	24
<b>3. Objetivos y alcance</b>	<b>31</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	31
3.2. Objetivos específicos . . . . .	31
3.3. Alcances . . . . .	31
<b>4. Metodología y datos</b>	<b>32</b>
4.1. Índice de potencial geológico . . . . .	33
4.2. Índice de gobernanza . . . . .	35
4.3. Índice socioambiental . . . . .	39
4.4. Índice de cambio climático . . . . .	43
4.4.1. Cadenas de impacto . . . . .	44
4.4.2. Identificación y selección de indicadores . . . . .	45
4.4.3. Datos: Adquisición y gestión . . . . .	49

4.4.4.	Obtención de índices . . . . .	50
4.4.5.	Normalización de índices . . . . .	60
4.4.6.	Cálculo del riesgo . . . . .	61
4.5.	Índice de potencial de desarrollo . . . . .	63
4.6.	Estado actual de cada salar . . . . .	63
<b>5.</b>	<b>Resultados</b>	<b>66</b>
5.1.	Resultados para potencial geológico . . . . .	66
5.2.	Resultados para gobernanza . . . . .	68
5.3.	Resultados para conflictos socioambientales . . . . .	69
5.4.	Resultados para cambio climático . . . . .	71
5.4.1.	Mapa de Amenaza de precipitaciones extremas . . . . .	71
5.4.2.	Mapa de Amenaza de sequía . . . . .	73
5.4.3.	Mapas de exposición . . . . .	75
5.4.4.	Vulnerabilidad . . . . .	79
5.4.5.	Riesgo . . . . .	83
5.5.	Resultados para estado actual de salar . . . . .	87
<b>6.</b>	<b>Análisis y Discusión</b>	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>99</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>110</b>
	<b>Anexo</b>	<b>111</b>

# Índice de Tablas

2.1. Tabla comparativa de la gobernanza de Argentina, Bolivia y Chile en torno al litio. Elaboración propia a partir de León et al., 2020. . . . .	18
4.1. Datos de entrada para la estimación del potencial geológico de los salares del triángulo del litio. Elaboración propia. . . . .	33
4.2. Valor estimado de coeficientes calculados en RStudio. Elaboración propia. . .	34
4.3. Coeficientes de regresión lineal realizada en R para el cálculo del potencial geológico inferido. Elaboración propia. . . . .	35
4.4. Índice de Percepción de Políticas normalizado en escala 0-1. Elaboración propia a partir de Fraser Institute, 2021. . . . .	37
4.5. Worldwide Governance Indicators para Argentina, Bolivia y Chile. Extraído de Worldwide Governance Indicators, 2013. . . . .	38
4.6. Asignación de valor a la intensidad del conflicto. Elaboración propia. . . . .	40
4.7. Ejemplos de factores y posibles indicadores. Extraído de GIZ & EURAC, 2017.	45
4.8. Indicadores climáticos a utilizar para amenazas. Elaboración propia. . . . .	47
4.9. Indicadores climáticos a utilizar para exposición. Elaboración propia. . . . .	48
4.10. Indicadores climáticos a utilizar para vulnerabilidad. Elaboración propia. . .	48
4.11. Datos utilizados para el cálculo del riesgo de cambio climático. Elaboración propia. . . . .	49
4.12. Asignación de valores al grado de amenaza. Elaboración propia. . . . .	51
4.13. Índices de amenaza de precipitaciones extremas para estimar el riesgo climático en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	52
4.14. Índices de amenaza de sequía para estimar el riesgo climático en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	53

4.15. Umbrales mínimo y máximo de índice de exposición sin normalizar. Elaboración propia. . . . .	61
4.16. Umbrales mínimo y máximo de índices de vulnerabilidad sin normalizar. Elaboración propia. . . . .	61
4.17. Índices y niveles de riesgo. Elaboración propia. . . . .	62
4.18. Estado salares. Elaboración propia. . . . .	64
5.1. Cálculo del Índice de potencial geológico. Elaboración propia. . . . .	67
5.2. Datos para cálculo de Índice de gobernanza. Elaboración propia. . . . .	68
5.3. Datos para cálculo de Índice socioambiental. Elaboración propia. . . . .	70
5.4. Tabla de amenaza de precipitaciones extremas. Elaboración propia. . . . .	72
5.5. Tabla de amenaza de sequía. Elaboración propia. . . . .	74
5.6. Cálculo de exposición para cada salar. Elaboración propia. . . . .	78
5.7. Cálculo de vulnerabilidad para precipitaciones extremas. Elaboración propia. . . . .	79
5.8. Cálculo de vulnerabilidad para sequía. Elaboración propia. . . . .	81
5.9. Cálculo del Índice de cambio climático. Elaboración propia. . . . .	83
5.10. Valores para cada índice y para el estado actual de los salares. Elaboración propia. . . . .	87
6.1. Ponderaciones de índices. Elaboración propia. . . . .	94

# Índice de Ilustraciones

2.1. Mapa de ubicación que muestra la extensión del altiplano de los Andes Centrales y la Puna. Extraído de Allmendinger et al., 1997. . . . .	5
2.2. Triángulo del litio. Extraído de Merino, 2023. . . . .	6
2.3. Recursos mundiales de litio. Elaboración propia a partir de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero 2022. . . . .	7
2.4. Reservas mundiales de litio. Elaboración propia a partir de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero 2022. . . . .	7
2.5. Principales salares andinos y preandinos de Chile. Modificado de Cabello, 2022.	10
2.6. Mapa de la parte sur del Salar de Atacama que muestra la variación en el contenido de litio (ppm Li) en salmueras cercanas a la superficie, pozos de exploración y producción e instalaciones de procesamiento. Extraído de Kesler, 2012. . . . .	11
2.7. Principales salares de Argentina. Elaboración propia. . . . .	13
2.8. Mapa de ubicación del Salar de Uyuni. Extraído de Quezada & Carvajal, 2022.	14
2.9. Principales salares de Bolivia. Elaboración propia. . . . .	15
2.10. Principales salares del Triángulo del litio. Elaboración propia. . . . .	16
2.11. Comunidades indígenas de Jujuy rechazando la extracción de litio. Imagen de Richard Bauer. Extraído de Diálogo Chino, 2019. . . . .	20
2.12. Flamencos altoandinos en humedal del altiplano. Extraído de Radio Duna, 2022.	21
2.13. Comunidades originarias de Jujuy movilizadas en defensa del territorio y el acceso al agua. Extraído de Lombardi, 2019. . . . .	21
2.14. Piscinas de evaporación de litio en Salar de Atacama. Extraído de El mostrador, 2021. . . . .	22
2.15. Turismo en el Salar de Uyuni, Bolivia. Extraído de Ordoñez, 2018. . . . .	23

2.16. Mapa de amenaza de precipitaciones muy intensas en Chile. Extraído de AR-Clim, 2020. . . . .	26
4.1. Mapa conceptual de componentes para el cálculo del Índice de potencial de desarrollo. Elaboración propia. . . . .	32
4.2. Policy Perception Index (Índice de percepción de políticas). Extraído de Fraser Institute, 2021. . . . .	36
4.3. Buffers de 50, 200 y 500 kilómetros a salares del Triángulo del litio. Elaboración propia. . . . .	42
4.4. Estructura de una cadena de impacto conforme al enfoque del IE5 del IPCC. Visión general del concepto. Extraído de GIZ & EURAC, 2017. . . . .	44
4.5. Estructura de una cadena de impacto conforme al enfoque del IE5 del IPCC. Estructura detallada. Extraído de GIZ & EURAC, 2017. . . . .	44
4.6. Mapa de pendientes (slope) de salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	56
4.7. Mapa de plantas desaladoras en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.	58
4.8. Masas de agua y buffers de 10 km para cada salar para el cálculo de vulnerabilidad de sequía. Elaboración propia. . . . .	59
5.1. Mapa de conflictos socioambientales en el Triángulo del litio. Elaboración propia a partir de Atlas Global de Justicia Ambiental (EJAtlas). . . . .	69
5.2. Mapa de amenaza de precipitaciones extremas para salares de Chile, Argentina y Bolivia. Elaboración propia a partir de mapas de ARClím, SIMARCC y UDAPE. . . . .	71
5.3. Mapa de amenaza de sequía para salares de Chile, Argentina y Bolivia. Elaboración propia a partir de mapas de ARClím, SIMARCC y UDAPE. . . . .	73
5.4. Mapa de exposición de Argentina. Elaboración propia. . . . .	75
5.5. Mapa de exposición de Bolivia. Elaboración propia. . . . .	76
5.6. Mapa de exposición de Chile. Elaboración propia. . . . .	77
5.7. Mapa de vulnerabilidad de precipitaciones extremas para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	80
5.8. Mapa de vulnerabilidad de sequía para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	82
5.9. Mapa de riesgo de precipitaciones extremas para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	84

5.10. Mapa de riesgo de sequía para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	85
5.11. Mapa de riesgo total frente al cambio climático para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia. . . . .	86
6.1. Gráfico Índice potencial geológico vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	88
6.2. Gráfico Índice de gobernanza vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	90
6.3. Gráfico Índice de gobernanza vs. Estado salar (con el índice de gobernanza de Chile modificado al valor de Bolivia). Elaboración propia. . . . .	90
6.4. Gráfico Índice socioambiental vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	91
6.5. Gráfico Índice cambio climático vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	93
6.6. Gráfico Índice de potencial de desarrollo vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	93
6.7. Gráfico Índice de potencial de desarrollo (con la gobernanza para Chile modificada) vs. Estado salar. Elaboración propia. . . . .	94

# Capítulo 1

## Introducción

Actualmente, el desarrollo económico y de nuevas tecnologías está creciendo a un ritmo muy acelerado impulsado por la constante búsqueda de herramientas que faciliten y mejoren la calidad de vida de las personas. Debido al contexto mundial de cambio climático se ha hecho indispensable promover aquellas industrias y fuentes energéticas comprometidas con el cuidado del medio ambiente y las comunidades, razón por la cual se ha visto impulsada la transición energética como medida de mitigación frente a esta problemática (Sánchez & Reyes, 2015).

El avance de las tecnologías energéticas bajas en carbono ha provocado un alza en la demanda de metales de transición energética, tales como el cobre, cobalto, estaño, níquel y litio (World Bank Group, 2017). Este último juega un papel indispensable en el óptimo almacenamiento de energía eléctrica, la cual es una de las formas de energía más utilizadas a nivel global (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2022), por consiguiente, resulta de gran importancia reconocer las ventajas del litio dentro de la industria metálica, su origen, usos y aplicaciones.

El litio corresponde a un elemento químico de símbolo Li y número atómico 3. En la tabla periódica se encuentra en el grupo de los elementos alcalinos. En su forma pura, es un metal de color blanco plata, blando, reactivo y el más ligero entre todos los demás metales, siendo su densidad la mitad de la del agua. Los principales recursos y reservas de litio en el mundo se pueden encontrar en tres grupos de depósitos (Bowell et al., 2020):

1. Depósitos de pegmatitas: la pegmatita es una roca ígnea intrusiva que se forma generalmente en la etapa final de la cristalización de un magma y se caracteriza por presentar cristales minerales de un tamaño mayor a un centímetro. Los depósitos de pegmatitas son fuentes importantes de Li y de otros metales raros con potencial económico, como el estaño, tántalo, berilio, rubidio y cesio. El origen de estas pegmatitas ricas en Li puede venir de la fusión de rocas sedimentarias ricas en litio o de la diferenciación de granitos con bajo contenido de calcio (Bowell et al., 2020).
2. Depósitos de arcilla volcánica: depósitos de acumulaciones geoquímicamente anómalas de Li asociados con depósitos de arcilla que tienen una relación genética y/o espacial con las riolitas (Bowell, 2020). El litio se puede encontrar dentro del mineral conocido

como hectorita, como un ion absorbido en minerales de arcilla o en depósitos de jadarita (Bowell et al., 2020).

3. Depósitos de salmuera: la salmuera corresponde a una solución con sales disueltas totales en concentraciones superiores a las del agua de mar (3,5 %). En las salmueras de litio la salinidad oscila entre 1,7 y 24 veces la salinidad del agua, por lo que son definidas típicamente como hipersalinas. En estas, los iones de litio están disueltos junto con iones de potasio, boro y sulfato.

Este tipo de depósitos son los preferidos para la extracción de litio, ya que la exploración y el desarrollo de esta actividad son mucho más favorables desde el punto de vista ambiental, logístico y de costos que con otros depósitos (Bowell et al., 2020).

Una vez realizada la extracción de este metal a partir de los depósitos anteriormente mencionados, el litio es utilizado para cumplir diferentes funciones. Los principales usos del litio metálico, carbonato de litio, hidróxido de litio, bromuro de litio y otros derivados más complejos son (Ebensperger et al., 2005):

- Vidrios cerámicos destinados a resistir cambios extremos de temperatura.
- Reducir los puntos de fusión en diferentes procesos.
- Catalizador en la producción de caucho sintético, productos farmacéuticos y plásticos.
- Agente reductor en la síntesis de diferentes compuestos orgánicos.
- Producción de baterías primarias y secundarias.
- Lubricantes y grasas utilizadas para trabajar en condiciones de extrema temperatura y constante cambio.
- Sistemas de aire acondicionado.

Todas las aplicaciones anteriormente mencionadas han tenido un impacto importante en el posicionamiento del litio en el mercado, sin embargo, la principal razón del incremento en la demanda de litio a nivel mundial se debe a su uso en baterías con el fin de impulsar el mercado de los vehículos eléctricos de batería (BEV), vehículos eléctricos híbridos (HEV) y vehículos eléctricos híbridos plug-in (PHEV) (Kawamoto & Tamaki, 2011).

Se espera que la demanda de litio siga aumentando aceleradamente (Kawamoto & Tamaki, 2011), debido al crecimiento del mercado existente y al desarrollo de nuevas tecnologías, como la generación de energía de fusión (Ebensperger et al., 2005), por lo que es necesario posicionar a este elemento como un metal estratégico y determinar su disponibilidad en un mediano y largo plazo.

# Capítulo 2

## Antecedentes

### 2.1. Factores determinantes para el desarrollo de la industria del litio

Según la literatura, existe una gran cantidad de factores que actualmente están limitando o controlando la industria de la minería, en específico, la minería de los metales de transición energética. Las presiones ambientales, sociales y de gobernanza deben figurar en la planificación de escenarios futuros sobre la transición a un futuro bajo en carbono. A medida que avanzan las tecnologías energéticas bajas en carbono, los mercados están impulsando la demanda de estos metales, tal como es el caso del litio. (Lèbre, 2020).

Diversos estudios, entre ellos Jara (2017), Grosjean (2012), Lee (2020), Ebensperger (2005), Seefeldt (2020), Agusdinata (2018), Göbel (2013), Kaunda (2020) y Lèbre (2020), han identificado una serie de factores que inciden en esta industria. Algunos de estos factores son el potencial geológico, el marco legal y regulatorio de cada país y los conflictos socioambientales provocados por la minería.

Por otro lado, una porción menor de la literatura ha identificado al cambio climático como un factor que debería ser más investigado y considerado para el estudio del desarrollo de los proyectos mineros de litio y otros minerales explotados. Dentro de los principales estudios sobre el impacto climático en la minería se encuentran: Damingos (2011), Del Río (2022), Pearce (2010), Loechel (2013), Martus (2018), Odell (2018), Sun (2020), entre otros.

#### 2.1.1. Potencial geológico

El potencial geológico de litio en Sudamérica proviene principalmente de depósitos de salmuera de litio los cuales se encuentran en cuencas cerradas geológicamente recientes que contienen evaporitas lacustres que fueron producidas por altas tasas de evaporación en relación con la precipitación.

Las cuencas de evaporitas lacustres que contienen litio se encuentran principalmente en la meseta del Altiplano-Puna. Esta es la meseta más alta del mundo asociada a un abundante magmatismo de arco, solo superada por el Tíbet en altura y extensión. Comprende un área de unos 400.000 km<sup>2</sup>, incluyendo el noroeste de Argentina, el oeste de Bolivia y el norte de Chile (Ericksen & Salas, 1987). Las depresiones locales en esta región, que albergan los salares, han sufrido un rápido hundimiento seguido de un abrupto levantamiento y exhumación.

La meseta se compone de dos partes: el Altiplano de Bolivia y la Puna del noroeste de Argentina y partes adyacentes de Chile. Estas áreas difieren en topografía, magmatismo y estructura litosférica (Allmendinger et al., 1997).

El Altiplano de los Andes Centrales se extiende 1800 km a lo largo de la columna vertebral de la cordillera, desde el sur de Perú hasta el norte de Argentina, y varía entre 350 y 400 km de ancho. Por otro lado, la Puna abarca la parte central de los Andes en el norte de Argentina y el norte de Chile entre las latitudes 22°S y 27°S. Es un altiplano de orientación NNE de unos 600 km de longitud y con una superficie de 78.000 km<sup>2</sup>. Posee redes de drenaje centrípetas, por lo que su morfología típica consiste en depresiones parcialmente ocupadas por salinas o masas de agua, limitadas por cadenas de basamento de tendencia N-S elevadas a más de 1500 metros sobre ellas. La elevación promedio de los valles es de 3600 metros a 3700 metros sobre el nivel del mar, aunque algunos alcanzan 4000 msnm. La columna estratigráfica de la Puna incluye unidades del Precámbrico, Ordovídico, Silúrico-Devónico, Carbonífero, Pérmico, Jurásico, Cretácico-Eoceno, Eoceno Plioceno y Cuaternario. Las extensas llanuras de los valles endorreicos de la Puna albergan depósitos fluviales y evaporitas cuaternarias (Gorustovich et al., 2011). La Puna tiene una elevación promedio de casi un kilómetro más alta que el Altiplano, lo que se ha atribuido a un mayor adelgazamiento de la litosfera debajo de la Puna (Whitman et al 1996).

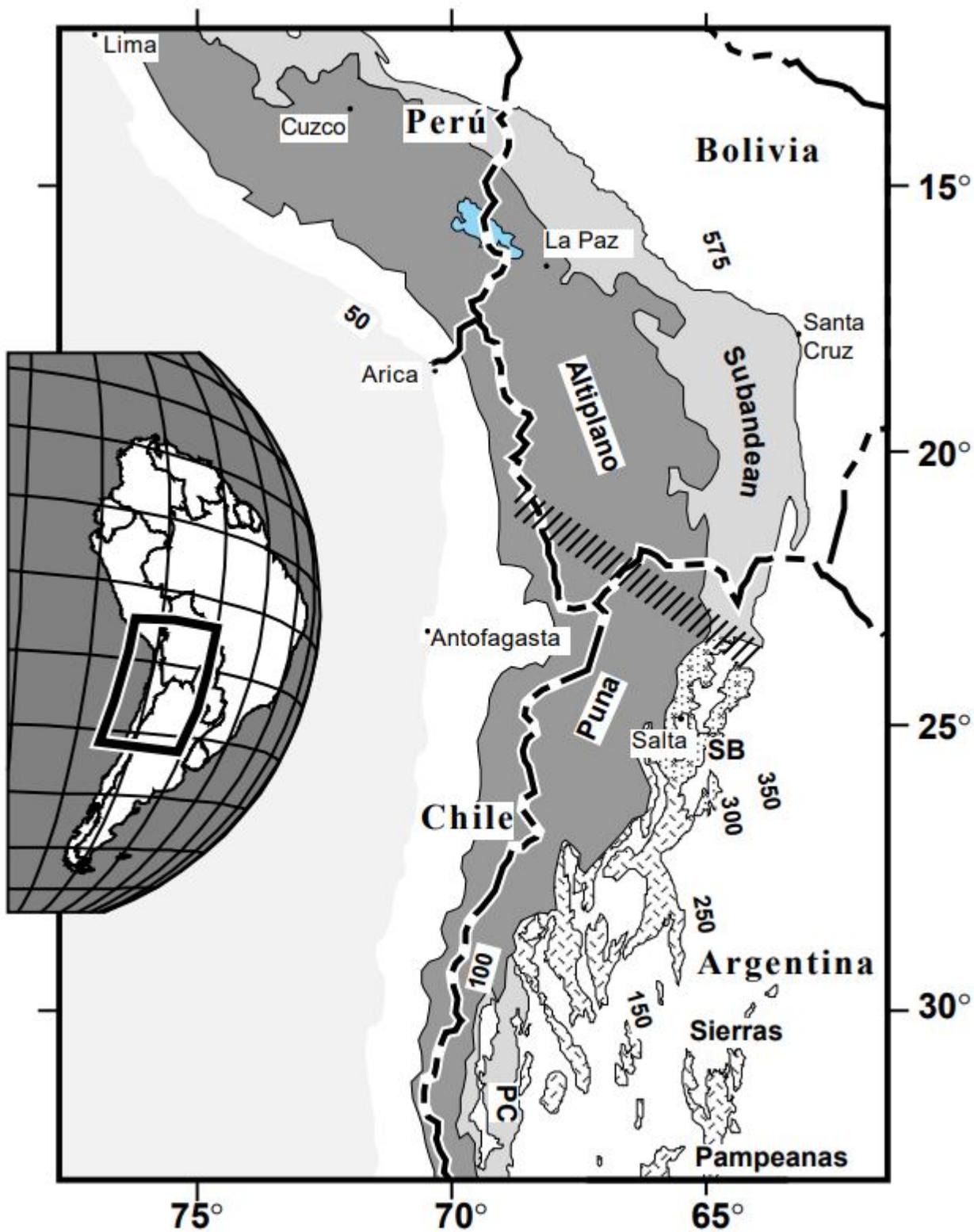


Figura 2.1: Mapa de ubicación que muestra la extensión del altiplano de los Andes Centrales y la Puna. Extraído de Allmendinger et al., 1997.

## Principales depósitos de litio

Los principales depósitos de litio se encuentran en América del Sur en el llamado “Triángulo del litio” (Figura 2.2). Esta región es actualmente el destino de numerosas inversiones internacionales y simultáneamente genera importantes expectativas para la población local. (Dorn & Ruiz, 2020).

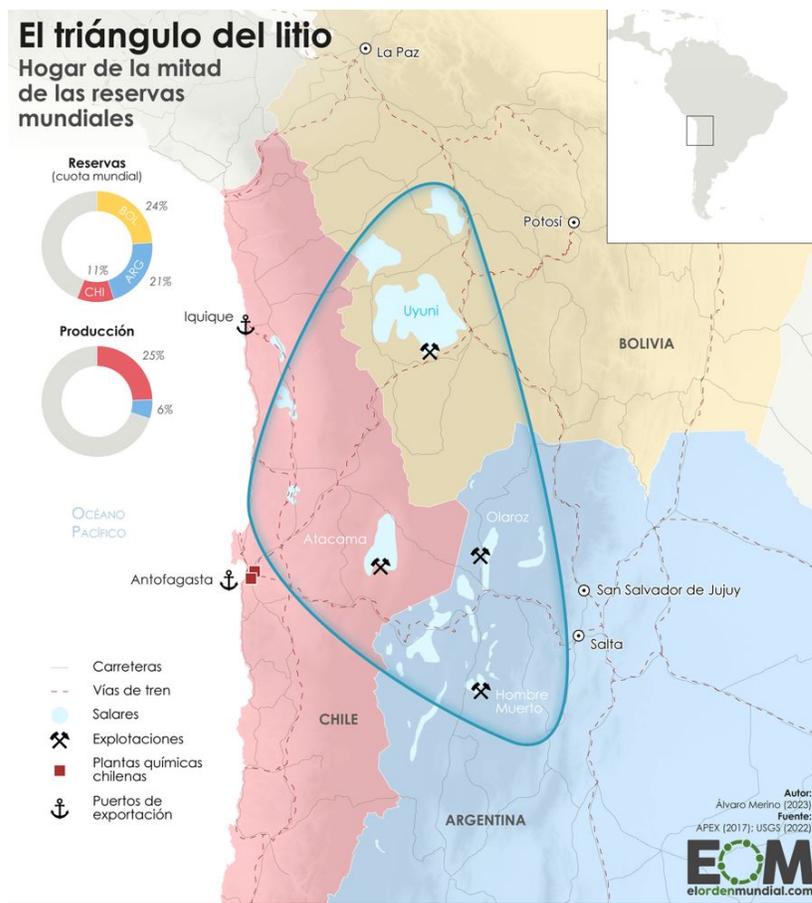


Figura 2.2: Triángulo del litio. Extraído de Merino, 2023.

Para poder comprender la disponibilidad del litio actual y futura, se requiere comprender la clasificación de este metal en los términos “recursos” y “reservas”, los cuales han ganado un amplio uso y aceptación en la industria. Si bien existen pequeñas variaciones en las definiciones y significados de estos términos, existe cierto consenso en lo que cada uno representa. Un recurso es una concentración de material sólido, líquido o gaseoso que ocurre naturalmente en o sobre la corteza terrestre en tal forma y cantidad que la extracción económica de un producto de la concentración es actualmente o potencialmente factible (USGS, 2009), mientras que las reservas corresponden a la parte económicamente recuperable de un recurso mineral demostrada por al menos un estudio preliminar de factibilidad. Este estudio debe incluir información adecuada sobre factores relevantes que demuestren, al momento de informar, que la extracción económica está justificada (CIM, 2014).

Los recursos y reservas a nivel mundial se presentan en los siguiente gráficos de torta (Figura 2.3 y Figura 2.4) basado en la información disponible en la USGS.

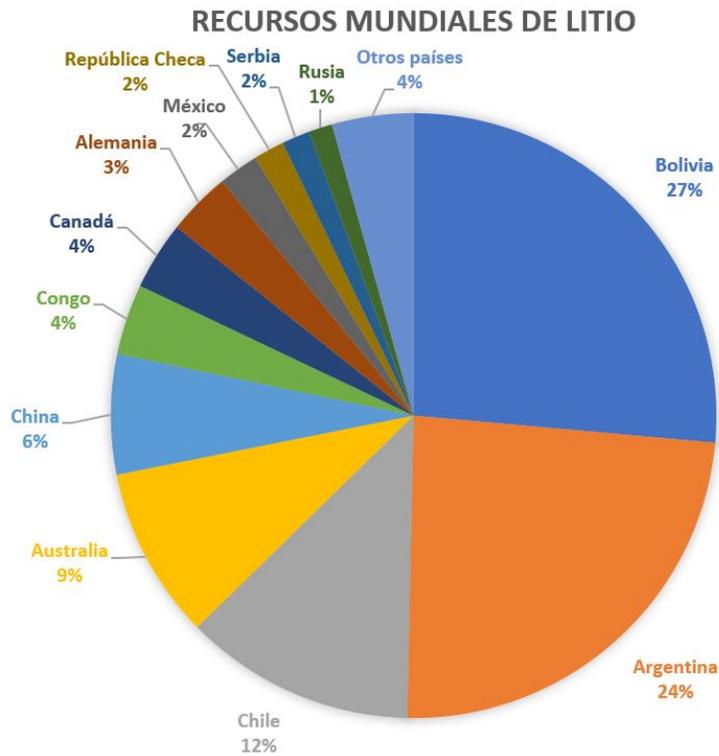


Figura 2.3: Recursos mundiales de litio. Elaboración propia a partir de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero 2022.

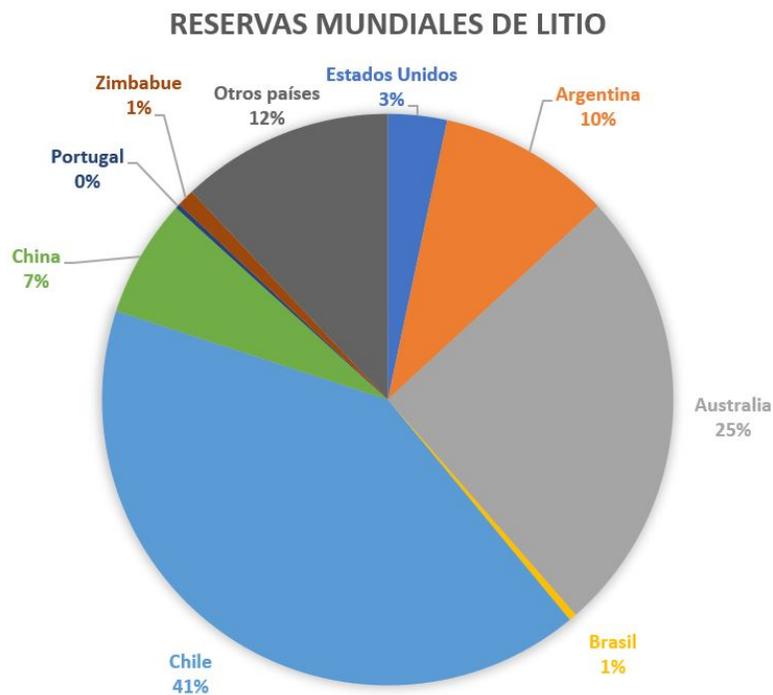


Figura 2.4: Reservas mundiales de litio. Elaboración propia a partir de U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Enero 2022.

Como se puede observar, los países con mayor cantidad de recursos a nivel mundial corresponden a Bolivia (27 %), Argentina (24 %), Chile (12 %) y Australia (9 %), por lo cual es relevante profundizar los estudios en el conocido “Triángulo del litio”, compuesto por Chile, Argentina y Bolivia, puesto que alberga el 63 % de los recursos de este metal.

En cuanto a las reservas, se destaca Chile, Australia y Argentina, con un 41 %, 25 % y 10 % respectivamente de las reservas de litio a nivel mundial.

Es importante mencionar que, aunque Bolivia es el país con mayor cantidad de recursos de litio, no figura entre los países con mayor cantidad de reservas de este metal, según la USGS. Esto se debe a que el proceso de conversión de recursos en reservas incluye la proyección de las operaciones actuales y la de los proyectos con nivel de ingenierías de prefactibilidad y de factibilidad de cada uno de los escenarios productivos divisionales (Codelco, 2017), lo cual aún no ocurre en este país.

### **Chile:**

El norte de Chile se caracteriza por una sucesión de cordilleras y cuencas con tendencia norte-sur ocupadas por numerosos lagos salinos y costras de sal, denominados colectivamente salares. Estos salares constituyen uno de los complejos de evaporitas más importantes del mundo que contienen porciones significativas de los recursos reconocidos de litio (Ericksen & Salas, 1989; Cabello, 2010).

Al menos 59 salares (alrededor de 5211 km cuadrados de superficie), lagos y lagunas salinas (alrededor de 222 km cuadrados), que varían en área desde unos pocos km cuadrados hasta aproximadamente 3000 km cuadrados, se encuentran en cuencas cerradas individuales dentro de un área de 53000 km cuadrados de superficie de cuencas con drenaje interno. Este cinturón prospectivo corre de N-S a lo largo de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama (entre 18° a 27° de latitud sur) en el norte de Chile (Cabello, 2017). Entre los principales salares andinos y pre-andinos se encuentran el salar de Atacama, salar de Pedernales, salar de Punta Negra, salar de Maricunga, salar de Surire, entre otros (Figura 2.5)

Desde un punto de vista geomorfológico, esta región se caracteriza por un gran número de cuencas endorreicas, muchas de ellas con un marcado control tectónico. Estos sistemas de cuencas son importantes niveles base locales para los drenajes de la divisoria del Pacífico. Un clima árido persistió en esta región durante la mayor parte del Mioceno y Cuaternario. Las cuencas en las que se encuentran los salares y lagos salinos se formaron por fallas y erupciones volcánicas controladas por una combinación de factores geológicos, morfológicos, hidrológicos y climáticos (Munk et al, 2016).

Profundizando en los salares chilenos más relevantes en cuanto a la industria del litio actualmente, se tiene el Salar de Atacama y el Salar de Maricunga. El Salar de Atacama alberga aproximadamente el 60 % de la base de reservas de litio del mundo, y es el productor de litio de salmuera más grande y de más alto grado en el mundo (USGS, 2020). Tiene la concentración más alta conocida de litio, con un promedio de 0,14 % (o 1400 ppm) de litio equivalente a alrededor de 1680 mg/l debido a su densidad de 1,2 g/cc, y es el mayor productor mundial de carbonato de litio. En 2019, de las operaciones de Sociedad Química y Minera (SQM) y Albemarle se produjeron en total 18.000 toneladas de litio metálico, alrededor del 23 % del total mundial de 77.000 toneladas de litio, excluyendo la producción de EE. UU. (USGS, 2020).

# Mapa de salares andinos y pre-andinos en el Norte de Chile

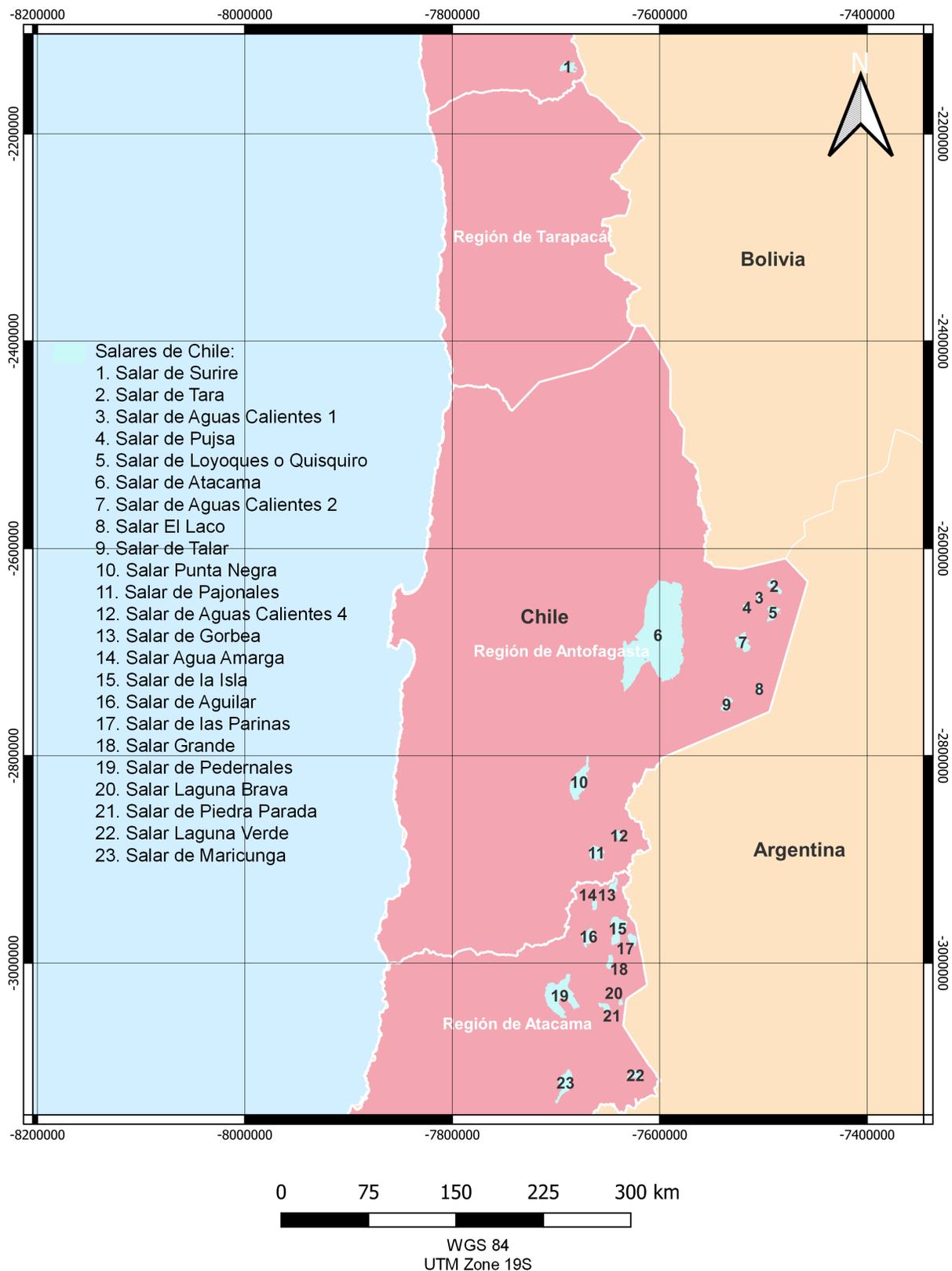


Figura 2.5: Principales salares andinos y preandinos de Chile. Modificado de Cabello, 2022.

La salmuera que contiene litio se aloja en la parte superior de una capa de sal conocida como núcleo de sal que ocupa un área de 1400 km<sup>2</sup> en la parte sur del salar (Lowenstein & Risacher, 2009). La parte superior de la capa de sal tiene una porosidad que disminuye desde un 30 % cerca de la superficie hasta casi cero a profundidades de unos 35 metros (Garrett, 2004). La salmuera que llena esta porosidad por debajo de las profundidades de 50 a 70 cm tiene concentraciones de litio inusualmente altas de varios miles de partes por millón (ppm) que muestran una zonificación regional sistemática. Los valores más altos de litio, de más de 4000 ppm, se encuentran en un área de 7 km<sup>2</sup> en la parte más al sur de la cuenca (Figura 2.6).

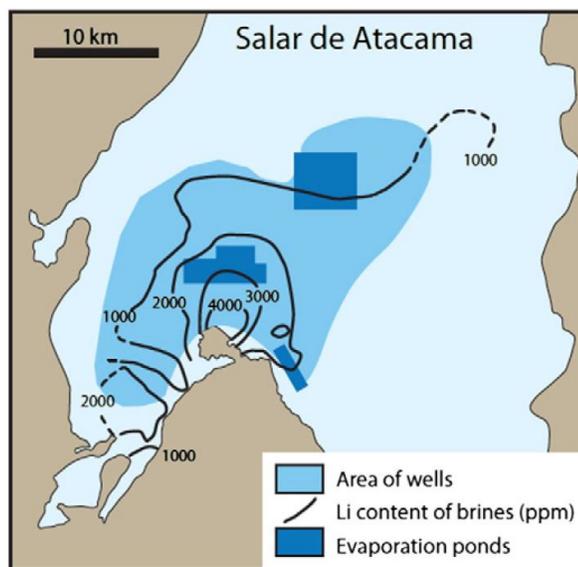


Figura 2.6: Mapa de la parte sur del Salar de Atacama que muestra la variación en el contenido de litio (ppm Li) en salmueras cercanas a la superficie, pozos de exploración y producción e instalaciones de procesamiento. Extraído de Kesler, 2012.

El segundo depósito de salmuera de litio más importante de Chile, el Salar de Maricunga, fue objeto de un estudio de factibilidad (Worley Parsons, 2019) para un proyecto de carbonato de litio, que reportó reservas de 389.000 t de litio. Al considerar la información relacionada con las dos operaciones en el Salar de Atacama más una evaluación reciente en el Salar de Maricunga, se obtiene una reserva total estimada de 10.879.000 t de litio. Esta cifra corresponde a alrededor del 64 % de las reservas mundiales (17.000.000 t Li) utilizando las estadísticas publicadas más recientemente (USGS, 2020).

## Argentina:

Con más de 870.000 hectáreas disponibles para explotación, según datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), las reservas nacionales de litio se concentran en la Puna de Atacama del noroeste argentino, específicamente en tres provincias (Figura 2.7): Catamarca (Salar de Hombre Muerto, Salar de Antofalla), Salta (Salar del Rincón) y Jujuy (Salar de Olaroz, Salar de Caucharí).

La Puna constituye la terminación austral de la alta plataforma de los Andes Centrales, conocida como Altiplano. El ambiente puneño se caracteriza por ser una amplia altiplanicie surcada por numerosos cordones montañosos de alturas variables que encierran y delimitan entre sí extensas depresiones, que suelen conformar áreas de escurrimiento centrípeto, situadas a considerables alturas ya que la gran mayoría de los bordes de las salinas y salares se encuentran a una cota media de 3.800 metros sobre el nivel del mar (García et al., 2011).

En cuanto a la geología, la zona se caracteriza por una tectónica de horst y graben con la formación de un sistema de cuencas endorreicas donde los depocentros originan cuencas sedimentarias propicias para la acumulación de sedimentos clásticos y evaporíticos (Alonso & Gutiérrez, 1986).

Al oriente de la Puna Argentina es posible encontrar salares húmedos, tales como Olaroz, Cauchari, Pozuelos, Centenario, Ratones y Hombre Muerto, mientras que hacia el occidente se encuentra los salares secos Jama, Rincón, Antofalla, Río Grande, entre otros (García, 2013).

En el Salar de Hombre Muerto en el noroeste de Argentina, la perforación profunda indica la presencia de sedimentos que indican un registro lacustre de 80 k-años (Lowenstein et al. al., 1998; Vivante y Alonso, 2006). Hombre Muerto consta de dos subcuencas. En la subcuenca occidental, que es el área de producción actual, los pozos perforados a profundidades de 1 metro contenían salmueras que oscilan entre 220 y 1000 ppm de Li y un promedio de 520 ppm con muy bajo Mg, lo que confirma la presencia de un acuífero de salmuera de litio poco profundo similar al de Atacama (Garrett, 2004). Las evaporitas de halita se extienden a profundidades mucho mayores en la subcuenca occidental, pero falta información publicada sobre las salmueras intersticiales que puedan contener (Kesler, 2012). En la subcuenca oriental, conocida como Sal de Vida, las salmueras bajas en Mg parecen estar presentes en niveles pobremente definidos, pero considerablemente más profundo (Kesler, 2012).

# Mapa de salares en Argentina



Figura 2.7: Principales salares de Argentina. Elaboración propia.

## Bolivia

Los yacimientos de litio boliviano más grandes se encuentran en el Salar de Uyuni (Figura 2.8), perteneciente al departamento de Potosí. El salar, situado a una altura de 3.670 m, es uno de los más grandes del mundo y su costra de sal cubre una superficie de 10.000 km<sup>2</sup> (180 km de largo y 80 km de ancho) (Ströbele-Gregor, 2013). Aunque el potencial geológico es considerable, la explotación no está libre de dificultades: los costos de extracción hacen que la producción de litio en Bolivia sea más cara que en Chile y Argentina porque, en el salar de Uyuni, está mezclado con otros varios minerales, especialmente con potasio, boro y magnesio (Ströbele-Gregor, 2013). La transformación a clorato requiere, además, el desarrollo de una nueva tecnología de evaporación, ya que, en esta región boliviana, en contraste con los dos países vecinos mencionados, hay una temporada de lluvias de tres meses de duración. Por otro lado, también existen yacimientos de litio en el Salar de Coipasa, más pequeño que el Salar de Uyuni, y en otros pequeños salares del Altiplano tales como el Salar de Chiguana, Salar de Empexa, Salar de Chalviri, Salar de Laguani, etc. (Ströbele-Gregor, 2013).

Uyuni y el cercano salar de Coipasa son el remanente de un lago pleistoceno mucho más grande que ocupaba la parte sur del altiplano boliviano. La capa sedimentaria superior en la cuenca de Uyuni está saturada con una salmuera intersticial que emerge a la superficie localmente (Risacher y Fritz, 1991). La salmuera varía del tipo Na-Cl al tipo Mg-Cl y tiene concentraciones de Li que varían sistemáticamente a lo largo del salar, alcanzando varios miles de ppm localmente. A partir de los datos de 40 pozos de perforación espaciados uniformemente en la salmuera, se estimó un recurso de litio de 10,2 Mt Li (Gruber et al., 2011). Estimaciones recientes de recursos para Uyuni de hasta 100 Mt (Comibol, 2000) se basan en los resultados de un pozo más profundo en la parte central del salar que fue perforado a una profundidad de 121 metros, así como un segundo pozo de 220 metros que, según se informa, no logró llegar al fondo de “el depósito” (Comibol, 2000; Risacher y Fritz, 1991).

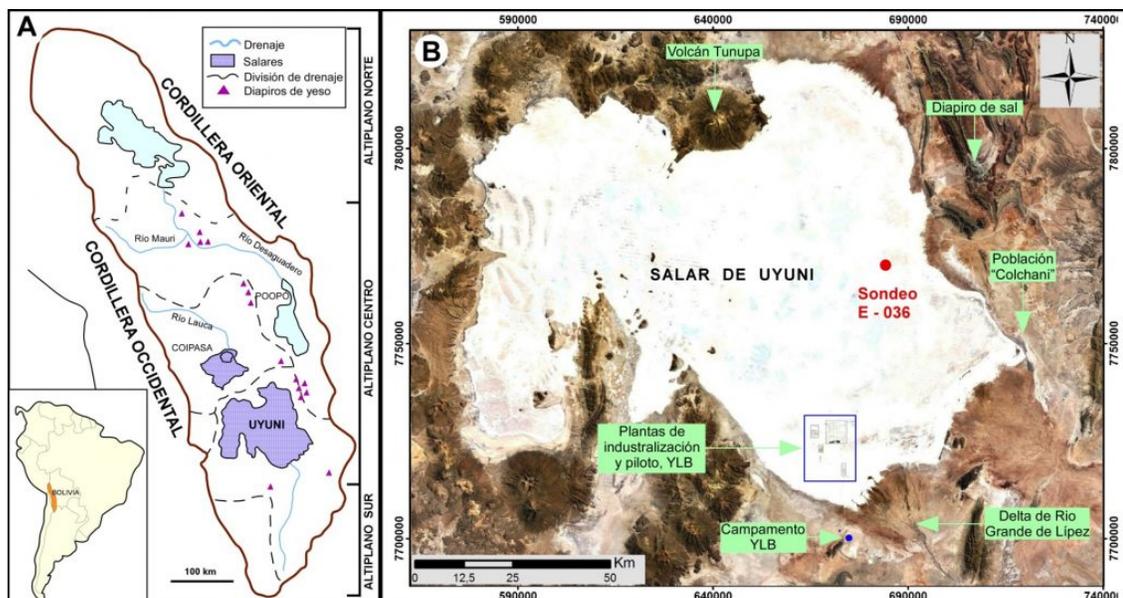


Figura 2.8: Mapa de ubicación del Salar de Uyuni. Extraído de Quezada & Carvajal, 2022.

# Mapa de salares en Bolivia



Figura 2.9: Principales salares de Bolivia. Elaboración propia.

# Salares del Triángulo del litio

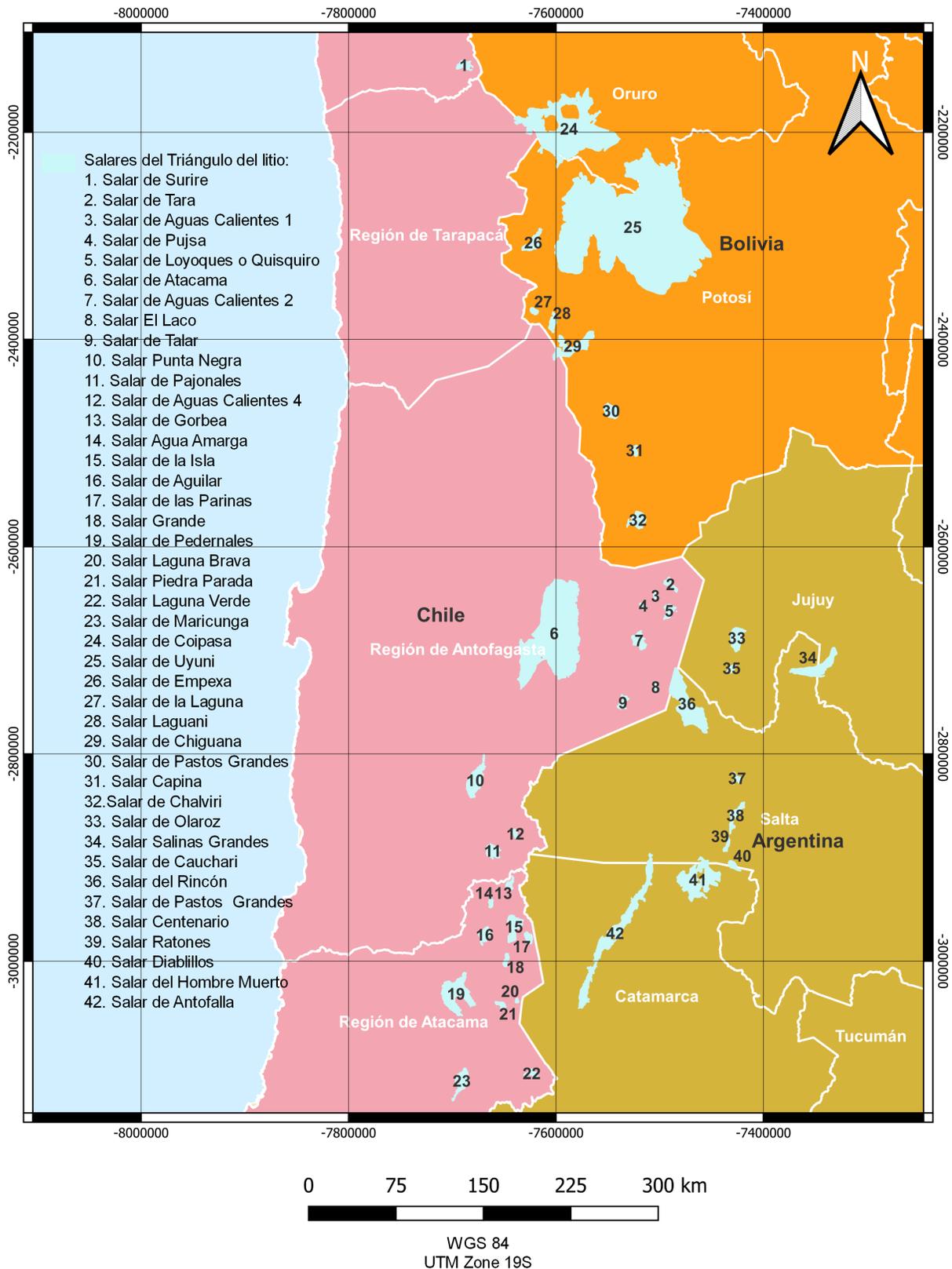


Figura 2.10: Principales salares del Triángulo del litio. Elaboración propia.

## 2.1.2. Marco legal y regulatorio de la minería (Gobernanza)

Si bien el escenario para Argentina, Bolivia y Chile en cuanto a potencial geológico de litio es muy favorable (63 % de los recursos mundiales de litio y un 51 % aproximadamente de las reservas mundiales), durante los últimos años se ha comenzado a estudiar la repercusión de los factores institucionales, tales como la calidad institucional, legislaciones adecuadas, corrupción, sistemas financieros con bajo desarrollo, en el éxito económico que pueden presentar los países ricos en recursos naturales (Yurisch, 2019).

Es una realidad que la riqueza de recursos naturales de un país no asegura un buen manejo de estos ni un crecimiento económico, por lo cual se ha vuelto necesario añadir otras variables a la ecuación. La buena gobernanza de los recursos naturales se ha propuesto como uno de los factores más importantes de considerar para que un país con grandes cantidades de recursos naturales no presente efectos negativos en su desempeño. Es por esto que instituciones como la Comisión Económica para América Latina, y el Caribe (CEPAL), el Instituto de la Gobernanza de los Recursos Naturales (NRGI), el Fondo Monetario Internacional (FMI), el Banco Mundial y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), entre otros, están de acuerdo en que es sumamente necesario implementar políticas que permitan a estos países gestionar sus recursos y beneficios económicos (Yurisch, 2019).

A continuación, se presentan algunos de los desafíos de gobernanza de los recursos naturales para América Latina y el Caribe identificados en la literatura (Altomonte & Sánchez, 2016):

- Construir una estrategia y una política de Estado de largo plazo para asegurar que los sectores extractivos contribuyan al logro de las metas nacionales de diversificación productiva, cambio estructural e inclusión social.
- Institucionalizar mecanismos de ahorro e inversión pública de largo plazo de las rentas provenientes de las industrias extractivas.
- Fortalecer la capacidad pública para prevenir y resolver conflictos sociales y ambientales vinculados al desarrollo de los sectores extractivos.

En pocas palabras, es posible implementar una buena gobernanza mediante el “conjunto de instituciones formales (como marcos constitucionales, leyes, contexto fiscal y regulación sectorial, entre otras), instituciones informales (reglas implícitas en la práctica de uso común) y decisiones políticas soberanas, cuyo accionar conjunto rige el funcionamiento de los sectores extractivo” (CEPAL, 2014). Siendo el litio uno de los recursos naturales que más interés ha despertado en los últimos años, es crucial conocer la gobernanza actual de Argentina, Bolivia y Chile en torno a este elemento y también cómo esta se ha ido desarrollando en el tiempo. Con estos datos, y utilizando una serie de indicadores de gobernanza, es posible poder comparar la gobernanza de estos tres países y sacar posteriormente conclusiones sobre cómo este factor incide en el desarrollo de la industria minera de litio en cada uno de ellos.

A continuación, se presenta una tabla comparativa (Tabla 2.1) en la cual se contrastan las diferentes normativas y características de la gobernanza de cada país con respecto a la minería de litio.

Tabla 2.1: Tabla comparativa de la gobernanza de Argentina, Bolivia y Chile en torno al litio. Elaboración propia a partir de León et al., 2020.

Aspecto de la normativa	Argentina	Bolivia	Chile
El litio como un recurso estratégico	En 2011 en Jujuy, mediante el Decreto-Acuerdo núm. 7592 declara “las reservas minerales que contengan litio como recurso mineral estratégico”.	El litio pasa a tener un carácter estratégico en 2008, mediante el Decreto Supremo núm. 29496 que “declara de prioridad nacional la industrialización del Salar de Uyuni para el desarrollo productivo, económico y social del Departamento de Potosí”.	En 2014 se convocó a la Comisión Nacional del Litio con el objetivo de generar una “visión estratégica” en torno a una política nacional para el litio.
Especificidad de la normativa	Este régimen, a diferencia del boliviano y el chileno, queda encuadrado en la normativa general para la actividad minera en su conjunto.	El régimen de explotación de los recursos evaporíticos tiene un carácter específico para el litio.	El régimen de explotación de los recursos evaporíticos tiene un carácter específico para el litio.
Tipo de Estado	Posee un sistema de gobierno con naturaleza federal, provocando que los diferentes gobiernos provinciales adopten sus propias visiones y estrategias en torno al litio.	Régimen jerárquico bajo el fuerte control político del Estado central, en la figura del Viceministro de Altas Tecnologías Energéticas y la dirección de YLB. Corresponde a un régimen centralizado.	Corresponde a un régimen centralizado. En 1982, se declaró que el litio no era susceptible de concesión minera y que su exploración o explotación puede ejecutarse directamente por el Estado.
Forma en la cual se explota el recurso	En cuanto a la gestión de los recursos naturales, la organización federal se asienta en la Constitución de la Nación Argentina y en el Código de Minería. La primera determina que el dominio originario de dichos recursos pertenece a las provincias, y el segundo les concede competencias para otorgar derechos de concesión a privados.	El marco normativo establece un control estatal absoluto sobre la propiedad, el acceso a la explotación y los procesos de extracción y producción de carbonato de litio. Se habilita a las empresas privadas a participar en asociación con el Estado, en carácter minoritario, en las fases de producción de baterías y materiales catódicos.	Hay rasgos de gobernanza jerárquica bajo el control de CORFO, sin embargo, el Estado ha cedido a perder una cuota de poder. El Gobierno de Chile anunció la creación de la Empresa Nacional del Litio, que permitirá aumentar las riquezas para el país a través de un esfuerzo liderado por el Estado encabezado por Codelco y Enami, pero involucrando al sector privado en todo el proceso productivo. Para desarrollar y poner en marcha esta Empresa Nacional se hará necesario incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor, siempre en armonía con las comunidades.
Enfoque de la normativa	La normativa argentina refleja el espíritu de las reformas estructurales y se centra en el establecimiento de condiciones consideradas propicias para atraer inversiones a largo plazo y para desarrollar la actividad privada en el sector. Argentina es el único país del triángulo del litio donde decenas de empresas privadas realizan actividades de exploración en los salares, con perspectivas de inversión.	El país cuenta con la Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, la cual determina los lineamientos para un desarrollo integral de la cadena de valor, incluidas las fases de extracción, industrialización y comercialización del litio, los materiales catódicos y de las baterías de ion de litio.	Chile cuenta con una estrategia de incentivo al valor agregado local, busca establecer modalidades de exploración y explotación, flujos máximos de extracción de salmueras y la realización de programas anuales máximos de comercialización de litio. Se busca que el Estado tenga una mayor capacidad para apropiarse de la renta de explotación del litio a través de regalías.
Régimen tributario	Mediante la simulación de un proyecto de explotación de litio sometido al régimen tributario vigente en cada país, se concluyó que el porcentaje de apropiación de rentas por parte del Estado de Argentina sería de un 44,3%. Es el país con más espacio para elevar su recaudación. Los precios de las exportaciones son significativamente inferiores a los precios de mercado reportados en cada año, observándose una diferencia promedio de 58%.	El porcentaje de apropiación de rentas por parte del Estado de Bolivia sería de un 63,7%. La discusión de la carga tributaria del litio es menos relevante en la medida que continúe la estrategia cien por ciento estatal. Por otro lado, si bien se han hecho algunos esfuerzos, principalmente Bolivia requiere una mayor transparencia.	El porcentaje de apropiación de rentas por parte del Estado de Chile sería de 57,4%. Parte importante de la recaudación proviene de los pagos de arrendamiento de pertenencias mineras negociados por CORFO, por lo que un nuevo proyecto de explotación de litio no necesariamente tendría esas mismas condiciones. Los precios de las exportaciones son significativamente inferiores a los precios de mercado reportados en cada año, observándose una diferencia promedio de 21% (Jorratt, 2022).

Otro aspecto que diferencia la gobernanza y las normativas dentro de cada país con respecto al litio son las instituciones reguladoras, empresas estatales y empresas privadas que participan en torno al mercado del litio. Entre estas instituciones se pueden encontrar empresas con concesiones de explotación de litio, organismos del Estado encargados de regular situaciones y otorgar permisos, ministerios, etc., las cuales moldean las normativas y la gobernanza del litio para cada uno de los países estudiados. En el Anexo se profundiza sobre las principales empresas e instituciones relacionadas al litio en cada país.

Finalmente, a pesar de que cada país tiene sus propias leyes, entidades reguladoras y empresas asociadas, un factor común entre Argentina, Bolivia y Chile es que todos presentan una falta de dinamismo a la hora de responder a la creciente demanda de litio en la actualidad, lo cual se ve reflejado en lo mucho que demora poner en marcha la explotación de salares (León et al., 2020). El tiempo destinado a realizar las actividades de exploración, construcción de pozos, plantas de procesamiento, pruebas piloto, etc., puede llegar a tardar 10 años en el caso de explotaciones a partir de salmueras (León et al., 2020).

### 2.1.3. Aspectos socioambientales

El aumento de las tasas de extracción de metales de transición energética, como el litio, aumenta el estrés que se ejerce sobre las personas y el medio ambiente en los lugares de extracción. Algunos de los factores socioambientales que se pueden ver comprometidos con el desarrollo de la industria del litio son los siguientes:

1. **Disponibilidad y calidad de agua:** dentro de los impactos de la extracción de aguas para la minería está la disminución de la napa freática y del volumen de agua almacenado en los acuíferos y la degradación y/o desecación de bofedales y de lagunas altoandinas. Algunas estimaciones marcan el consumo de agua por tecnología evaporativa en aproximadamente 500.000 galones por tonelada de litio extraído. Según algunos informes, alrededor del 95 % del agua de salmuera extraída se pierde permanentemente por evaporación. Según el Comité de Minería No Metálica del Gobierno de Chile, la cantidad de agua extraída del Salar de Atacama aumentó un 21 % entre 2000 y 2015. Como resultado, los niveles de agua subterránea local en la región se han agotado hasta 1 metro por año en algunas áreas. En lugares áridos como el Triángulo del Litio, el agua subterránea es crítica para el consumo humano, el ganado, el riego de cultivos y las especies de plantas nativas, y por lo tanto, el riesgo de contaminación es una preocupación legítima (Kaunda et al., 2020).



Figura 2.11: Comunidades indígenas de Jujuy rechazando la extracción de litio. Imagen de Richard Bauer. Extraído de Diálogo Chino, 2019.

2. **Impactos en la vida silvestre y el ecosistema:** Los ecosistemas en la región del Triángulo del Litio tienen precipitaciones extremadamente bajas, con un promedio de 100–200 mm al año y tasas de evaporación de 1300–1700 mm al año. La escorrentía de las montañas es la única fuente de agua, y los medios de subsistencia de las comunidades locales dependen de los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales resultantes. La región tiene una rica avifauna (por ejemplo, tres de las seis especies de flamencos del mundo) y una cubierta vegetal (pastizales y marismas). En este punto crítico de biodiversidad global, las especies de plantas son particularmente sensibles a la disponibilidad de agua, y un ligero cambio en el balance de agua puede afectar en gran medida la cubierta vegetal y la diversidad de plantas (Christmann et al., 2015).



Figura 2.12: Flamencos altoandinos en humedal del altiplano.  
Extraído de Radio Duna, 2022.

- 3. Conflictos con las comunidades:** las personas que viven o trabajan en las inmediaciones de un proyecto minero son los principales interesados y portadores del riesgo social. Las personas que estuvieron presentes antes del desarrollo de la industria minera han tenido que abrirse paso y adaptarse a los cambios sociales, económicos y ambientales inducidos por la minería desde la fase de exploración hasta la fase de operación y el cierre y poscierre. El desplazamiento y reasentamiento de poblaciones son ejemplos de prácticas y fenómenos sociales de complejas consecuencias (Lèbre, 2020). La minería del litio ha generado impactos socioeconómicos y culturales sobre los pobladores de las diferentes regiones dentro del triángulo del litio, cuya actividad principal es la ganadería de camélidos basada en los bofedales y cuya cultura guarda estrecha relación con el agua (Ströbele-Gregor, 2012). Esto junto con la desaparición o degradación de las fuentes de agua usadas para consumo humano (pozos y manantiales) situados cerca de los puntos de extracción, ha provocado importantes conflictos entre las comunidades y las empresas encargadas de la exploración y explotación del litio (Ströbele-Gregor, 2012).



Figura 2.13: Comunidades originarias de Jujuy movilizadas en defensa del territorio y el acceso al agua. Extraído de Lombardi, 2019.

4. **Usos de suelo:** El acceso restringido a la tierra y la gestión y custodia de la tierra son los principales riesgos que enfrenta la industria minera. Las actividades extractivas están obligadas a tener lugar donde se encuentra el yacimiento y reorganizar los usos de la tierra existentes. Un ejemplo de conflicto debido al uso de suelos se da en la provincia de Jujuy, donde entre 2010 y 2011 se otorgó a las subsidiarias de las empresas transnacionales Lithium Americas y Orocobre concesiones de exploración de litio en una superficie de más de 100.000 Ha en el Salar de Olaróz-Cauchari. Las superficies concesionadas se solapan en parte con las tierras comunitarias entregadas por la misma provincia entre los años 2003 y 2008 a diferentes comunidades aborígenes atacameñas que viven en los alrededores del salar y con la Reserva Provincial Olaróz-Cauchari (de 540.300 Ha) que fue creada en 1981 para la conservación de la vicuña con el salar en su centro (Göbel, 2013).



Figura 2.14: Piscinas de evaporación de litio en Salar de Atacama. Extraído de El mostrador, 2021.

5. **Turismo:** La industria minera siempre tiene efectos negativos sobre el medio ambiente, lo cual aplica para la explotación y el tratamiento del litio (Ströbele-Gregor, 2012). Además de los impactos ambientales directos de la minería, tales como la disminución de la napa freática y del volumen de agua almacenado en los acuíferos, la degradación y/o desecación de bofedales, efectos negativos sobre la fauna, entre otros, el turismo también sufriría impactos indirectos ya que las lagunas altoandinas y la fauna que depende de ellas (como las distintas especies de flamencos) están entre los principales atractivos turísticos de la región del Triángulo del litio. Los manantiales, tanto termales como no termales, también forman parte de estos atractivos, además de ser fuentes naturales de agua para cualquier infraestructura turística (Ströbele-Gregor, 2012).

En base al análisis de los proyectos más avanzados en la producción de litio (SQM en Chile y Orocobre en Argentina) se pudo concluir que la grilla de pozos verticales y su infraestructura asociada (camino, líneas eléctricas, etc.), son las responsables del mayor impacto a los recursos hídricos, a los humedales, al turismo ecológico y a la actividad productiva de las comunidades (Sticco et al., 2021). Aquellas poblaciones que

viven principalmente del comercio, la artesanía y el turismo, se ve afectada por el aumento de los desechos y la contaminación del Salar de Uyuni, lo que a mediano plazo afectará la industria del turismo, para la cual la naturaleza “prístina” de ese particular espacio resulta fundamental (Ströbele-Gregor, 2013).



Figura 2.15: Turismo en el Salar de Uyuni, Bolivia.  
Extraído de Ordoñez, 2018.

## 2.1.4. Cambio climático

La minería es un sector particularmente vulnerable al cambio climático (Arent et al. 2014). Depende inherentemente del entorno natural y la viabilidad a largo plazo de la industria y, por lo tanto, la toma de decisiones estratégicas con respecto a las operaciones mineras está directamente relacionada con la ubicación del recurso que se extraerá debajo de la superficie de la tierra. Como resultado, la industria no es reubicable en caso de que las condiciones ambientales naturales dejen de ser favorables por diversas razones.

El sector minero requiere una serie de condiciones naturales adecuadas que incluyen, entre otras, un clima habitable, acceso a recursos hídricos e infraestructura de apoyo para extraer recursos y procesarlos para uso doméstico y/o internacional en el futuro (Pearce et al. 2009). Existe relativamente poco conocimiento sobre cómo el cambio climático puede afectar las operaciones mineras y el sector extractivo. Si bien se están realizando algunos esfuerzos para reconocer y abordar la sensibilidad de la industria minera a los cambios climáticos, el conocimiento sólido basado en evidencia que explora la gama completa de relaciones causales y vínculos entre los dos sigue siendo escaso y distante. En el pasado reciente, surgieron algunos trabajos de Canadá y Australia, las dos regiones más dependientes de los recursos de la OCDE, que investigaron la influencia de los cambios climáticos en el futuro de la industria minera en estas economías (Ford et al., 2011; Pearce et al., 2011; Loechel et al., 2013; Sharma et al. 2013).

Las condiciones climáticas cambiantes tendrán impactos tanto directos (operativos y basados en el desempeño) como indirectos (aseguramiento de suministros y aumento de los costos de energía) en el sector minero (Sharma et al., 2013). Estos incluyen, pero no se limitan a: impactos relacionados con el agua (sequías, inundaciones, ciclones y tormentas); impactos relacionados con el calor (incendios de matorrales y golpes de calor); y aumento del nivel del mar. Una combinación de estos efectos puede poner en peligro la viabilidad del sector al negarle a la industria, y a su personal, un entorno operativo seguro, tanto espacialmente (los impactos se sienten en las inmediaciones del sitio minero y las áreas aguas abajo) como temporalmente (incluidos los impactos esporádicos, cambios a corto plazo y más permanentes a largo plazo). Subrayando estos riesgos está el hecho de que algunas de las operaciones mineras más grandes del mundo actualmente operan en regiones remotas sensibles al clima (por ejemplo, el desierto de Gobi en Mongolia, Atacama en Chile, Pilbara en Australia Occidental y el norte y el Ártico de Canadá).

## Efectos del cambio climático en las zonas de depósitos de litio en Chile, Argentina y Bolivia

Para comprender los efectos actuales y futuros del cambio climático en el desarrollo de la industria del litio en Chile, Argentina y Bolivia, primero, es necesario conocer los impactos de este fenómeno en los territorios que concentran este metal estratégico.

### Chile:

Como se ha mencionado anteriormente, el depósito de litio más importante de Chile corresponde al Salar de Atacama, ubicado en la Región de Antofagasta. Esta región se ubica en el norte de Chile, entre los 20°56' de latitud sur y desde los 67°00' de longitud oeste hasta el Océano Pacífico. La superficie regional abarca un área de 126.094 Km<sup>2</sup>, destacando su clima árido, escasez hídrica y de vegetación (Flores, 2016).

En cuanto a las precipitaciones, para un futuro cercano, las mayores variaciones se encuentran en la zona central de Chile, entre las regiones de Atacama y Bío-Bío, y en la zona norte hacia la zona de los Andes específicamente en Arica y Parinacota, Tarapacá y en la Región de Antofagasta. Durante el verano, entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo, se pronostica una disminución de las precipitaciones en un 60 %-100 %, mientras que en invierno se pronostica una disminución superior al 40 %.

De acuerdo con el mapa de amenazas elaborado en el proyecto Atlas de Riesgo Climático (ARClím) para el número de días de precipitación muy intensa, la Provincia de Antofagasta es situada como una zona con alta amenaza (Figura 2.16). Esto es calculado comparando los días de precipitación muy intensa futuros (2035-2065) con los históricos (1980-2010).

Otro efecto producto el cambio climático en Chile será el aumento de la temperatura. Para la Región de Antofagasta se prevé un aumento promedio en 2°C en la temperatura máxima, llegando incluso a un aumento en 2.6°C para San Pedro de Atacama. De acuerdo con la plataforma meteorológica Weather Spark, normalmente la temperatura varía entre los 13°C a 25°C y rara vez baja a menos de 10°C o sube más de 27°C. Pero estos valores fueron altamente sobrepasados en agosto del 2019, debido a una ola de calor que elevó los termómetros hasta los 35°C, provocando que incluso se levanten alertas preventivas para cuidar la salud de las personas (Del Río, 2022).

En resumen, dentro de los principales acontecimientos que demuestran los efectos del cambio climático en el norte de Chile, específicamente en la región de Antofagasta, son: lluvias torrenciales, periodos de sequía, olas de calor, frío intenso, y vendavales.

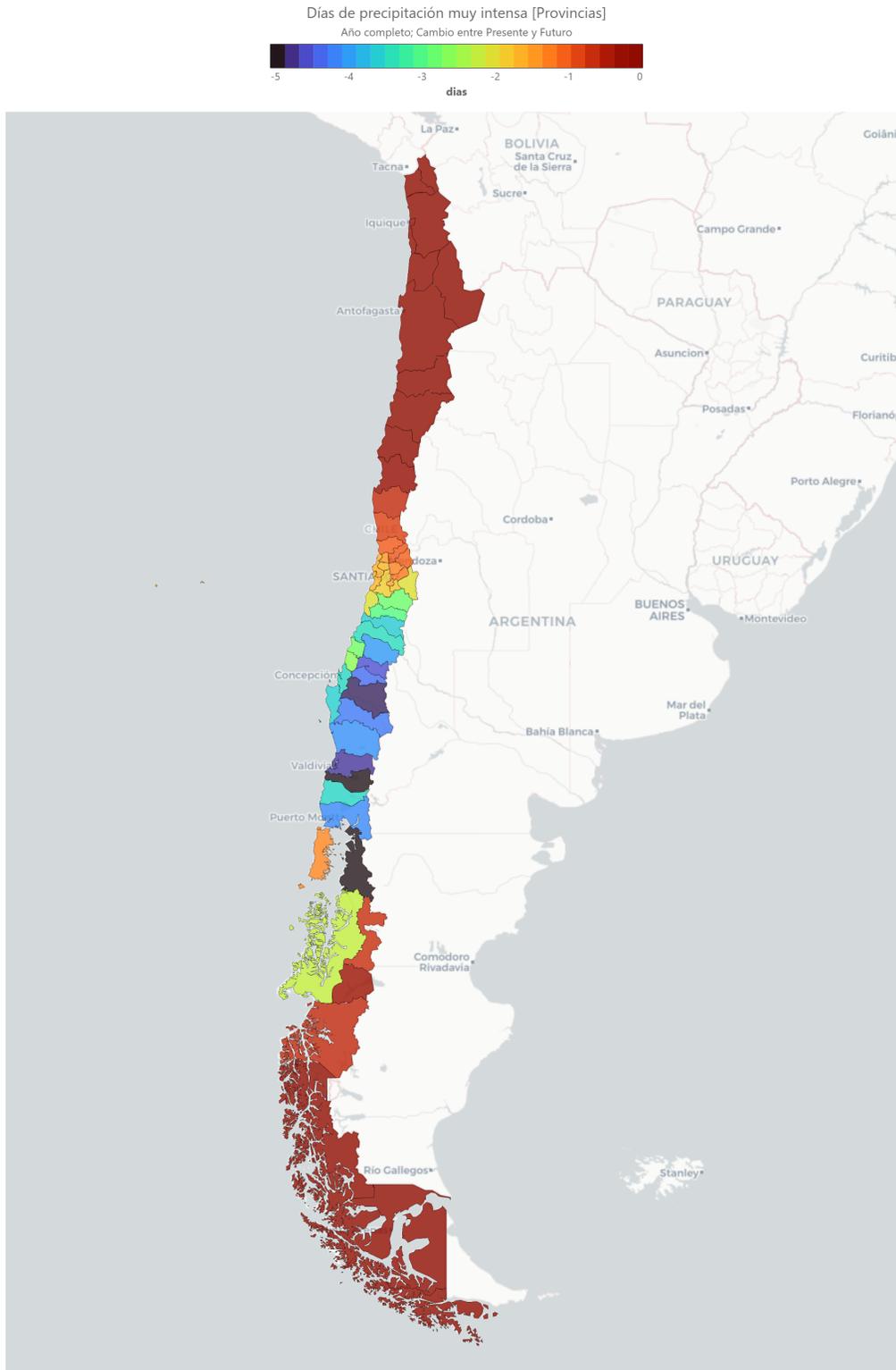


Figura 2.16: Mapa de amenaza de precipitaciones muy intensas en Chile. Extraído de ARClím, 2020.

## **Argentina:**

Como se mencionó anteriormente, las reservas nacionales de litio se encuentran en la Puna de Atacama del noroeste argentino.

En cuanto a la temperatura de la superficie de esta zona, durante el periodo 1901-2012, la temperatura media aumentó alrededor de  $0,5^{\circ}\text{C}$  en la mayor parte de Argentina (IPCC, 2013). Los cambios positivos más fuertes desde 1960 ocurrieron en la temperatura mínima media de verano, aunque en esta temporada las temperaturas máximas medias disminuyeron en su mayoría (Barros et al., 2014). Para todas las estaciones meteorológicas argentinas, las tendencias de las temperaturas extremas desde 1901 hasta 2010 muestran un fuerte calentamiento de la temperatura nocturna, con menos noches frías y más cálidas (Rusticucci & Barrucand, 2004).

El número y la intensidad de las olas de calor definidas como al menos tres días consecutivos por encima de la temperatura del percentil 90 del registro de 1961-1990 aumentó entre 1961 y 2010, con el aumento más fuerte en la intensidad y el número de olas de calor de corta duración (3-5 días) (Barros et al., 2014).

Por otro lado, al norte de Argentina, la mitad o más de la tendencia anual de lluvias ocurrió en los meses de la fase de El Niño, con menor contribución de La Niña y las fases neutras. Las tendencias positivas anuales de precipitación pueden atribuirse en parte a cambios en la frecuencia e intensidad de las fases del ENSO (Barros et al., 2008). La única excepción al aumento regional de la precipitación ocurrió sobre la Cordillera de los Andes entre los  $30$  y los  $42^{\circ}\text{S}$ , donde se pueden inferir tendencias negativas en la precipitación desde principios del siglo pasado a partir de las tendencias en los caudales de los ríos (Barros et al., 2014). Además, en la estrecha franja húmeda cerca de los Andes en el norte de la Patagonia argentina, la precipitación ha disminuido desde al menos mediados del siglo pasado, cuando comenzaron las observaciones meteorológicas. La reducción de las precipitaciones alcanzó entre un  $30\%$  y un  $50\%$  en algunas localidades, siendo similar en porcentaje a la disminución observada en las estaciones chilenas (Vera & Camilloni, 2006).

## **Bolivia:**

Los resultados para los depósitos de litio en Bolivia resultaron similares a los de Chile y Argentina.

Eventos como El Niño y La Niña modifican drásticamente el comportamiento climático en muchas regiones del territorio boliviano. Durante eventos El Niño el Altiplano sufre típicamente una disminución de lluvias en tanto que en regiones bajas se observa un aumento relativo de precipitación (de por sí elevada). Estas anomalías sin embargo no son siempre de la misma intensidad pues dependen además del comportamiento de otros fenómenos de escala regional como son la posición e intensidad de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (SACZ por sus siglas en inglés), del Anticiclón del Pacífico y el Anticiclón del Atlántico (Andersen & Mamani Paco, 2009).

A partir del Special Report on Emissions Scenarios (SRES), se presentan dos escenarios de emisiones. El escenario A2, el escenario más pesimista, contempla una población creciente y un desarrollo económico regionalizado, mientras que el escenario B2, más optimista, contempla un menor crecimiento poblacional y un desarrollo económico moderado. Bajo A2 se espera que la concentración de dióxido de carbono para 2100 sea de unos 850 ppm (partes por millón) mientras que bajo B2 se estima que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera será de unos 600 ppm. Las variables temperatura media, temperatura mínima media, temperatura máxima media y precipitación media a nivel mensual fueron analizadas para el periodo 2071-2100 para los dos escenarios climáticos citados previamente y comparados con el periodo base, 1961-1990. Los resultados obtenidos muestran un incremento de temperatura, tanto media como mínima y máxima, en todas las regiones de Bolivia tanto para el escenario B2 como el escenario A2. Mientras el incremento en temperaturas medias, mínimas y máximas es del orden de 3°C para el escenario B2, ese incremento está entre 4.5°C y 5°C para el escenario A2. Los mayores incrementos de la temperatura media corresponden al sur del Altiplano y el norte de Bolivia para ambos escenarios (Andersen & Mamani Paco, 2009).

La precipitación por otro lado muestra un cuadro más variable. Bajo los dos escenarios estudiados la precipitación promedio disminuye moderadamente en la zona altiplánica y se incrementa casi en el mismo orden en las zonas bajas. Dado que la precipitación promedio es normalmente baja en el Altiplano el descenso de precipitación observado en los resultados del modelo podría llegar a impactar hasta en un 20 % a la precipitación en la región (Andersen & Mamani Paco, 2009).

Otros estudios sugieren que el número de heladas en el altiplano boliviano tenderá a reducirse y que aunque el cambio en precipitación promedio puede ser bajo, la distribución de ésta podría cambiar en el futuro, con un alargamiento de la época seca y un acortamiento e intensificación de la época de lluvias (Andersen & Mamani Paco, 2009).

## Efectos del cambio climático en la minería

Dentro de los impactos del cambio climático en la actividad minera se destaca las complicaciones en las actividades de producción y procesamiento en la mina (y, en última instancia, puede conducir al cierre de la mina, al rediseño de la mina o al cambio tecnológico) debido a la creciente escasez de agua. También se ha identificado que el calentamiento climático conduce al derretimiento del hielo que abre el acceso a depósitos minerales que antes eran inaccesibles y que el derretimiento del permafrost complica el acceso a la mina y a la estabilidad de la infraestructura. El hecho de que la mayor parte de la infraestructura se haya construido sobre la base de la presunción de un clima estable es preocupante, ya que no está adaptada al cambio climático (Odell et al., 2018).

Investigando casos específicos de otros países (Canadá y Grecia), Pearce et al. (2011) determinó que el cambio climático ya está afectando las operaciones mineras, pero que las empresas no están preparadas para adaptarse a los desafíos y, en general, esto no les preocupa. Por su parte, Damingos (2011) realizó una simulación para estimar los costos del cambio climático para el sector minero griego y concluyó que estos podrían llegar a US\$ 800 millones para 2050 debido a los impactos del cambio climático, como la disminución del suministro de agua, la destrucción de equipos en condiciones extremas, los fenómenos meteorológicos y la pérdida de horas de trabajo productivas debido al aumento de los días de mucho calor. Por otro lado, para la minería en Colombia, se ha determinado que dentro de los fenómenos a los que hay que prestar atención en este contexto de cambio climático están: olas de calor, heladas, vendavales, inundaciones, remoción en masa, sequías o déficit de lluvias, abatimiento de niveles freáticos, elevación en el nivel medio del mar y efectos en el comportamiento volumétrico del suelo.

Phillips (2016) por su parte, identificó dos puntos de cómo el cambio climático afecta a la minería. Primero, el cambio climático alterará los procesos hidrogeológicos, con dos tipos de impactos en la minería: inundación de las operaciones costeras en caso de aumento del nivel del mar, y aumento de la escasez de agua en las regiones mineras, lo que dificultaría las operaciones mineras y generaría conflictos con otros consumidores locales de agua.

En segundo lugar, argumentó que los cambios climáticos podrían aumentar la probabilidad de movimientos masivos espontáneos de material rocoso (como deslizamientos de tierra), que pueden desencadenarse por fenómenos meteorológicos. Esto aumenta los riesgos de deslizamiento de roca estéril, la falla de las represas de relaves o movimientos de tierra más generales en las áreas mineras (Odell et al., 2018).

Para los países del Triángulo del litio (Argentina, Bolivia y Chile) aún no se tienen suficientes antecedentes. Hasta el momento se puede señalar que las operaciones mineras que impulsan el crecimiento de la industria minera en Chile se concentran en las regiones áridas del norte del país, algunas de las áreas más secas de la Tierra, lo que genera escasez de agua y conflictos con las comunidades locales por el acceso a ella, la contaminación del agua y los derechos comunitarios a la subsistencia (Babidge, 2016; Budds, 2010; Prieto, 2015, 2017; Urkidi, 2010).

En el caso de Argentina, los principales salares de litio se encuentran ubicados en la Pu-

na definida por su clima continental seco donde las precipitaciones son escasas (entre 200 y 500 mm anuales), los vientos son frecuentes y de variable intensidad, las temperaturas son frescas o frías todo el año, la oscilación térmica es muy grande, entre 25 y 40 °C entre el mes más frío y el más cálido. Existen varios meses por debajo de 0 °C (inviernos muy rigurosos) que contrastan con veranos muy cálidos. La oscilación térmica diaria también es muy marcada que define la rigurosidad del ambiente (Dente & Martínez, s.f.). Condiciones similares se dan en la zona de salares de litio en Bolivia.

Las proyecciones climáticas para esta zona provienen del IPCC. Las conclusiones de estos datos climáticos deben extraerse con cautela, ya que representan un ejercicio básico para examinar la relación potencial entre el cambio climático y la minería en un país. La cautela también se debe tener ya que se sabe que los niveles de precipitación son particularmente difíciles de predecir (Odell et al., 2018).

# Capítulo 3

## Objetivos y alcance

### 3.1. Objetivo general

Analizar los elementos que determinan el desarrollo de la industria minera del litio en Argentina, Bolivia y Chile, cuantificando el impacto que puede tener el cambio climático.

### 3.2. Objetivos específicos

1. Identificar los principales depósitos de litio en Argentina, Bolivia y Chile.
2. Recopilar y cuantificar factores sociopolíticos y ambientales que se asocian al desarrollo de la industria de recursos minerales.
3. Especificar los efectos del cambio climático en los depósitos de litio en Argentina, Bolivia y Chile, a través de una cuantificación de riesgos.
4. Proponer una metodología, que incorpore el riesgo climático, para reflejar el potencial de desarrollo del litio en salares de Argentina, Bolivia y Chile.

### 3.3. Alcances

- El estudio de caso de limita a la minería del litio, específicamente en 3 países: Chile, Argentina y Bolivia.
- La información y datos recopilados fueron extraídos de investigaciones públicas.

# Capítulo 4

## Metodología y datos

La búsqueda bibliográfica de antecedentes sugiere que el potencial de desarrollo de la minería de litio para cada salar depende de diferentes factores, tales como el potencial geológico, la gobernanza del país y aspectos y/o conflictos socioambientales. Por otro lado, se considera relevante estudiar también el efecto del cambio climático en este potencial de desarrollo con el objetivo de detectar la relación o la falta de conexión entre ellos. La metodología propuesta en este estudio consiste en calcular un índice de potencial de desarrollo del litio para cada uno de los salares a partir de los 4 factores anteriormente mencionados. Este corresponderá al promedio entre el índice de potencial geológico, índice de gobernanza, índice socioambiental e índice de cambio climático.

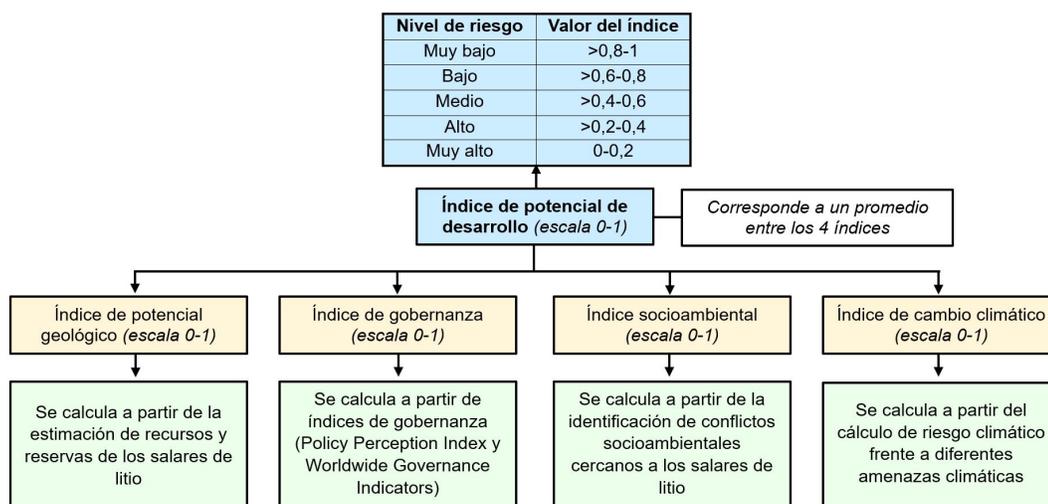


Figura 4.1: Mapa conceptual de componentes para el cálculo del Índice de potencial de desarrollo. Elaboración propia.

Cada uno de estos índices deben ser previamente normalizados en una escala común (de 0 a 1, siendo 0 el peor escenario para el desarrollo de la minería del litio, y 1 el mejor escenario) y serán calculados a partir de diferentes metodologías detalladas a continuación. Posterior al cálculo del Índice de potencial de desarrollo, se buscará comparar este resultado para cada salar con el estado actual de cada uno de ellos.

## 4.1. Índice de potencial geológico

Como se ha mencionado anteriormente, el potencial geológico de un depósito de litio juega un papel crucial en el potencial de desarrollo de este. Algunos de los autores que señalan esta relación son Kesler, Grosjean, Mohr, Kawamoto, entre otros. Este potencial incluye los recursos y reservas de cada salar y son estimados a partir de la recolección de datos en terreno en campañas de exploración.

La búsqueda bibliográfica permite obtener el potencial geológico de algunos salares del triángulo del litio, pero debido a que existen muchos salares en los que no se han realizado trabajos de exploración para la estimación de recursos y reservas, se procede a buscar una forma de estimar estos valores a partir de los datos que si están disponibles, tales como el **área del salar**, **recursos y reservas** de algunos salares y **concentración de litio** en ppm.

Para la estimación del potencial geológico se propone utilizar una función del tipo Cobb-Douglas donde sus parámetros se definen a partir de una regresión lineal múltiple utilizando el software *RStudio*. La regresión lineal múltiple permite obtener las estimaciones de los coeficientes del modelo, los cuales reflejan el efecto sobre el potencial geológico al controlar o ajustar las variables predictoras “Área del salar” y “Concentración de litio”.

Para la aplicación de esta regresión lineal múltiple se procede a utilizar como entrada los datos de los salares que poseen información para todas las variables predictoras (Tabla 4.1).

Tabla 4.1: Datos de entrada para la estimación del potencial geológico de los salares del triángulo del litio. Elaboración propia.

País	Salar	Área salar (km <sup>2</sup> )	Potencial geológico: Recursos y reservas (ton)	Concentración de litio (ppm)	Fuente
Argentina	Caucharí	282	1.185.000	380	Orocobre, 2021
Argentina	Olaroz	167	1.210.000	690	Orocobre, 2021
Argentina	Pastos Grandes	126	924.000	446	Millennial Lithium, 2019
Bolivia	Uyuni	10.000	21.089.145	350	YLB, 2019
Chile	Atacama	3.062	11.370.000	1.500	Cabello, 2022
Chile	Pedernales	335	375.000	400	Cabello, 2022
Chile	Punta Negra	250	220.000	280	Cabello, 2022
Chile	La Isla	152	270.000	1.080	Cabello, 2022
Chile	Maricunga	145	918.000	1.117	Cabello, 2022
Chile	Surire	144	180.000	400	Cabello, 2022
Chile	Aguilar	71	70.000	337	Cabello, 2022
Chile	Las Parinas	40	50.000	477	Cabello, 2022
Chile	Laguna Verde	15	97	247	Cabello, 2022
Chile	Laguna Brava	10	3	310	Cabello, 2022

El modelo se considera válido cuando la variable R-cuadrado es alta. El R-cuadrado es una medida estadística de qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada. También se conoce como coeficiente de determinación, o coeficiente de determinación múltiple si se trata de regresión múltiple. En otras palabras, el R-cuadrado es el porcentaje de variación

en la variable de respuesta que es explicado por un modelo lineal y está entre 0% y 100% (Minitab Blog Editor, 2019).

- 0% indica que el modelo no explica ninguna porción de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.
- 100% indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media, por lo tanto, es un modelo muy fiable para las previsiones futuras.

En este caso, al aplicar la regresión lineal múltiple, se obtiene un R-cuadrado de **0,76** y un R-cuadrado ajustado de **0,71**, lo cual implica que el modelo propuesto se ajusta bien a los datos proporcionados. Un valor aceptable para el R-cuadrado va a depender del tipo de estudio que se está realizando y su campo. Para efectos de este trabajo, la metodología propone un valor aceptable para el R-cuadrado de 0,7. El R-cuadrado tiende a estimar de forma optimista el ajuste de la regresión lineal, mientras que R-cuadrado ajustado intenta corregir esa sobreestimación, siendo siempre menor que o igual a R-cuadrado (IBM Corporation, 2023).

Una vez obtenidos los coeficientes (Tabla 4.2) necesarios para aplicar la función de tipo Cobb-Douglas (Comisión Nacional de Productividad & COCHILCO, 2016), se sigue la siguiente fórmula para conseguir el potencial geológico de la totalidad de los salares:

$$\text{Potencial geológico} = C \cdot \text{Área salar}^{\alpha} \cdot \text{Concentración de litio}^{\beta} \cdot \exp(A) \quad (4.1)$$

Siendo:

- $C$ : constante
- $\alpha$ : estimado del coeficiente para el factor “Área salar”.
- $\beta$ : estimado del coeficiente para el factor “Concentración de litio”.
- $A$ : captura el resto de los posibles efectos capaces de influenciar el potencial geológico, como por ejemplo, el país.

Tabla 4.2: Valor estimado de coeficientes calculados en RStudio. Elaboración propia.

Coficiente	Estimado
$\alpha$	1,7918
$\beta$	1,6850
A	-7,7965

Tabla 4.3: Coeficientes de regresión lineal realizada en R para el cálculo del potencial geológico inferido. Elaboración propia.

Coefficients:			
	Estimate	Std. Error	p-value
(Intercept)	-7,7965	6,9859	0,2882
log(area)	1,7918	0,3683	0,0005***
log(grade)	1,6850	1,1933	0,1856
Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1			
Residual standard error: 2,261 on degrees of freedom			
Multiple R-squared: 0,7581			
Adjusted R-squared: 0,7142			
p-value: 0,0004			

## 4.2. Índice de gobernanza

Respecto al papel que juega la gobernanza en el desarrollo de la industria del litio y de la minería en general, se puede decir que existen varios estudios al respecto, principalmente analizando el marco normativo y legal para cada país por separado y asociándolo al desarrollo de la minería en dicho país. Para el triángulo del litio se tienen los estudios “Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia” y “Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile”, en los cuales se abordan temas como el contexto de la industria del litio, fases de la política pública del litio, entidades reguladoras, leyes, etc. Si bien estas fuentes logran dar un amplio detalle cualitativo sobre aspectos del marco legal y regulatorio de la minería, es necesario también una manera cuantitativa de representar esta información. Es aquí donde organizaciones como el Instituto de Gobernanza de los Recursos Naturales toman relevancia.

El Instituto de Gobernanza de los Recursos Naturales (Natural Resource Governance Institute) es una organización independiente sin fines de lucro que brinda asesoramiento sobre políticas y defensa infundida con lecciones aprendidas en el campo y con conocimientos desarrollados a través de investigaciones rigurosas. Algunas de sus competencias básicas consisten en medir y evaluar la gobernanza de los recursos naturales, brindar capacitación, asistencia técnica y apoyo sobre cómo brindar transparencia y rendición de cuentas, fortalecer los sistemas fiscales, mejorar la gestión de los ingresos por recursos, promover la adopción de normas globales de transparencia y gobernanza, entre otras (Natural Resource Governance Institute, 2022).

Si bien este índice sería de mucha utilidad para poder evaluar la gobernanza de Argentina, Bolivia y Chile, el Índice de gobernanza para la minería solo está disponible para Chile. Bolivia únicamente tiene índice de gobernanza para la categoría “petróleo y gas”, mientras que Argentina aún no cuenta con índice para ningún recurso natural.

Dentro de las bases de datos que cumplen con los requisitos para comparar la gobernanza de Argentina, Bolivia y Chile bajo los mismos criterios se encuentran dos índices de gobernanza: uno orientado a la minería y otro enfocado en la institucionalidad general del país.

El primero corresponde al Policy Perception Index, el cual es extraído del “Fraser Institute Annual Survey of mining companies 2021”. Este índice fue escogido ya que, si bien las consideraciones geológicas y económicas son factores importantes en la exploración de minerales, el clima político de una región también es una consideración de inversión importante (Fraser Institute, 2021).

Los factores de política examinados en este índice incluyen la incertidumbre con respecto a la administración de las reglamentaciones vigentes, las reglamentaciones ambientales, el sistema legal y el régimen tributario, la incertidumbre con respecto a las áreas protegidas y los reclamos de tierras en disputa, la infraestructura, las condiciones socioeconómicas y de desarrollo comunitario, las barreras comerciales, la estabilidad política, las reglamentaciones laborales, la calidad de la base de datos geológica, la seguridad, disponibilidad de mano de obra y sus habilidades.

Para la obtención de este índice se utiliza la base de datos adjunta del informe (Figura 4.2), la cual señala el Policy Perception Index para Bolivia, Chile y algunas provincias de Argentina.

**Table: Policy Perception Index**

		Score					Rank				
		2021	2020	2019	2018	2017	2021	2020	2019	2018	2017
Argentina	Catamarca	66,80	74,67	68,17	79,31	70,50	42/84	45/77	41/76	38/83	40/91
	Chubut	27,30	38,94	30,89	37,07	26,34	82/84	76/77	73/76	80/83	90/91
	Jujuy	66,09	70,63	57,44	56,53	54,75	44/84	50/77	59/76	67/83	69/91
	La Rioja	64,13	54,84	42,44	46,76	52,66	48/84	68/77	67/76	77/83	73/91
	Mendoza*	28,84	47,45	36,14	50,37	43,22	80/84	73/77	72/76	73/83	80/91
	Rio Negro*	67,29	83,40	70,23	**	**	41/84	22/77	38/76	**	**
	Salta	81,13	87,87	77,97	67,72	71,89	20/84	21/77	29/76	51/83	38/91
	San Juan	77,30	75,04	80,21	64,76	66,96	26/84	43/77	27/76	55/83	45/91
	Santa Cruz	68,11	76,17	63,73	65,09	61,38	40/84	40/77	49/76	54/83	58/91
Latin America and the Caribbean	Bolivia	32,31	44,73	37,15	48,81	40,45	77/84	74/77	71/76	75/83	83/91
	Brazil	47,64	66,65	69,75	64,43	55,66	68/84	56/77	39/76	57/83	66/91
	Chile	68,86	83,06	86,86	88,61	80,55	38/84	23/77	15/76	23/83	25/91
	Colombia	62,57	64,83	58,73	58,96	44,80	51/84	59/77	57/76	65/83	79/91
	Ecuador	66,06	54,87	49,69	51,64	42,18	45/84	67/77	62/76	72/83	82/91
	Guyana*	48,10	68,84	59,80	68,18	61,76	67/84	53/77	55/76	50/83	56/91
	Mexico	60,67	64,41	62,72	71,32	65,13	54/84	61/77	51/76	48/83	49/91
	Nicaragua*	27,36	**	45,06	55,47	55,24	81/84	**	66/76	68/83	68/91
	Panama*	50,28	**	**	60,53	49,14	64/84	**	**	62/83	76/91
	Peru	46,28	75,16	67,02	79,66	68,99	69/84	42/77	45/76	37/83	43/91
	Venezuela*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84/84	77/77	76/76	83/83	91/91

\* Between 5 and 9 responses on one or more questions

\*\* Not Available

Figura 4.2: Policy Perception Index (Índice de percepción de políticas). Extraído de Fraser Institute, 2021.

Este índice ya se encuentra normalizado en escala de 0 a 100, sin embargo, es necesario dejar el índice en una escala de 0 a 1, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula a los valores de la base de datos original:

$$\text{Índice de Percepción de Políticas normalizado} = \frac{\text{Policy Perception Index (2021)}}{100} \quad (4.2)$$

Tabla 4.4: Índice de Percepción de Políticas normalizado en escala 0-1. Elaboración propia a partir de Fraser Institute, 2021.

Provincia/País	Índice de Percepción de Políticas
Catamarca	0,67
Jujuy	0,66
Salta	0,81
Bolivia	0,32
Chile	0,69

El segundo índice a utilizar se calcula a partir del proyecto Worldwide Governance Indicators (WGI). Para la obtención de este índice se utiliza la base de datos disponible, de donde se extraen los valores para 6 dimensiones de gobernanza: voz y responsabilidad, estabilidad política y ausencia de violencia/ terrorismo, efectividad del gobierno, calidad regulatoria, imperio de la ley y control de la corrupción. El valor para cada dimensión se obtiene normalizando en base a los valores para los 214 países del estudio según la Fórmula 4.3. Seguido de esto, se promedian los valores para las 6 dimensiones obteniendo así un único Índice de gobernanza mundial para cada país (Tabla 4.5).

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4.3)$$

Donde:

- $z_i$  corresponde al Índice de gobernanza mundial normalizado.
- $x_i = (x_1, \dots, x_n)$  corresponde al índice de gobernanza mundial sin normalizar.
- $\min(x)$  es el valor mínimo entre los datos para el Índice de gobernanza mundial sin normalizar (umbral mínimo).
- $\max(x)$  es el valor máximo entre los datos para el Índice de gobernanza mundial sin normalizar (umbral máximo).

Tabla 4.5: Worldwide Governance Indicators para Argentina, Bolivia y Chile. Extraído de Worldwide Governance Indicators, 2013.

País	Voice and accountability	Political Stability No Violence	Government Effectiveness	Regulatory Quality	Rule of Law	Control of Corruption	Promedio
Argentina	0,70	0,56	0,43	0,37	0,42	0,34	<b>0,47</b>
Bolivia	0,51	0,52	0,35	0,26	0,26	0,23	<b>0,36</b>
Chile	0,79	0,60	0,64	0,72	0,74	0,67	<b>0,69</b>

Finalmente, se procede a promediar el Índice de Percepción de Políticas y el Índice de gobernanza mundial con el fin de obtener un único índice de gobernanza para cada país, y por consiguiente, para cada salar (Fórmula 4.4).

$$\text{Índice de gobernanza} = \frac{\text{Índice de Percepción de Políticas} + \text{Índice de gobernanza mundial}}{2} \quad (4.4)$$

### 4.3. Índice socioambiental

Para el análisis de los efectos de los conflictos socioambientales en el potencial de desarrollo de la minería de litio en los diferentes países y salares, es necesario contar con una base de datos amplia y confiable de estos conflictos. Es por esto que se propone utilizar el Atlas de Justicia Ambiental (Environmental Justice Atlas) como parte de la metodología, el cual corresponde a una base de datos que recopila de forma colaborativa información sobre conflictos socioambientales provenientes directamente de activistas y, más a menudo, indirectamente de periodistas y académicos (Martínez-Alier, 2021).

Todos los datos se recopilan en una base de datos en línea y el equipo editorial los modera mediante una doble verificación de la información y si corresponde, se aprueban y publican en el mapa (EJAtlas, s.f.).

El Atlas de justicia ambiental mapea los conflictos en 10 categorías principales:

- Nuclear
- Extracción de minerales y materiales de construcción
- Gestión de residuos
- Conflictos de biomasa y tierras (bosques, agricultura, pesca y gestión ganadera)
- Combustibles fósiles y justicia climática/energía
- Administración del agua
- Infraestructura y entorno construido
- Recreación turística
- Conflictos de conservación de la biodiversidad
- Conflictos industriales y de utilidades.

Cabe destacar que no existe una base de datos o *archivo shape*<sup>1</sup> descargable con toda la información. Es por esto, que para manejar los datos para este trabajo, es necesario pasar cada uno de los puntos georreferenciados de conflicto de forma manual al software QGIS. Cada uno de los conflictos georreferenciados, tienen asociada información: nombre del conflicto, descripción del conflicto, país, estado o provincia, origen, inicio del conflicto, población afectada, intensidad del conflicto, entre otros parámetros.

Una vez estén traspasados todos los puntos de conflicto para Argentina, Bolivia y Chile, se procede a cuantificar los conflictos para cada salar, para así poder obtener un índice para

---

<sup>1</sup>Un archivo shape o shapefile es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (Esri, s.f.)

cada uno.

La metodología propuesta para calcular el Índice socioambiental para cada salar consiste en:

1. Obtener los polígonos de los salares seleccionados para el estudio.
2. Utilizar el software QGIS para visualizar los salares georreferenciados.
3. Realizar 3 *buffers*<sup>2</sup> o áreas de influencia, a cada uno de los salares, a partir de sus polígonos. El primer grupo de buffers se debe realizar para una distancia de 50 kilómetros, lo cual representaría el conflicto local. El segundo grupo de buffers se realizan para una distancia de 200 kilómetros representando el conflicto regional, mientras que el tercer grupo para una distancia de 500 kilómetros (Figura 4.3). Las distancias seleccionadas para cada grupo de buffers fueron definidas de manera arbitraria, por lo que hay que tener en cuenta que un cambio en estos podría significar un cambio en el índice socioambiental para cada salar pudiendo generar a su vez un cambio en el análisis y en las conclusiones.
4. Como se tienen los puntos de conflictos georreferenciados, será sencillo identificar cuantos y cuales conflictos ocurren a menos de 50 kilómetros de cada salar, entre 50 y 200 kilómetros y por último, entre 200 y 500 kilómetros.
5. Una vez identificados los conflictos, se utiliza el parámetro “Intensidad del conflicto” dado por el EJ Atlas, el cual clasifica a los conflictos en: intensidad latente (organización poco visible), baja (algunas organizaciones locales), media (movilización visible, protestas callejeras) y alta (difusión, movilizaciones masivas, reacción de las fuerzas policiales, violencia y arrestos). Para cuantificar esta información, a cada rango de intensidad se le debe asignar un número, tal como muestra la Tabla 4.6. Cada conflicto tiene asociado un valor definido en este trabajo, el cual se irá sumando dependiendo de la cantidad de conflictos socioambientales que se encuentren en el rango de distancia para cada salar.

Tabla 4.6: Asignación de valor a la intensidad del conflicto. Elaboración propia.

Intensidad del conflicto	Valor
Latente	0,25
Bajo	0,5
Media	0,75
Alta	1

---

<sup>2</sup>Un buffer o un área de influencia es una herramienta que se engloba dentro de lo que se conoce como estudios de proximidad. El resultado de esta herramienta es la generación de un polígono que rodea una geometría en función a una distancia, fija o variable, definida por el usuario (Alonso, s.f.).

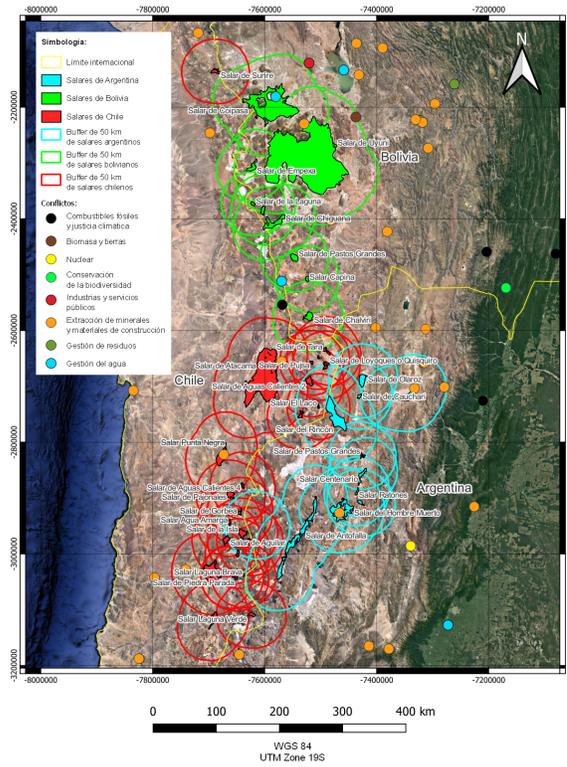
6. Seguindo de esto, se debe realizar la siguiente ponderación para cada salar:

$$(a \cdot 1) + (b \cdot 0,5) + (c \cdot 0,25) \quad (4.5)$$

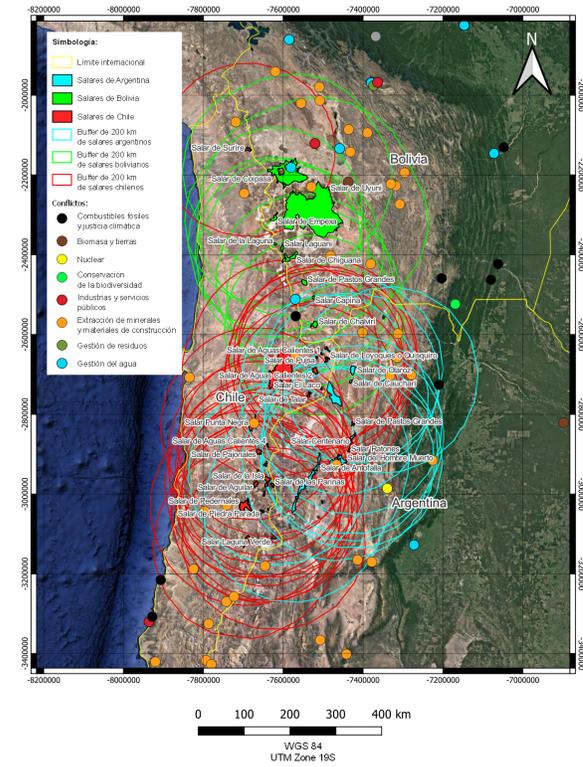
Siendo:

- “a” la suma de las intensidades de conflictos de los salares en un radio menor a 50 kilómetros.
  - “b” la suma de las intensidades de conflictos de los salares entre un radio de 50 y 200 kilómetros.
  - “c” la suma de las intensidades de conflictos de los salares entre un radio de 200 y 500 kilómetros.
7. Finalmente, se procede a normalizar los datos obtenidos para que queden en la escala de 0 a 1. Debido a que, para todos los índices se está definiendo 1 como el mejor escenario para el desarrollo de la minería del litio y 0 como el peor escenario, el índice final socioambiental es 1 menos el valor obtenido de la ponderación.

Buffers de 50 kilómetros para salares del Triángulo del Lito



Buffers de 200 kilómetros para salares del Triángulo del Lito



Buffers de 500 kilómetros para salares del Triángulo del Lito

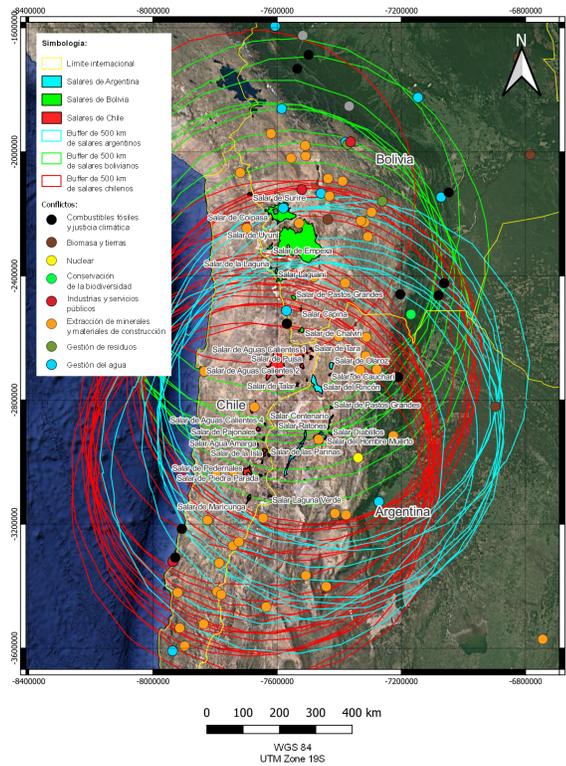


Figura 4.3: Buffers de 50, 200 y 500 kilómetros a salares del Triángulo del litio. Elaboración propia.

## 4.4. Índice de cambio climático

Para estudiar el potencial de desarrollo de la minería del litio en un contexto de cambio climático es necesario obtener también un índice que represente el impacto de este en las personas y el medioambiente. Se propone que una buena forma de otorgar un índice de cambio climático para cada salar es evaluar el riesgo que cada uno de estos presenta frente al cambio climático. El cálculo del riesgo se basa en la metodología utilizada por Del Río (2022), que a su vez está basada en la metodología propuesta por GIZ & EURAC (2017). La metodología indica los pasos a seguir para determinar las tres componentes generales del riesgo (amenazas, vulnerabilidad y exposición) y el riesgo en sí.

El **riesgo** se define por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) como “*el potencial de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en peligro y en las cuales un desenlace o la magnitud del desenlace son inciertos*”. En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo suele utilizarse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de una amenaza relacionada con el clima. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad del sistema afectado, la exposición a lo largo del tiempo (a la amenaza), así como la amenaza y la probabilidad de que ocurra.

Por otro lado, la **amenaza** corresponde a una “*condición climática cuya potencial ocurrencia puede resultar en pérdidas de vidas, accidentes y otros impactos en salud, como también en pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de subsistencia, provisión de servicios ecosistemas y recursos medio ambientales*” (Pica-Téllez et al., 2020). Una amenaza puede ser un evento climático, pero también puede ser un impacto físico directo (Del Río, 2022).

Otra componente del riesgo es la **exposición**, la cual se define como “*la presencia de personas; medios de vida; especies; o ecosistemas; servicios y recursos ambientales; infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente*” (Pica-Téllez et al., 2020).

Por último, la **vulnerabilidad** es definida como la “*propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación*” (Pica-Téllez et al., 2020).

De acuerdo a la metodología propuesta por GIZ & EURAC (2017) el riesgo se determina a través de los siguientes pasos:

1. Identificar los impactos y los riesgos climáticos.
2. Determinar las amenazas.
3. Determinar la vulnerabilidad.
4. Determinar la exposición.
5. Cuantificar el riesgo

Para poder determinar el riesgo, la metodología propone desarrollar una cadena de impactos usándola como punto de partida ya que pueden ayudar a comprender mejor la relación de causa-efecto, determinando los riesgos en el sistema de interés (GIZ & EURAC, 2017).

#### 4.4.1. Cadenas de impacto

Una cadena de impacto es una herramienta analítica que ayuda a comprender, sistematizar y priorizar mejor los factores que llevan el riesgo en el sistema de interés. La estructura de la cadena de impacto desarrollada según el enfoque del IE5 del IPCC se basa en la comprensión del riesgo y sus componentes.

La estructura de una cadena de impacto se construye conforme al enfoque del IE5 del IPCC, tal como se puede apreciar en la Figura 4.4 y 4.5.

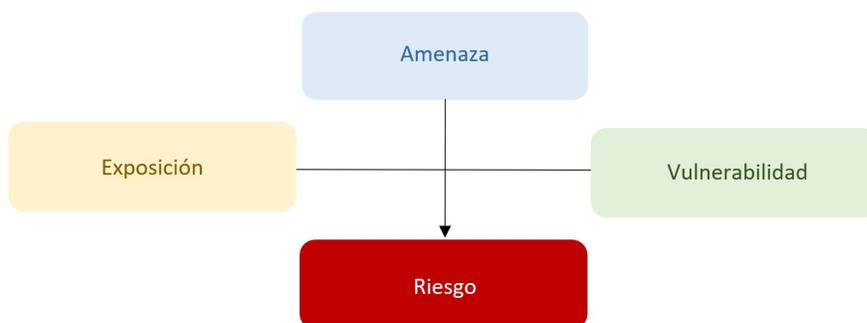


Figura 4.4: Estructura de una cadena de impacto conforme al enfoque del IE5 del IPCC. Visión general del concepto. Extraído de GIZ & EURAC, 2017.

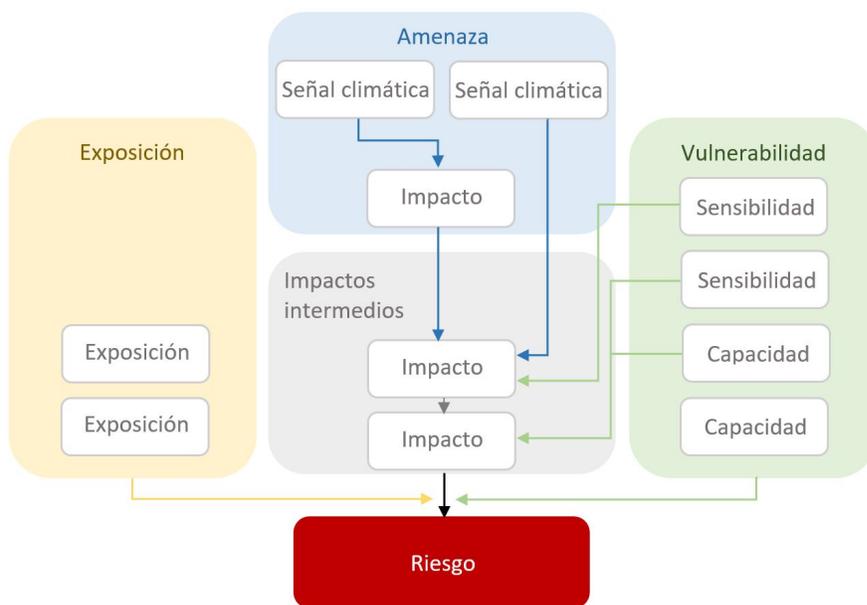


Figura 4.5: Estructura de una cadena de impacto conforme al enfoque del IE5 del IPCC. Estructura detallada. Extraído de GIZ & EURAC, 2017.

Las cadenas de impacto están compuestas por las componente de riesgo (amenaza, vulnerabilidad y exposición) y sus factores subyacentes (representados por los recuadros blancos). El componente de amenaza incluye eventos climáticos y sus impactos físicos directos. Por otro lado, está la vulnerabilidad, la cual incluye factores de sensibilidad y capacidad. Por último, el componente de exposición abarca uno o más factores de exposición.

#### 4.4.2. Identificación y selección de indicadores

Según la metodología, los indicadores son cruciales para cuantificar los factores que determinan el riesgo (amenaza, vulnerabilidad y exposición).

Estos deben cumplir los siguientes requisitos según El Libro de la Vulnerabilidad, 2017:

- Es válido y relevante, es decir, representa bien el factor que desea evaluar.
- Es confiable y creíble, y también permite la adquisición de datos en el futuro.
- Tiene un significado preciso.
- Es claro en su dirección.
- Es práctico y económico, es decir, proviene de una fuente de datos accesible.
- Es apropiado, es decir, la resolución temporal y espacial del indicador es adecuado para la evaluación de la vulnerabilidad.

A continuación se presentan ejemplos de indicadores para cada factor de la componente de riesgo (Tabla 4.7).

Tabla 4.7: Ejemplos de factores y posibles indicadores. Extraído de GIZ & EURAC, 2017.

Componente de riesgo	Factor	Posible indicador
Amenaza (señal climática)	Eventos de lluvias extremas	N° de días por año con más de 50 mm de precipitación
Amenaza (impacto físico directo)	Inundaciones	N° de inundaciones desastrosas en un año
Vulnerabilidad (sensibilidad)	Uso de tierra propensa a la erosión	Porcentaje de clases de cobertura de suelo con alto riesgo de erosión
Vulnerabilidad (capacidad)	Pobreza	Porcentaje de personas que viven con menos de 2 dólares por día
Exposición	Densidad de la población	N° de habitantes por km <sup>3</sup>

#### Amenazas

Es importante que cada uno de los indicadores escogidos, estén normalizados a una escala común para todos los factores. En este caso la escala para los indicadores debe ir desde 0 a 1, siendo 0 el escenario más crítico con un sistema más afectado, y 1 el escenario óptimo. Al estar normalizados todos los valores en la misma escala, será mucho más fácil entender y

manipular los índices para el cálculo de Índice de cambio climático.

Para determinar las amenazas que son consideradas en el estudio del riesgo, se realiza un cruce entre los eventos climáticos extremos que ya han afectado al triángulo del litio (norte de Chile, noroeste de Argentina y suroeste de Bolivia) y los que afectan a la minería en general. Dichos eventos climáticos se identificaron en la sección de Antecedentes de este trabajo.

Dentro de los efectos del cambio climático en la minería se pueden distinguir diversos eventos climáticos, los cuales se traducen en los siguientes factores amenazantes para el sector minero (ACON, 2015; Roshydromet, 2014):

- Escasez hídrica
- Derretimiento del permafrost
- Remociones en masa
- Olas de calor
- Heladas
- Vendavales
- Inundaciones
- Abatimiento de niveles freáticos
- Elevación del nivel medio del mar
- Efectos en el comportamiento volumétrico del suelo

Por otro lado, dentro de los eventos climáticos identificados en la sección de Antecedentes para el triángulo del litio se encuentran (ARCLim, 2020; Del Río, 2022; Barros et al., 2014; Vera & Camilloni, 2006; Andersen & Mamani Paco, 2009):

- Escasez hídrica (sequía)
- Escasez de vegetación
- Inundaciones
- Aumento de la temperatura (olas de calor)

Dado a que estos son los eventos climáticos que ocurren en el norte de Chile, noroeste argentino y suroeste boliviano, se procede a realizar el cruce entre estas amenazas y las amenazas de la minería en general frente al cambio climático. Además de esta condición, se debe cumplir que para cada amenaza sea viable determinar su vulnerabilidad y exposición. Como resultado, se obtienen las siguientes amenazas frente al cambio climático para la minería del triángulo del litio:

- Sequía
- Precipitaciones extremas (inundaciones)

Una vez identificadas las amenazas, se procede a determinar los indicadores para cada una de ellas. Debido a que se está trabajando con información climática de tres países diferentes, se deben encontrar indicadores comunes o similares entre las bases de datos de estos países para cada una de las amenazas identificadas.

Tomando como referencia los datos del repositorio ARClím, UDAPE y SIMARCC, se logran determinar los indicadores climáticos a utilizar para el cálculo de la amenaza (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Indicadores climáticos a utilizar para amenazas. Elaboración propia.

Componente de riesgo	Indicador	Descripción
3* Amenaza de precipitaciones extremas	Días con precipitación diaria >50mm (Argentina)	Número de días en los cuales la precipitación diaria supera el umbral de 50 mm.
	Intensidad de precipitación en milímetros (Bolivia)	Espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable, que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno.
	Días de participación muy intensa (Chile)	Número de días al año en que la precipitación diaria supera 20 mm.
3* Amenaza de sequía	Máxima longitud de días secos (Argentina)	Duración de la máxima racha seca.
	Ausencia o disminución de precipitaciones (Bolivia)	Medición de precipitación que puede tener en cuenta otros factores como la evapotranspiración y el déficit de agua en el suelo.
	Días secos consecutivos (Chile)	Número máximo de días consecutivo en que la precipitación diaria no supera 1mm.

## Exposición

De acuerdo con la metodología, se recomienda formular esta componente en una forma que exprese la relevancia de los elementos expuestos del sistema de interés. Por ejemplo, “las hectáreas utilizadas por la pequeña agricultura” o “número de pequeños agricultores” podrían ser factores acordes a un contexto relacionado con el estudio del riesgo en la agricultura para una determinada zona (Del Río, 2022).

Es por esto que, bajo el contexto de evaluación de riesgo para el sector minero del litio, se considera como indicador de exposición, la cantidad de metros cuadrados de superficie de cada salar (Tabla 4.9). El área de cada salar se puede obtener a partir de la literatura disponible o bien utilizando QGis y los polígonos de los salares estudiados.

Tabla 4.9: Indicadores climáticos a utilizar para exposición. Elaboración propia.

Componente de riesgo	Indicador	Descripción
Exposición	Área del salar	Área en km <sup>2</sup> que abarca cada salar en superficie.

## Vulnerabilidad

Un último paso relevante es la determinación de la vulnerabilidad. Este factor se suele componer de dos conceptos: sensibilidad y capacidad. Para determinar los factores que representan los aspectos de sensibilidad y capacidad, se recurre a un taller con expertos realizado por Del Río (2022) con participantes representantes de instituciones como el Ministerio del Medio Ambiente, DMC, CODELCO, Colegio de Geólogos de Chile, SHOA, CR2, SONAMI, Consejo Minero, entre otros. El objetivo principal del taller fue discutir los diversos factores de sensibilidad y resiliencia dentro del contexto minero desde la perspectiva de los expertos (Del Río, 2022).

Los resultados de este taller de expertos arrojaron que, para la amenaza de lluvias extremas, un factor determinante de la vulnerabilidad era la pendiente del terreno, ya que aumenta la probabilidad de deslizamientos y acumulaciones de agua, contribuyendo así a una mayor vulnerabilidad (Del Río, 2022).

Por otro lado, para la amenaza de sequía se determinó que uno de los factores determinantes corresponde a las fuentes alternativas de recursos hídricos. Es por esto, que para el caso de la minería del litio se escogen los indicadores “Distancia a planta desaladora” y “Número de masas de agua cercanas” (Tabla 4.10).

Tabla 4.10: Indicadores climáticos a utilizar para vulnerabilidad. Elaboración propia.

Componente de riesgo	Indicador	Descripción
Vulnerabilidad de precipitaciones extremas	Pendiente promedio	Pendiente promedio de buffer de 10 km para cada salar
2*Vulnerabilidad de sequía	Distancia a planta desaladora	Distancia mínima existente desde el salar a una planta desaladora dentro del mismo país.
	N° de masas de agua cercanas	Cantidad de masas de agua (fuentes de agua alternativas) cercanas al salar dentro de un radio de 50 km.

### 4.4.3. Datos: Adquisición y gestión

Para proponer y llevar a cabo una metodología es necesario que los datos que se piden para su desarrollo sean de fácil acceso, es decir, que sean datos públicos y sencillos de encontrar en la bibliografía disponible en la web. Para este estudio se requiere información climática de 3 países (Argentina, Bolivia y Chile), por lo que es necesario encontrar bases de datos confiables para estos 3 países y que estas posean similitudes entre ellas dentro de ciertos parámetros. A continuación, se muestran las diferentes bases de datos que se utilizan para el desarrollo de esta porción del trabajo (Tabla 4.11).

Tabla 4.11: Datos utilizados para el cálculo del riesgo de cambio climático. Elaboración propia.

Dato	Descripción	Uso	Colaborador/es	Link
Datos grillados de índices climáticos para Argentina (Amenazas)	Mapas de amenaza de Argentina para diferentes indicadores relacionados con el cambio climático. Corresponden a mapas descargables en formato shape (.shp) con los datos georeferenciados.	Se utiliza para determinar la amenaza de precipitaciones extremas y sequía en Argentina, mediante los indicadores “Días con precipitación diaria 50mm” y “Máxima longitud días secos”.	SIMARCC (Sistema de Mapas de Riesgo del Cambio Climático)	<a href="https://simarcc.ambiente.gob.ar/mapa-riesgo">https://simarcc.ambiente.gob.ar/mapa-riesgo</a>
Datos de índices climáticos para Bolivia (Amenazas)	Mapas de amenaza de Bolivia para diferentes indicadores relacionados con el cambio climático. La descarga de los mapas no está disponible en ningún formato.	Se utiliza para determinar la amenaza de precipitaciones extremas y sequía en Bolivia utilizando el mapa “Amenaza de inundaciones” y “Amenaza de sequía”.	UDAPE (Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas)	<a href="https://www.udape.gob.bo/VULNERABILIDAD/AutoPlay/Docs/Visualizador/IVP/aIVP.html">https://www.udape.gob.bo/VULNERABILIDAD/AutoPlay/Docs/Visualizador/IVP/aIVP.html</a>
Datos de índices climáticos para Chile (Amenazas)	Mapas de amenazas climáticas de Chile para diferentes indicadores relacionados con el cambio climático. Corresponden a mapas descargables en formato Excel (.xlsx).	Se utiliza para determinar la amenaza de precipitaciones extremas y sequía en Chile utilizando el mapa “Amenaza climática: Días de precipitación muy intensa” y “Amenaza climática: Días secos consecutivos”.	ARCLIM	<a href="https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/">https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/</a>
Plantas desaladoras chile	Datos de plantas desaladoras en Chile en formato .xlsx.	Se utiliza para calcular la vulnerabilidad de sequía de los salares chilenos.	IDE (Infraestructura de Datos Geoespaciales)	<a href="https://www.ide.cl/index.php/medio-ambiente/item/1686-plantas-desaladoras">https://www.ide.cl/index.php/medio-ambiente/item/1686-plantas-desaladoras</a>
Plantas desaladoras argentina	Mapa de ubicación de plantas desaladoras en Argentina.	Se utiliza para calcular la vulnerabilidad de sequía de los salares argentinos.	ABSA (Aguas Bonaerenses S.A.)	<a href="https://www.aguasbonaerenses.com.ar/empresa/area-de-servicio/">https://www.aguasbonaerenses.com.ar/empresa/area-de-servicio/</a>
DEM (Digital Elevation Model) de Argentina, Bolivia y Chile.	Modelo de elevación digital del suelo que abarca el territorio del Triángulo del Litio en Argentina, Bolivia y Chile.	Se utiliza para calcular la vulnerabilidad de sequía asociada a la pendiente del terreno.	ASF Data Search Vertex	<a href="https://search.asf.alaska.edu/#/">https://search.asf.alaska.edu/#/</a>

#### 4.4.4. Obtención de índices

##### Amenazas:

Para determinar las amenazas consideradas para el cálculo del riesgo climático y del Índice de cambio climático en los salares del Triángulo del Litio, es necesario ocupar una base de datos diferente para cada país. Para el caso de Argentina, se utiliza el Sistema de Mapas de Riesgo de Cambio Climático. Para Bolivia es usado el UDAPE: Mapas de Vulnerabilidad Poblacional de Bolivia, mientras que para Chile se utiliza ARClím: Explorador de Amenazas Climáticas.

Esto se debe a que no se encontró una base de datos unificada que contara con información sobre amenazas climáticas para los 3 países.

A continuación, se detalla el procedimiento para el cálculo de cada índice de amenaza.

##### Amenaza de precipitaciones extremas

Debido a que se trabaja con 3 bases de datos diferentes, se debe explicar el cálculo de la amenaza para cada uno de los países en cuestión.

Para el cálculo de amenaza de precipitaciones extremas para **Argentina** se deben utilizar las capas del proyecto SIMARCC 2020, tomando como indicador la diferencia existente entre los días con precipitación diaria mayor a 50 mm futuras y los días con precipitación diaria mayor a 50 mm en el presente, tal y como se precisa en la Tabla 4.13.

Para la generación del mapa de amenazas, los parámetros “Emisiones”, “Período” y “Proyecciones” son rellenados con las opciones “Escenario de emisiones medias (RCP 4.5)”, “Período 2100” y “Proyección media en T y P” respectivamente. Una vez ajustados estos parámetros, la página arroja el mapa de amenazas de precipitaciones extremas para Argentina comparando las precipitaciones futuras (año 2100) con las presentes, y este puede ser descargado en formato shape (.shp) para luego ser procesado en QGis como capa vectorial. La base de datos resultante contiene el índice para la estimación de riesgo sin normalizar en una grilla de 50km x 55km.

Teniendo en cuenta que los datos resultantes corresponden a una diferencia en cantidad de días, para representar diferentes grados de amenaza en un mapa, se dividen los datos en 5 intervalos (amenaza muy baja, baja, media, alta y muy alta). Para esto los datos de cada salar se clasifican en los 5 intervalos de igual tamaño donde el umbral inferior (amenaza muy baja) corresponde a la menor diferencia entre los días con precipitación extrema del futuro con los del presente, o a una diferencia negativa, lo cual indica que en el futuro habrá menores precipitaciones extremas comparado con el presente. Por otro lado, el umbral superior (amenaza muy alta) corresponde a los lugares de la grilla con una mayor diferencia entre los días de precipitación extrema futura y los días de precipitación extrema presente.

Una vez definidos los intervalos para cada salar, a cada grado de amenaza (muy baja, baja,

media, alta y muy alta) se le debe asignar un valor entre 0 y 1 (Tabla 4.12), quedando así normalizados los valores.

Tabla 4.12: Asignación de valores al grado de amenaza. Elaboración propia.

Amenaza	Valor del índice
Muy bajo	1
Bajo	0,75
Medio	0,5
Alto	0,25
Muy alto	0

Por último, para asignarle a cada salar un valor de índices entre 0 y 1, se debe observar en QGis en qué posición de la grilla están ubicados los salares y cuáles son los índices de esa área. Esta asignación es bastante directa, excepto en aquellos salares que abarcan cuadrantes con 2 o más índices diferentes. En estos casos se procede a calcular un promedio entre estos valores para obtener un índice final para el salar.

Para el caso de **Bolivia**, en la página web de UDAPE, se encuentra disponible una base de datos para “Amenaza de inundaciones” para distintos municipios del país. En este caso la base de datos no es descargable, por lo cual se deben ingresar todos los datos de forma manual al programa QGIS para la realización del mapa de amenazas de Bolivia. Cada uno de los municipios tiene asociado un indicador: Bajo, Medio o Alto, donde al indicador “Bajo” se le asigna el valor 0,75, el indicador “Medio” equivale a 0,5 y el indicador “Alto” corresponde a 0,25. En este caso, el índice para cada salar también queda entre una escala que va desde 0 a 1.

Por último, en el caso de **Chile** se propone una metodología similar a la de Argentina anteriormente detallada, con la diferencia de que los datos de Chile no están separados o asignados en base a una grilla, sino que son divididos en provincias. Estos datos son obtenidos de la página web ARClím, donde se utiliza como capa geográfica las provincias de Chile y como amenaza climática los “días de precipitación muy intensa”, tal y como se detalla en la Tabla 4.13. La metodología es análoga excepto porque para asignarle a cada salar un valor de índices entre 0 y 1, se debe observar en QGis en qué provincias están ubicados los salares y cuáles son los índices de estas provincias.

Es así como se obtiene un índice de amenaza de precipitaciones extremas en una escala de 0 a 1 para cada uno de los países.

Tabla 4.13: Índices de amenaza de precipitaciones extremas para estimar el riesgo climático en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

Amenaza	País	Índice climático	Índice para la estimación del riesgo
9*Precipitaciones extremas	4*Argentina	4*Días con precipitación diaria >50mm	Xpp: días con precipitación mayor a 50 mm presente.
			Xpf: días con precipitación mayor a 50 mm futuro.
			Ap: Amenaza de precipitaciones extremas.
			Ap= Xpf-Xpp
	Bolivia	No se especifica en la fuente de la información	-
	4*Chile	4*Días de precipitación muy intensa	Xpp: días de precipitación muy intensa presente.
			Xpf: días de precipitación muy intensa futuro.
			Ap: Amenaza de precipitaciones extremas.
Ap= Xpf-Xpp			

### Amenaza de sequía

Para el cálculo del índice de amenaza de sequía se realiza un procedimiento análogo al de “Amenaza de precipitaciones extremas”, puesto que se utilizan las mismas 3 bases de datos con algunas modificaciones.

En el caso de **Argentina**, se siguen utilizando los datos del Sistema de Mapas de Riesgo de Cambio Climático (SIMARCC), sin embargo, esta vez se utilizan las Capas 3<sup>era</sup>. Com. Nac. 2015, tomando como indicador la variación existente entre la máxima longitud de días secos en un futuro y la máxima longitud de días secos en el presente, tal y como se detalla en la Tabla 4.14.

Los parámetros “Emisiones” y “Período” son rellenados con las opciones “Escenario de emisiones medias (RCP 4.5)” y “Futuro lejano (Proyección 2050-2100)” respectivamente. Una vez ajustados estos parámetros, la página arroja un mapa de amenazas de sequía para Argentina el cual puede ser descargado en formato shape (.shp) para luego ser procesado en QGis como capa vectorial. Esta base de datos contiene el índice para la estimación de riesgo de sequía sin normalizar en una grilla de 50 km x 55 km.

Nuevamente las amenazas se dividen en 5 intervalos (amenaza muy baja, baja, media, alta y muy alta) del mismo tamaño, donde el umbral inferior (amenaza muy baja) corresponde a la menor diferencia entre la máxima longitud de días secos en el futuro y la máxima longitud de días secos en el presente (o también a una diferencia negativa), lo cual indica que en el futuro la máxima longitud de días secos será menor que en el presente. Por otro lado, el umbral positivo corresponde a los lugares de la grilla con una mayor diferencia entre la máxima longitud de días secos en el futuro y el presente.

Una vez definidos los intervalos para cada salar, se procede a asignarle a cada salar un valor entre 0 y 1 según la Tabla 4.12, lo cual se lleva a cabo observando en QGIS en qué posición de la grilla están ubicados los salares y cuáles son los índices de esa área.

Para **Bolivia** se aplica exactamente la misma metodología que para la “Amenaza de precipitaciones extremas”, esta vez utilizando la base de datos “Amenaza de sequía” para los distintos municipios del país. Cada municipio tiene asociado los indicadores “Bajo”, “Medio” o “Alto”, a los cuales se les asignan los valores 0,75; 0,5 y 0,25 respectivamente.

Finalmente, para **Chile** se vuelve a utilizar los datos de ARCLIM, configurando como capa geográfica las provincias de Chile y como amenaza climática los “días secos consecutivos” (Tabla 4.14). Los datos son descargables en formato Excel (.xlsx) y se deben traspasar QGIS asignándole a cada provincia un valor para la amenaza. Luego los datos de amenaza se separan en 5 intervalos de igual tamaño (amenaza muy baja, baja, media, alta y muy alta) y a cada nivel de amenaza se le asigna un valor (Tabla 4.12). Posterior a esto se debe observar en qué provincia/s están ubicados los salares y cuáles son los índices de estas.

Tabla 4.14: Índices de amenaza de sequía para estimar el riesgo climático en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

Amenaza	País	Índice climático	Índice para la estimación del riesgo
9*Sequía	4*Argentina	4*Máxima longitud de días secos	Xsp: máxima longitud de días secos presente.
			Xsf: máxima longitud de días secos futuro.
			As: Amenaza de sequía.
			As: Xsf-Xsp
	Bolivia	No se especifica en la fuente de la información	-
	4*Chile	4*Días secos consecutivos	Xsp: días secos consecutivos presente.
			Xsf: días secos consecutivos futuros.
			As: Amenaza de sequía.
As= Xsf-Xsp			

De esta manera se obtiene un índice de amenaza de sequía en una escala e 0 a 1 para los 3 países.

## Exposición:

Teniendo en cuenta que la exposición es “*La presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente*” (GIZ & EURAC, 2017), para el análisis del riesgo de sequía y el riesgo de precipitaciones extremas (inundación), se considera como indicador de la exposición el área de los salares. Teniendo en cuenta que cada salar corresponde a una fuente de recursos ambientales y minerales con presencia de especies o ecosistemas (tales como los flamencos), se utiliza como indicador el área que cada salar abarca en superficie, siendo más favorable para el desarrollo de la minería de litio que exista una baja exposición, es decir, que el área afectada por eventos del cambio climático sean menores. Es por esto que para la exposición, mientras menos área tiene el salar, más favorable es el escenario y más cercano al 1 está la exposición.

Para el cálculo del área de los salares se utilizan capas vectoriales públicas de los salares de Argentina, Bolivia y Chile, las cuales se traspasan a QGis calculando su área mediante herramientas de este programa.

Se procede a crear una base de datos con las áreas de cada salar, y posteriormente se normalizan estos valores de acuerdo al percentil 90, ya que se considera que tener áreas tan elevadas como la del Salar de Uyuni o la del Salar de Atacama afectaría negativamente subestimando las áreas de los demás salares y por lo tanto su exposición.

La normalización, al igual que con los demás componentes del riesgo, se realiza dejando como resultado una exposición que va desde el 0 al 1, siendo 1 el mejor escenario (salar menos expuesto).

## Vulnerabilidades:

En cuanto a la vulnerabilidad, esta corresponde a *“la propensión o predisposición a ser afectado negativamente... y comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación”*. Para evaluar la vulnerabilidad se utilizan los indicadores anteriormente mostrados en la Tabla 4.10.

### Vulnerabilidad para precipitaciones extremas

Para la cuantificación de la vulnerabilidad para precipitaciones extremas se ha escogido el indicador “Pendiente promedio”. Para este cálculo en primer lugar se debe descargar un DEM (Modelo de Elevación Digital) que cubra toda el área donde se encuentran los salares del Triángulo del Litio. Posteriormente en QGis, a las capas vectoriales de salares de Argentina, Chile y Bolivia se les aplica la herramienta de geoprocso “*Buffer*”, la cual crea una capa para cada país, donde los nuevos polígonos rodean a los salares en función a 10 kilómetros de distancia con un estilo de terminación y estilo de ángulos redondos.

Posterior a esto se trabaja con el DEM en QGis, procesando la imagen con la herramienta “Pendiente”, obteniendo así una capa ráster con la pendiente del terreno que abarca el DEM. Esta se corta por una capa máscara (polígonos de salares del Triángulo del litio).

Es así como se obtienen capas ráster que incluye la pendiente para cada uno de los salares generándose un mapa slope (Figura 4.6). El promedio de la pendiente de cada buffer se obtiene fácilmente observando las propiedades de cada capa.

Una vez obtenida la pendiente promedio de cada uno de los salares se procede a normalizar estos datos en una escala que va desde 0 a 1, siendo 1 el escenario más favorable, es decir, el escenario donde la vulnerabilidad y la pendiente promedio es más baja.

## Mapa de pendientes de salares de Argentina, Bolivia y Chile

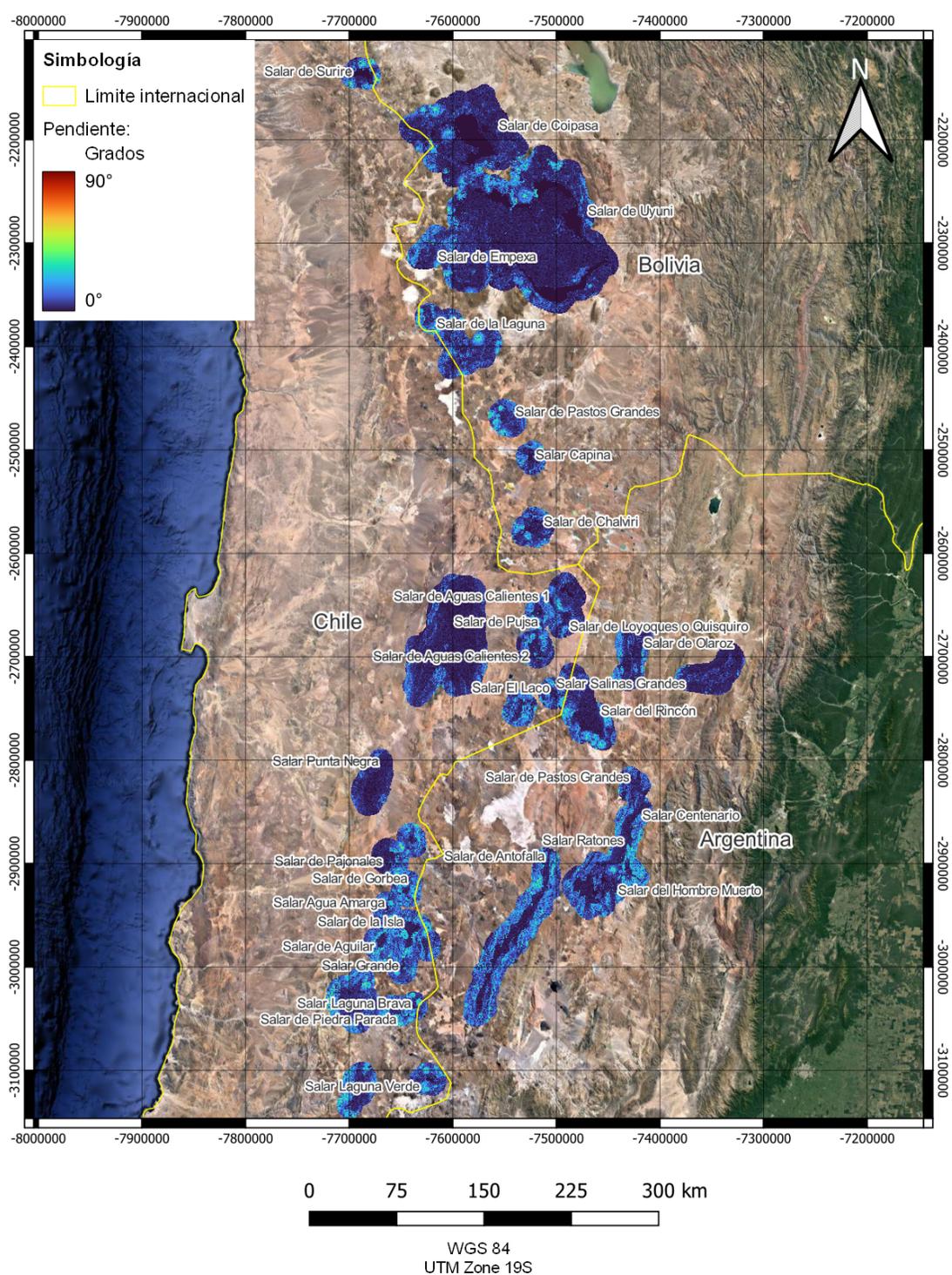


Figura 4.6: Mapa de pendientes (slope) de salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

## Vulnerabilidad para sequía

Para la cuantificación de la vulnerabilidad para sequía se utilizan dos indicadores: la distancia mínima existente desde el salar a una planta desaladora dentro del mismo país, y la cantidad de masas de agua (fuentes alterativas de agua) cercanas al salar dentro de un radio de 50 km.

Para calcular la distancia mínima que hay entre un salar y una planta desaladora dentro del mismo país, se debe recurrir a capas vectoriales públicas donde se especifica la ubicación geográfica de cada planta en caso de existir (Figura 4.7). Esta información se traspasa también a QGis y utilizando el complemento NNJoin se obtiene la distancia mínima de un salar a una planta desaladora.

## Plantas desaladoras en Argentina, Bolivia y Chile

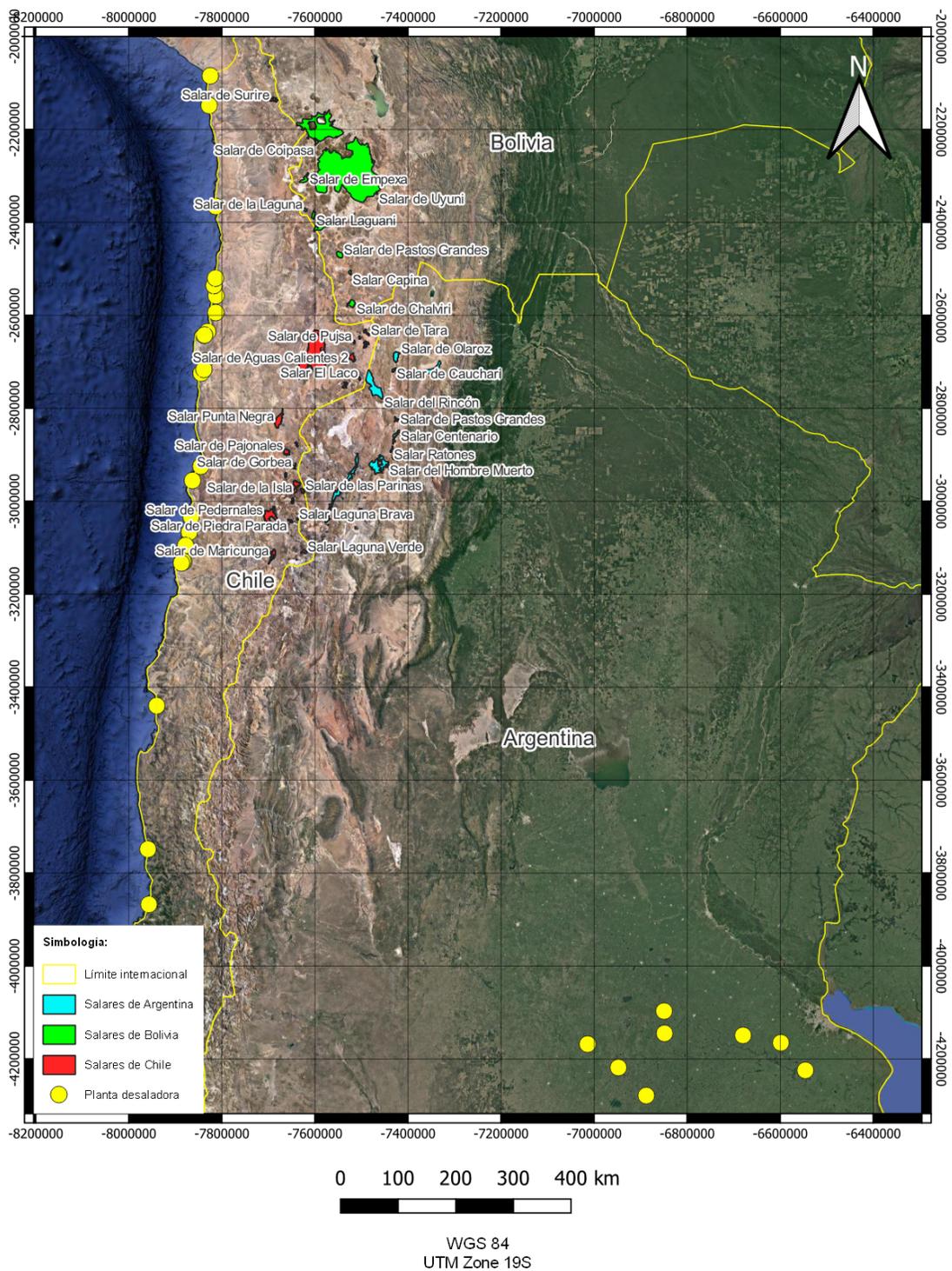


Figura 4.7: Mapa de plantas desaladoras en Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

En cuanto al número de masas de agua cercanas, se utilizan capas vectoriales públicas para los 3 países donde se distinguen otras fuentes de agua (lagos, lagunas, bofedales, etc). Para saber si estas masas de agua están dentro del radio de 50 km de cada salar, se realizan buffers de 50km de distancia y se procede a contar cuantas fuentes de agua hay dentro del radio (Figura 4.8).

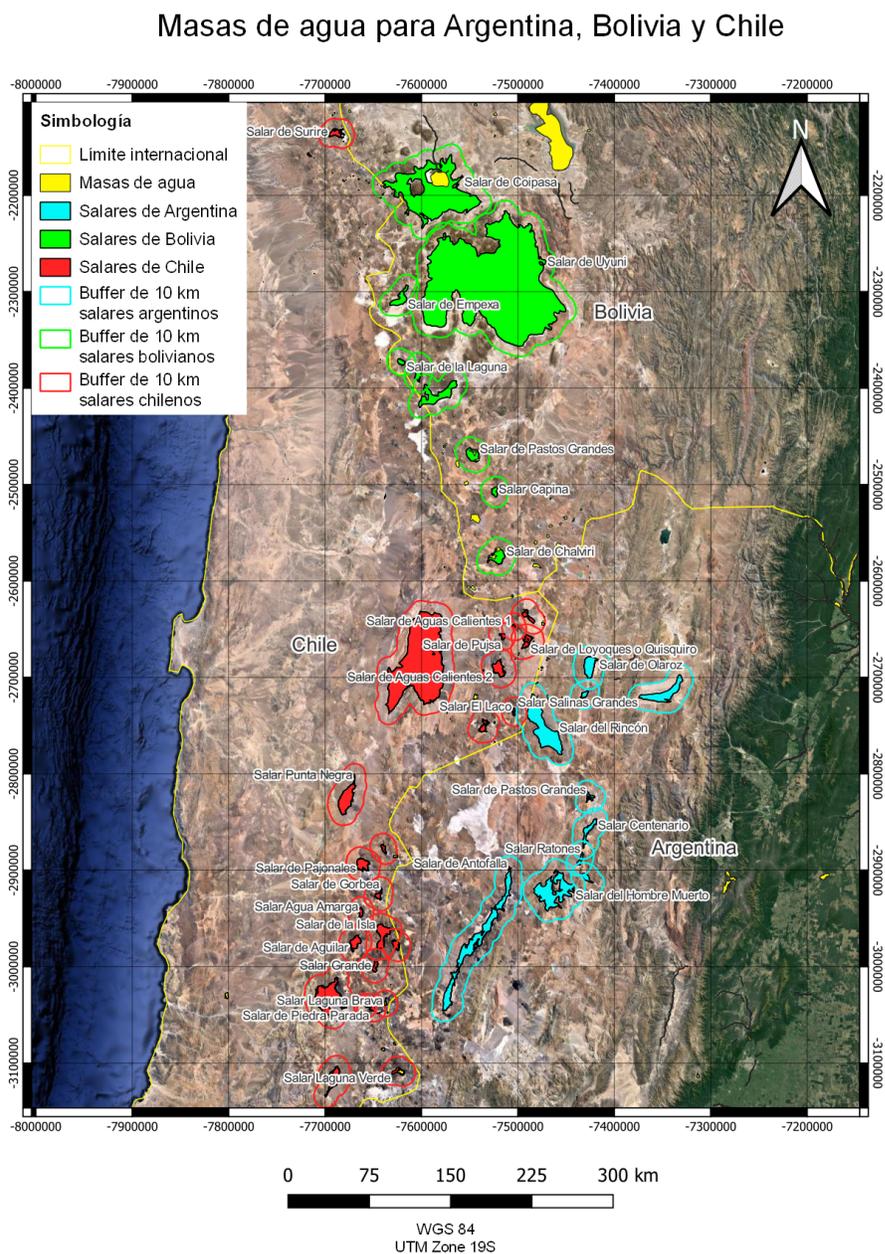


Figura 4.8: Masas de agua y buffers de 10 km para cada salar para el cálculo de vulnerabilidad de sequía. Elaboración propia.

Tanto los datos del indicador de plantas desaladoras, como el indicador sobre el número de masas de agua cercanas deben ser normalizadas, respetando la escala que va desde 0 a 1.

#### 4.4.5. Normalización de índices

Una vez obtenidos los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad, según la metodología de GIZ & EURAC, se debe proceder a normalizar cada uno de estos componentes del riesgo en valores que vayan desde 0 (mayor amenaza/exposición/vulnerabilidad) y 1 (menor amenaza/exposición/vulnerabilidad). La normalización de los índices es indispensable para un buen manejo de los datos ya que estos se usan para el cálculo del riesgo y del Índice de cambio climático final, que luego será ponderado con los demás índices (Índice de potencial geológico, Índice de gobernanza e Índice socioambiental).

La normalización se hace utilizando la siguiente fórmula de normalización lineal:

$$z_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4.6)$$

Donde:

- $z_i$  corresponde al índice de amenaza/exposición/vulnerabilidad normalizado.
- $x_i = (x_1, \dots, x_n)$  corresponde al índice sin normalizar.
- $\min(x)$  es el valor mínimo entre los datos para el índice de amenaza/exposición/vulnerabilidad sin normalizar (umbral mínimo).
- $\max(x)$  es el valor máximo entre los datos para el índice de amenaza/exposición/vulnerabilidad sin normalizar (umbral máximo).

#### Amenazas

Para la normalización de las amenazas la metodología cambia con respecto a la usada para la exposición y vulnerabilidad. Esto se debe a que para el cálculo del índice de amenazas ya se normalizaron los datos una vez, por lo cual, los índices calculados en la sección “Obtención de índices” se mantienen, encontrándose en una escala que va desde 0 a 1.

#### Exposición

Para la normalización de la exposición solo fue necesario aplicar la ecuación 4.6 en los datos que se tienen de “Área del salar”, ya que es este indicador el que se usa para el cálculo del riesgo de precipitaciones extremas y del riesgo de sequía en cada salar. Se obtiene que el umbral mínimo de exposición corresponde a un área de 6 km<sup>2</sup> y que el umbral máximo es de un área de 10.000 km<sup>2</sup>. Con estos datos se obtiene un índice de exposición normalizado entre 0 y 1 para cada salar.

Tabla 4.15: Umbrales mínimo y máximo de índice de exposición sin normalizar. Elaboración propia.

Indicador de exposición	Umbral mínimo de exposición	Umbral máximo de exposición
Área del salar	6km <sup>2</sup>	10.000 km <sup>2</sup>

## Vulnerabilidades

Para los indicadores de vulnerabilidad también se definen los umbrales mínimos y los umbrales máximos tal y como se puede observar en la Tabla 4.16.

Para la normalización de la vulnerabilidad para precipitaciones extremas se utiliza la pendiente promedio de cada uno de los salares tomando en cuenta los umbrales del indicador “Pendiente promedio del terreno”.

En el caso de la vulnerabilidad para sequía, en primer lugar se debe normalizar la vulnerabilidad para cada indicador (distancia mínima a planta desaladora y número de masas de agua cercanas) y luego se debe calcular el promedio aritmético de estos dos valores.

Cabe mencionar que para el indicador “Distancia mínima a planta desaladora dentro del país” sucede que ninguno de los salares bolivianos cumplen con este requisito, por lo que a estos salares se les asigna inmediatamente un índice de vulnerabilidad de sequía igual a 0 (escenario con mayor vulnerabilidad). Es por esto que la normalización se realiza utilizando solo los salares argentinos y chilenos tal y como indica la ecuación 4.6.

Tabla 4.16: Umbrales mínimo y máximo de índices de vulnerabilidad sin normalizar. Elaboración propia.

Indicador de vulnerabilidad	Umbral mínimo de vulnerabilidad	Umbral máximo de vulnerabilidad
Pendiente promedio del terreno	3,7 grados	13,5 grados
Distancia mínima a planta desaladora dentro del país	131,6 km	1.315 km
Nº de masas de agua cercanas	0	7

### 4.4.6. Cálculo del riesgo

Como se ha mencionado anteriormente, el riesgo está dado por la interacción de las amenazas, la vulnerabilidad y la exposición en un sistema. Este cálculo de riesgo se debe realizar para cada amenaza (precipitaciones extremas y sequía).

Para el cálculo del riesgo es necesario integrar estos 3 componentes. Según GIZ & EURAC (2017), no hay una sola manera de agregar los 3 componentes de riesgo a un indicador de riesgo compuesto. Se propone un enfoque de un solo paso que es consistente con el concepto de riesgo del IE5 del IPCC, el cual tiene la gran ventaja de ser simple. Su desventaja es la

falta de control sobre los efectos combinados, así como el posible efecto secundario de que un componente podría compensar a otro. Dichos análisis se realizarán más adelante cuando ya se obtengan los resultados y se puedan comparar con la realidad.

Teniendo en consideración que los índices para cada factor van de 0 a 1, la fórmula utilizada para el cálculo del riesgo climático (Índice climático) es la siguiente:

$$\text{Riesgo} = \frac{\text{Amenaza} + \text{Vulnerabilidad} + \text{Exposición}}{3} \quad (4.7)$$

Finalmente, los resultados se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 4.17: Índices y niveles de riesgo. Elaboración propia.

Nivel de riesgo	Valor del índice
Muy bajo	>0,8-1
Bajo	>0,6-0,8
Medio	>0,4-0,6
Alto	>0,2-0,4
Muy alto	0-0,2

## Índice de cambio climático

Una vez obtenido el valor del riesgo para precipitaciones extremas y para sequía, se aplica la siguiente fórmula para obtener finalmente el índice de cambio climático para cada uno de los salares.

$$\text{Índice de cambio climático} = \frac{\text{Riesgo de precipitaciones extremas} + \text{Riesgo de sequía}}{2} \quad (4.8)$$

## 4.5. Índice de potencial de desarrollo

Una vez obtenidos los índices (índice de potencial geológico, índice de gobernanza, índice socioambiental e índice de cambio climático), se procede al cálculo del Índice de potencial de desarrollo según la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de potencial de desarrollo} = \frac{a + b + c + d}{4} \quad (4.9)$$

Donde:

- $a$ = Índice de potencial geológico
- $b$ = Índice de gobernanza
- $c$ = Índice socioambiental
- $d$ = Índice de cambio climático

## 4.6. Estado actual de cada salar

Para poder comparar los resultados, obtenidos a partir del cálculo de índices, con la realidad del estado de desarrollo en los salares de Chile, Argentina y Bolivia, es necesario investigar sobre el actual estado de cada salar. Se procede a separarlos en 4 categorías: “Sin desarrollo”, “Exploración”, “Desarrollo” y “Producción”. A cada una de estas categorías se les asignó un valor entre 0 y 1, siendo 0 para el estado “Sin desarrollo”, 0.33 para el estado “Exploración”, 0.66 para el estado “Desarrollo” y 1 para el estado de “Producción”.

Las categorías se definen de la siguiente forma:

- Sin desarrollo: salares con nula actividad minera del litio o con trabajos de exploración que no se han logrado concretar.
- Exploración: salares en los que se ha realizado exploración de yacimientos a través de mapeos, análisis de campo, geofísica y/o geoquímica.
- Desarrollo: salares en los que se han desarrollado trabajos necesarios en el yacimiento para asegurar la alimentación sostenida del mineral a la planta de procesos.
- Producción: salares en los que se ha iniciado la alimentación sostenida de litio a la planta de procesamiento, de acuerdo a los requerimientos establecidos en los planes de producción del proyecto.

A continuación, se muestra en la Tabla 4.18 un resumen del estado actual de cada salar, con el fin de poder compararlo con los índices obtenidos por la metodología.

Tabla 4.18: Estado salares. Elaboración propia.

País	Salar	Estado salar	Valor estado salar	Fuente
Argentina	Antofalla	Exploración	0,33	Panorama Minero. (2022, 13 abril). Argentina Lithium amplía su posición en el Salar de Antofalla.
Argentina	Caucharí	Desarrollo	0,66	Secretaría de Minería. (s.f.). Catálogo de Proyectos Avanzados de Litio en Argentina.
Argentina	Centenario Ratonés	Desarrollo	0,66	Secretaría de Minería. (s.f.). Catálogo de Proyectos Avanzados de Litio en Argentina.
Argentina	Diablillos	Producción	1	Desde el Salar de Diablillos exportan cloruro de litio condensado a China. (2020, 26 noviembre). Futuro Sustentable.
Argentina	Hombre Muerto	Producción	1	Conflicto Minero: Extracción de Litio en Salar del Hombre Muerto. (s. f.). Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, OCMAL.
Argentina	Olaroz	Desarrollo	0,66	Secretaría de Minería. (s.f.). Catálogo de Proyectos Avanzados de Litio en Argentina.
Argentina	Pastos Grandes	Desarrollo	0,66	Secretaría de Minería. (s.f.). Catálogo de Proyectos Avanzados de Litio en Argentina.
Argentina	Rincón	Desarrollo	0,66	Secretaría de Minería. (s.f.). Catálogo de Proyectos Avanzados de Litio en Argentina.
Argentina	Salinas Grandes	Sin desarrollo	0	Sal y Litio: defensa ante el negocio del extractivismo en Salinas Grandes. (2019, 23 febrero). Museo de Antropología.
Bolivia	Uyuni	Exploración	0,33	YLB. (2022). Informe final de resultados: Convocatoria Internacional de Extracción Directa de Litio (EDL).
Bolivia	Coipasa	Exploración	0,33	YLB. (2022). Informe final de resultados: Convocatoria Internacional de Extracción Directa de Litio (EDL).
Bolivia	Chiguana	Sin desarrollo	0	-
Bolivia	Empexa	Sin desarrollo	0	-
Bolivia	Chalviri	Sin desarrollo	0	-
Bolivia	Laguani	Sin desarrollo	0	-
Bolivia	Capina	Sin desarrollo	0	-
Bolivia	de la Laguna	Sin desarrollo	0	-
Chile	Atacama	Producción	1	Albemarle Chile. (s.f.). Planta Salar Atacama.
Chile	Pedernales	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Pedernales.
Chile	Punta Negra	Sin desarrollo	0	Carrere, M. (2021, 29 junio). Chile: ¿Es muy tarde para salvar el salar de Punta Negra? Noticias ambientales.
Chile	La Isla	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de la Isla.
Chile	Maricunga	Exploración	0,33	San Juan, P. (2022, 16 febrero). Codelco inicia trabajos de exploración en el Salar de Maricunga para definir si explotación de litio es viable. La Tercera.
Chile	Surire	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Surire.
Chile	Aguas Calientes 2	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Aguas Calientes Centro 2
Chile	Pajonales	Exploración	0,33	Cacciatore, C. (2020, 27 mayo). BMG Resources desecha acuerdo de litio en Chile. Reporte Minero.
Chile	Loyoques/ Quisquiro	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Loyoques o Quisquiro.
Chile	Aguilar	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Aguilar.
Chile	Tara	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Tara.
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Aguas Calientes Sur 3 o Purisunchi (Talar).

País	Salar	Estado salar	Valor estado salar	Fuente
Chile	Las Parinas	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de las Parinas.
Chile	Grande	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar Grande.
Chile	Piedra Parada	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Piedra Parada.
Chile	Gorbea	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Gorbea.
Chile	Agua Amarga	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Agua Amarga.
Chile	Aguas Calientes 4	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Aguas Calientes Sur Sur o 4.
Chile	Pujsa	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Pujsa.
Chile	El Laco	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar El Laco.
Chile	Laguna Verde	Exploración	0,33	Minería Chilena. (2017, 11 diciembre). Wealth inició trabajos de perforación en proyecto de litio Laguna Verde.
Chile	Laguna Brava	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar Lagunas Bravas.
Chile	Aguas Calientes 1	Exploración	0,33	Sernageomin. (s.f.). Ficha técnica compilada Salar de Aguas Calientes Norte o 1.

Para poder comparar las diferencias o similitudes entre el verdadero estado de los salares y lo obtenido a partir de los índices propuestos se calcula al valor absoluto de la diferencia entre el valor “Estado salar” y el valor “Índice de potencial de desarrollo”.

Luego, se suman las diferencias de todos los salares estudiados con el fin de conseguir un único valor que refleje la diferencia existente entre la metodología y la situación de cada salar para todos los salares en conjunto.

# Capítulo 5

## Resultados

Los resultados de este estudio corresponden a la aplicación de la metodología anteriormente propuesta, obteniendo de esta manera el índice de potencial geológico, índice de gobernanza, índice socioambiental e índice de cambio climático con los cuales se calcula el índice de potencial de desarrollo de la minería de litio en salares de Argentina, Bolivia y Chile.

El resultado de cada índice se encuentra detallado en tablas, mientras que para el caso del índice de cambio climático, también se tienen como resultado mapas correspondiente a los mapas de amenazas, vulnerabilidades, exposición y riesgo frente al cambio climático de los diversos salares.

### 5.1. Resultados para potencial geológico

Para el cálculo del potencial geológico inferido se utiliza el área, recursos, reservas y concentración de litio de cada salar en la fórmula descrita en la metodología. Una vez obtenidos estos datos se procede a normalizar el potencial geológico inferido para así obtener el “Índice de potencial geológico” con valores entre 0 y 1 (Tabla 5.1).

Tabla 5.1: Cálculo del Índice de potencial geológico. Elaboración propia.

País	Salar	Potencial geológico inferido (ton)	Índice de potencial geológico
Argentina	Antofalla	4.012.470	<b>0,190</b>
Argentina	Caucharí	1.185.000	<b>0,056</b>
Argentina	Centenario Ratones	706.317	<b>0,033</b>
Argentina	Diablillos	24.302	<b>0,001</b>
Argentina	Hombre Muerto	2.739.441	<b>0,130</b>
Argentina	Olaroz	1.210.000	<b>0,057</b>
Argentina	Pastos Grandes	924.000	<b>0,044</b>
Argentina	Rincón	274.222	<b>0,013</b>
Argentina	Salinas Grandes	880.680	<b>0,042</b>
Bolivia	Uyuni	21.089.145	<b>1,000</b>
Bolivia	Coipasa	6.732.933	<b>0,319</b>
Bolivia	Chiguana	334.140	<b>0,016</b>
Bolivia	Empexa	59.219	<b>0,003</b>
Bolivia	Chalviri	57.220	<b>0,003</b>
Bolivia	Laguani	22.471	<b>0,001</b>
Bolivia	Capina	9.832	<b>0,000</b>
Bolivia	de la Laguna	3.579	<b>0,000</b>
Chile	Atacama	11.370.000	<b>0,539</b>
Chile	Pedernales	375.000	<b>0,018</b>
Chile	Punta Negra	220.000	<b>0,010</b>
Chile	La Isla	270.000	<b>0,013</b>
Chile	Maricunga	918.000	<b>0,044</b>
Chile	Surire	180.000	<b>0,009</b>
Chile	Aguas Calientes 2	1.626	<b>0,000</b>
Chile	Pajonales	32.726	<b>0,002</b>
Chile	Loyoques/Quisquiro	56.545	<b>0,003</b>
Chile	Aguilar	70.000	<b>0,003</b>
Chile	Tara	20.307	<b>0,001</b>
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	46	<b>0,000</b>
Chile	Las Parinas	50.000	<b>0,002</b>
Chile	Grande	570	<b>0,000</b>
Chile	Piedra Parada	2.244	<b>0,000</b>
Chile	Gorbea	5.327	<b>0,000</b>
Chile	Agua Amarga	112	<b>0,000</b>
Chile	Aguas Calientes 4	693	<b>0,000</b>
Chile	Pujsa	3.702	<b>0,000</b>
Chile	El Laco	20	<b>0,000</b>
Chile	Laguna Verde	97	<b>0,000</b>
Chile	Laguna Brava	3	<b>0,000</b>
Chile	Aguas Calientes 1	144	<b>0,000</b>

## 5.2. Resultados para gobernanza

El Índice de gobernanza para cada salar se calcula promediando el Policy Perception Index (o Índice de Percepción de Políticas) y el Worldwide Governance Indicators (WGI) que incluye 6 indicadores de gobernanza mundial.

En la Tabla 5.2 se puede ver el valor de ambos índices para cada salar, además del resultado final para el Índice de Gobernanza obtenido del promedio de los índices anteriormente mencionados.

Tabla 5.2: Datos para cálculo de Índice de gobernanza. Elaboración propia.

País	Salar	Indicador de gobernanza mundial	Índice de Percepción de Políticas	Índice de gobernanza
Argentina	Antofalla	0,47	0,67	<b>0,57</b>
Argentina	Caucharí	0,47	0,66	<b>0,57</b>
Argentina	Centenario Ratonos	0,47	0,81	<b>0,64</b>
Argentina	Diablillos	0,47	0,81	<b>0,64</b>
Argentina	Hombre Muerto	0,47	0,67	<b>0,57</b>
Argentina	Olaroz	0,47	0,66	<b>0,57</b>
Argentina	Pastos Grandes	0,47	0,81	<b>0,64</b>
Argentina	Rincón	0,47	0,81	<b>0,64</b>
Argentina	Salinas Grandes	0,47	0,66	<b>0,57</b>
Bolivia	Uyuni	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Coipasa	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Chiguana	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Empexa	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Chalviri	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Laguani	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	Capina	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Bolivia	de la Laguna	0,36	0,32	<b>0,34</b>
Chile	Atacama	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Pedernales	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Punta Negra	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	La Isla	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Maricunga	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Surire	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Aguas Calientes 2	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Pajonales	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Loyoques/ Quisquiro	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Aguilar	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Tara	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Las Parinas	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Grande	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Piedra Parada	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Gorbea	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Agua Amarga	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Aguas Calientes 4	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Pujsa	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	El Laco	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Laguna Verde	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Laguna Brava	0,69	0,69	<b>0,69</b>
Chile	Aguas Calientes 1	0,69	0,69	<b>0,69</b>

### 5.3. Resultados para conflictos socioambientales

Utilizando el mapa de conflictos socioambientales de la región correspondiente al Triángulo del Litio (Figura 5.1) y aplicando la metodología ya descrita, se obtienen los datos mostrados en la Tabla 5.3, donde se detalla la suma de puntos para conflictos en un radio menor a 50 kilómetros, conflictos entre los 50 y 200 km de distancia y conflictos entre los 200 y los 500 km de distancia. Estos valores se ponderan de acuerdo a lo establecido y se obtiene finalmente el Índice socioambiental. Mientras más cercano a 1 es el índice, más favorable es el escenario para el desarrollo de la minería de litio en cada salar.

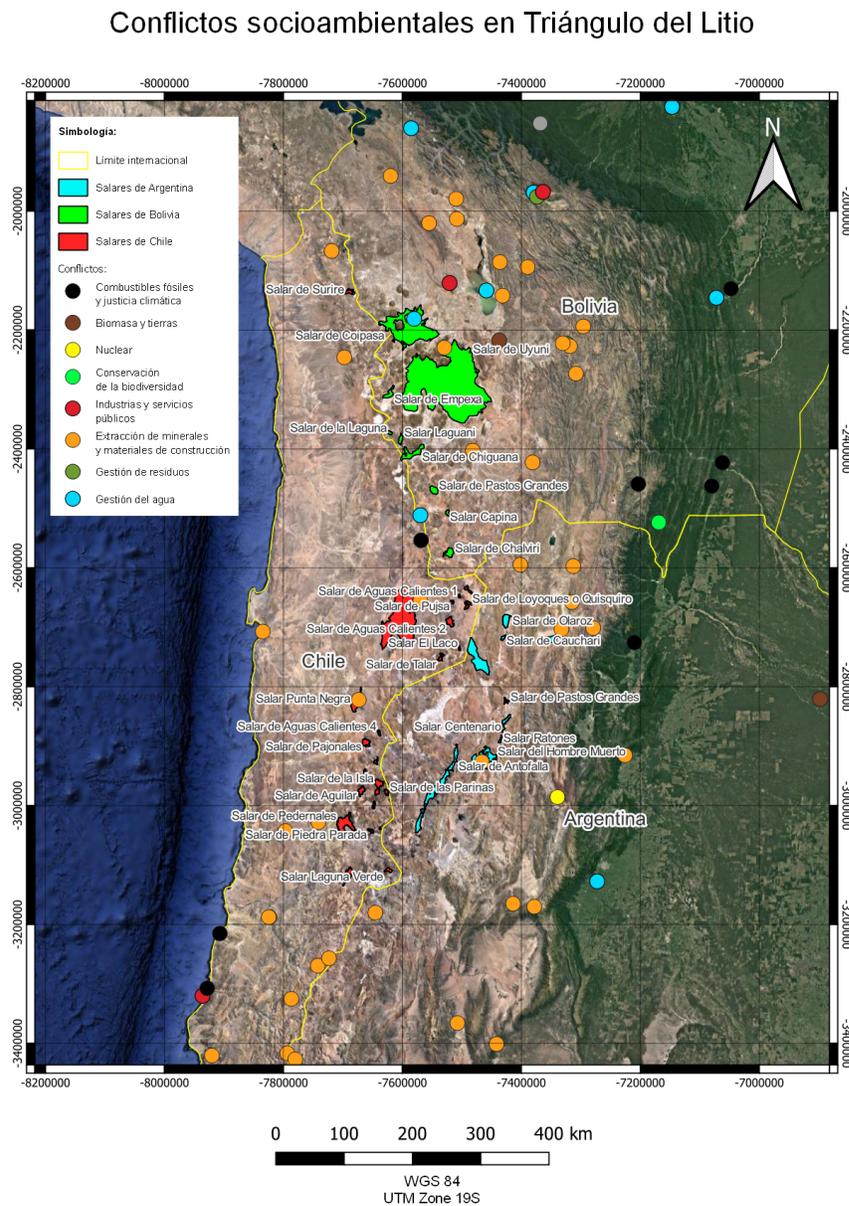


Figura 5.1: Mapa de conflictos socioambientales en el Triángulo del litio. Elaboración propia a partir de Atlas Global de Justicia Ambiental (EJAtlas).

Tabla 5.3: Datos para cálculo de Índice socioambiental. Elaboración propia.

País	Salár	Conflictos <50km	Conflictos 50<x<200km	Conflictos 200<x<500km	Ponderación	Índice socioambiental
Argentina	Antofalla	1,00	2,25	9,50	4,50	0,56
Argentina	Caucharí	0,00	4,25	5,25	3,44	0,70
Argentina	Centenario Ratones	0,00	3,75	7,25	3,69	0,66
Argentina	Diablillos	0,00	2,25	8,75	3,31	0,71
Argentina	Hombre Muerto	1,00	1,25	9,25	3,94	0,63
Argentina	Olaroz	0,00	3,25	6,25	3,19	0,73
Argentina	Pastos Grandes	0,00	3,75	6,75	3,56	0,68
Argentina	Rincón	0,00	3,50	5,75	3,19	0,73
Argentina	Salinas Grandes	1,50	1,75	6,25	3,94	0,63
Bolivia	Uyuni	2,00	12,00	3,50	8,88	0,00
Bolivia	Coipasa	1,75	8,50	8,00	8,00	0,11
Bolivia	Chiguana	0,00	4,00	17,75	6,44	0,31
Bolivia	Empexa	0,00	4,75	9,25	4,69	0,54
Bolivia	Chalviri	0,00	2,25	13,25	4,44	0,57
Bolivia	Laguani	0,00	3,25	10,50	4,25	0,59
Bolivia	Capina	0,75	1,50	16,00	5,50	0,43
Bolivia	de la Laguna	0,00	3,25	9,75	4,06	0,62
Chile	Atacama	0,75	2,00	5,25	3,06	0,74
Chile	Pedernales	0,75	4,25	6,00	4,38	0,58
Chile	Punta Negra	0,75	1,50	6,50	3,13	0,74
Chile	La Isla	0,00	1,75	7,75	2,81	0,78
Chile	Maricunga	0,00	5,00	7,00	4,25	0,59
Chile	Surire	0,00	1,50	1,25	1,06	1,00
Chile	Aguas Calientes 2	0,75	1,25	2,50	2,00	0,88
Chile	Pajonales	0,00	1,75	7,00	2,63	0,80
Chile	Loyoques/ Quisquiro	0,00	1,25	3,25	1,44	0,95
Chile	Aguilar	0,00	1,75	8,50	3,00	0,75
Chile	Tara	0,00	1,25	3,25	1,44	0,95
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,00	2,00	5,75	2,44	0,82
Chile	Las Parinas	0,00	1,75	7,75	2,81	0,78
Chile	Grande	0,00	1,75	8,50	3,00	0,75
Chile	Piedra Parada	0,00	4,25	6,75	3,81	0,65
Chile	Gorbea	0,00	1,75	7,75	2,81	0,78
Chile	Agua Amarga	0,00	1,75	7,75	2,81	0,78
Chile	Aguas Calientes 4	0,00	1,50	7,25	2,56	0,81
Chile	Pujsa	0,75	0,50	3,25	1,81	0,90
Chile	El Laco	0,00	2,00	4,00	2,00	0,88
Chile	Laguna Verde	0,00	4,25	7,00	3,88	0,64
Chile	Laguna Brava	0,00	4,25	6,75	3,81	0,65
Chile	Aguas Calientes 1	0,00	1,25	3,25	1,44	0,95

## 5.4. Resultados para cambio climático

Ya que para la obtención del Índice de cambio climático es necesario conocer el riesgo asociado a cada uno de los salares, se presenta en primer lugar los resultados para cada una de las componentes del riesgo (amenazas, exposición y vulnerabilidad). Cada componente del riesgo es representada por un mapa que clasifica a cada salar del Triángulo del Litio con un nivel determinado de amenaza, exposición y vulnerabilidad, tal y como lo indica la metodología. Estos valores también son expresados numéricamente en sus respectivas tablas.

### 5.4.1. Mapa de Amenaza de precipitaciones extremas

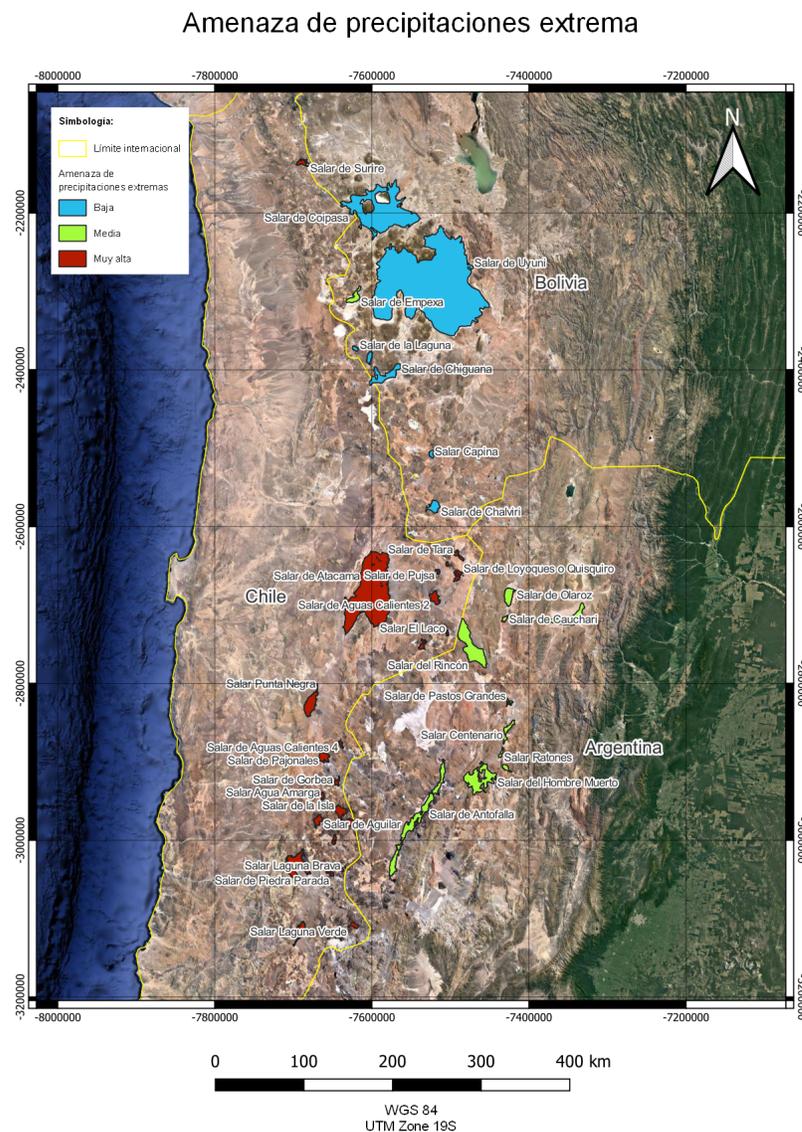


Figura 5.2: Mapa de amenaza de precipitaciones extremas para salares de Chile, Argentina y Bolivia. Elaboración propia a partir de mapas de ARCLim, SIMARCC y UDAPE.

En este mapa de amenazas de precipitaciones extremas se puede observar que cada uno de los salares tiene asociado un nivel de amenaza (baja, media o alta), siendo los salares chilenos los que presentan en su totalidad una amenaza muy alta. Por otro lado, la totalidad de salares argentinos tienen un nivel de amenaza medio, mientras que casi todos los salares bolivianos cuentan con una amenaza baja para precipitaciones extremas.

Cada salar tiene asignado un valor entre 0 y 1 para la amenaza (Tabla 5.4), el cual más adelante debe ser ponderado junto con el valor de la exposición y la vulnerabilidad.

Tabla 5.4: Tabla de amenaza de precipitaciones extremas. Elaboración propia.

País	Salar	Amenaza de precipitaciones extremas
Argentina	Antofalla	0,50
Argentina	Caucharí	0,50
Argentina	Centenario Ratones	0,50
Argentina	Diablillos	0,50
Argentina	Hombre Muerto	0,50
Argentina	Olaroz	0,50
Argentina	Pastos Grandes	0,50
Argentina	Rincón	0,50
Argentina	Salinas Grandes	0,50
Bolivia	Uyuni	0,75
Bolivia	Coipasa	0,75
Bolivia	Chiguana	0,75
Bolivia	Empexa	0,50
Bolivia	Chalviri	0,75
Bolivia	Laguani	0,75
Bolivia	Capina	0,75
Bolivia	de la Laguna	0,75
Chile	Atacama	0,00
Chile	Pedernales	0,00
Chile	Punta Negra	0,00
Chile	La Isla	0,00
Chile	Maricunga	0,00
Chile	Surire	0,00
Chile	Aguas Calientes 2	0,00
Chile	Pajonales	0,00
Chile	Loyoques/Quisquiro	0,00
Chile	Aguilar	0,00
Chile	Tara	0,00
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,00
Chile	Las Parinas	0,00
Chile	Grande	0,00
Chile	Piedra Parada	0,00
Chile	Gorbea	0,00
Chile	Agua Amarga	0,00
Chile	Aguas Calientes 4	0,00
Chile	Pujsa	0,00
Chile	El Laco	0,00
Chile	Laguna Verde	0,00
Chile	Laguna Brava	0,00
Chile	Aguas Calientes 1	0,00

## 5.4.2. Mapa de Amenaza de sequía

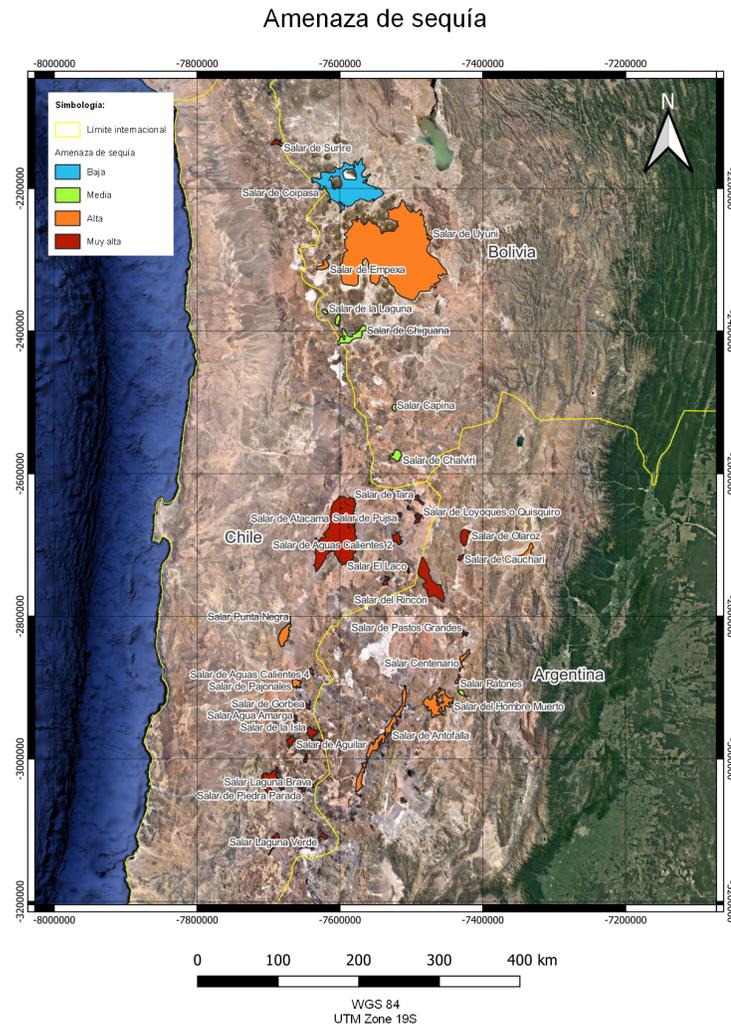


Figura 5.3: Mapa de amenaza de sequía para salares de Chile, Argentina y Bolivia. Elaboración propia a partir de mapas de ARClm, SIMARCC y UDAPE.

En este caso, la amenaza de sequía para los salares va desde baja hasta muy alta, siendo los salares chilenos y argentinos los más afectados en promedio.

Los valores que reflejan la Amenaza de sequía para cada salar se muestran a continuación (Tabla 5.5):

Tabla 5.5: Tabla de amenaza de sequía. Elaboración propia.

País	Salar	Amenaza de sequía
Argentina	Antofalla	0,375
Argentina	Caucharí	0,000
Argentina	Centenario Ratones	0,375
Argentina	Diablillos	0,500
Argentina	Hombre Muerto	0,375
Argentina	Olaroz	0,000
Argentina	Pastos Grandes	0,250
Argentina	Rincón	0,125
Argentina	Salinas Grandes	0,375
Bolivia	Uyuni	0,250
Bolivia	Coipasa	0,750
Bolivia	Chiguana	0,500
Bolivia	Empexa	0,250
Bolivia	Chalviri	0,500
Bolivia	Laguani	0,500
Bolivia	Capina	0,500
Bolivia	de la Laguna	0,500
Chile	Atacama	0,000
Chile	Pedernales	0,000
Chile	Punta Negra	0,250
Chile	La Isla	0,000
Chile	Maricunga	0,000
Chile	Surire	0,000
Chile	Aguas Calientes 2	0,000
Chile	Pajonales	0,250
Chile	Loyoques/Quisquiro	0,000
Chile	Aguilar	0,000
Chile	Tara	0,000
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,000
Chile	Las Parinas	0,000
Chile	Grande	0,000
Chile	Piedra Parada	0,000
Chile	Gorbea	0,000
Chile	Agua Amarga	0,000
Chile	Aguas Calientes 4	0,250
Chile	Pujsa	0,000
Chile	El Laco	0,000
Chile	Laguna Verde	0,000
Chile	Laguna Brava	0,000
Chile	Aguas Calientes 1	0,000

### 5.4.3. Mapas de exposición

#### Exposición Argentina

La exposición de cada salar es calculada a partir del área que estos ocupan en la superficie. Para esto se realizan los siguientes 3 mapas, que muestran los polígonos para cada salar de Chile, Argentina y Bolivia y sus respectivos niveles de exposición (Figura 5.4, 5.5 y 5.6).

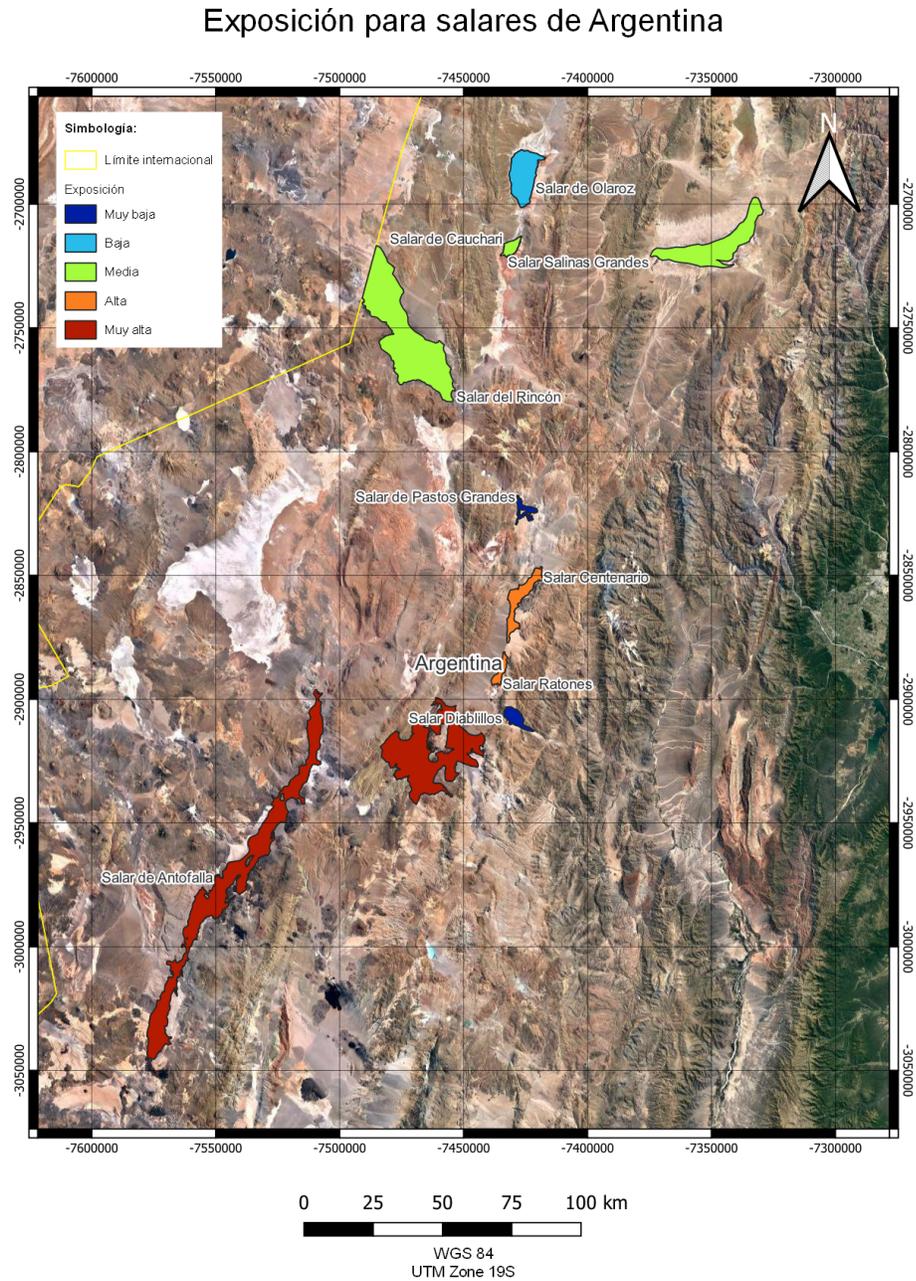


Figura 5.4: Mapa de exposición de Argentina. Elaboración propia.

# Exposición Bolivia

## Exposición para salares de Bolivia

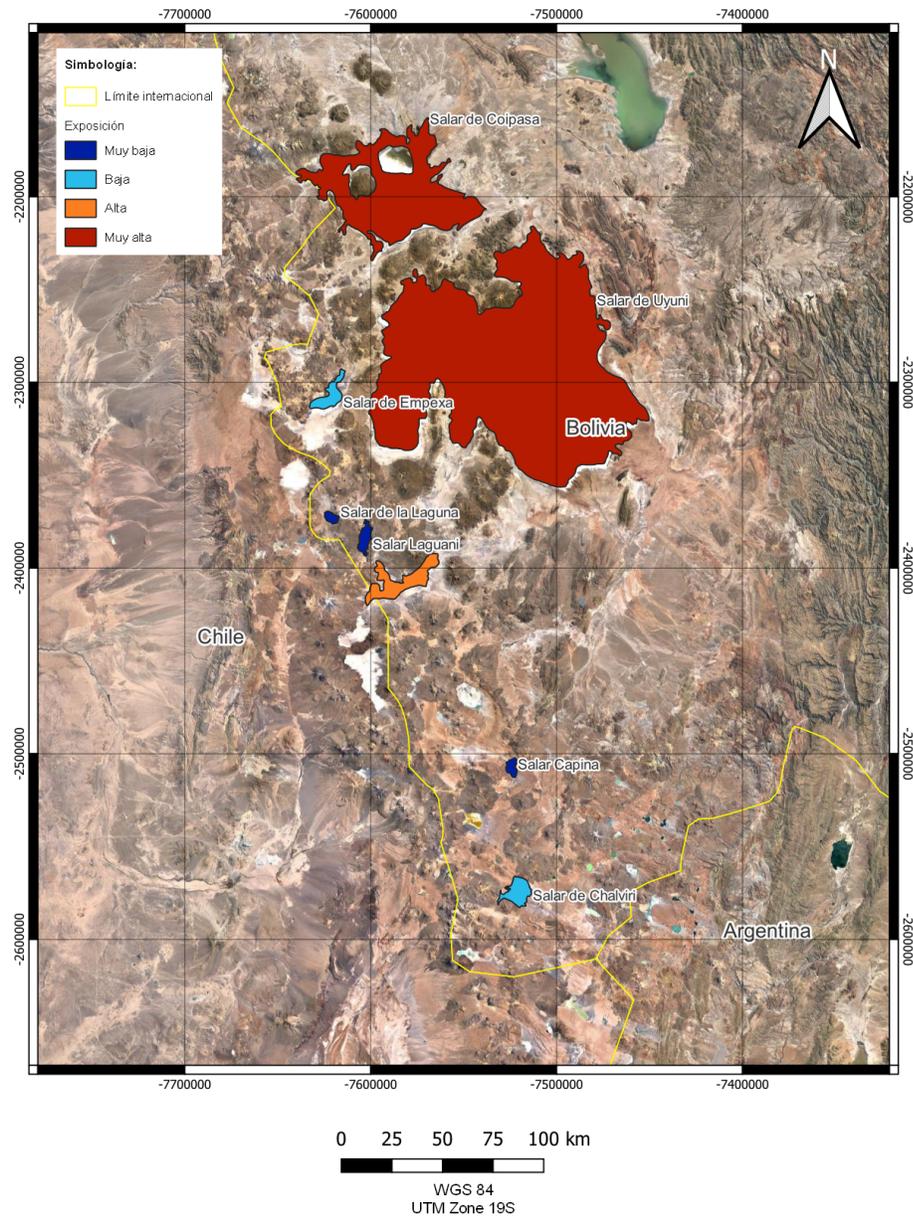


Figura 5.5: Mapa de exposición de Bolivia. Elaboración propia.

# Exposición Chile

## Exposición para salares de Chile

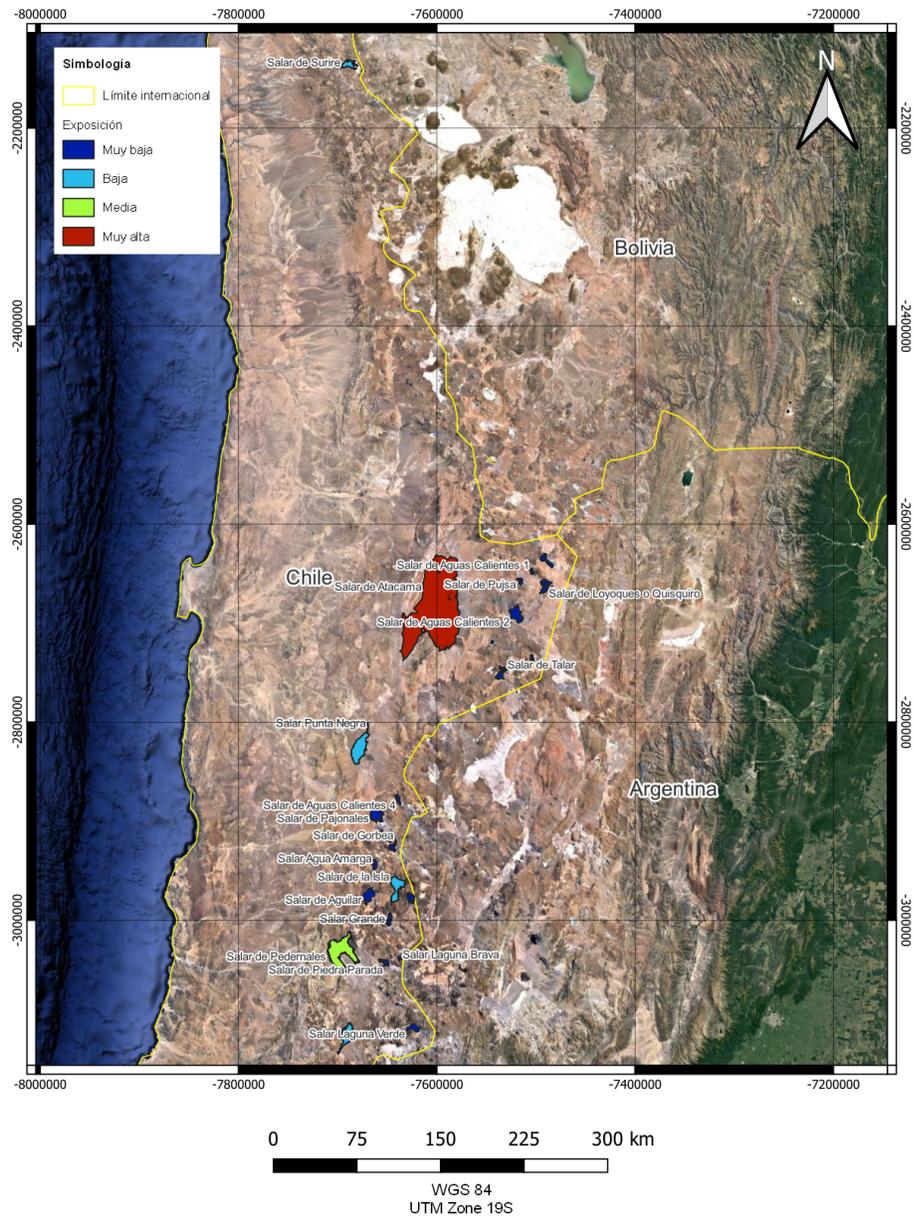


Figura 5.6: Mapa de exposición de Chile. Elaboración propia.

Cada área es normalizada utilizando el percentil 90, es decir, que el 10% de los salares con mayor área son quitados de la normalización y se les asigna inmediatamente el valor 0 de exposición, esto debido a que áreas tan grandes pueden afectar negativamente en el cálculo de esta variable subestimando su valor para algunos salares. Los valores para la exposición de todos los salares se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6: Cálculo de exposición para cada salar. Elaboración propia.

País	Salar	Área [km <sup>2</sup> ]	Exposición
Argentina	Antofalla	1.040	0,000
Argentina	Caucharí	282	0,571
Argentina	Centenario Ratonos	500	0,233
Argentina	Diablillos	57	0,921
Argentina	Hombre Muerto	650	0,000
Argentina	Olaroz	167	0,750
Argentina	Pastos Grandes	126	0,814
Argentina	Rincón	360	0,450
Argentina	Salinas Grandes	302	0,540
Bolivia	Uyuni	10.000	0,000
Bolivia	Coipasa	2.218	0,000
Bolivia	Chiguana	415	0,365
Bolivia	Empexa	158	0,764
Bolivia	Chalviri	155	0,769
Bolivia	Laguani	92	0,866
Bolivia	Capina	58	0,919
Bolivia	de la Laguna	33	0,958
Chile	Atacama	3.062	0,000
Chile	Pedernales	335	0,489
Chile	Punta Negra	250	0,621
Chile	La Isla	152	0,773
Chile	Maricunga	145	0,784
Chile	Surire	144	0,786
Chile	Aguas Calientes 2	134	0,801
Chile	Pajonales	104	0,848
Chile	Loyoques/Quisquiro	80	0,885
Chile	Aguilar	71	0,899
Chile	Tara	48	0,935
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	46	0,938
Chile	Las Parinas	40	0,947
Chile	Grande	29	0,964
Chile	Piedra Parada	28	0,966
Chile	Gorbea	27	0,967
Chile	Agua Amarga	23	0,974
Chile	Aguas Calientes 4	20	0,978
Chile	Pujsa	18	0,981
Chile	El Laco	16	0,984
Chile	Laguna Verde	15	0,986
Chile	Laguna Brava	10	0,994
Chile	Aguas Calientes 1	6	1,000

## 5.4.4. Vulnerabilidad

### Precipitaciones extremas

Para el cálculo de la vulnerabilidad de los salares frente a precipitaciones extremas se utiliza el factor “Pendiente promedio del terreno”, el cuál está detallado para cada salar en la siguiente tabla. Estos valores son posteriormente normalizados obteniendo la vulnerabilidad.

Tabla 5.7: Cálculo de vulnerabilidad para precipitaciones extremas. Elaboración propia.

País	Salar	Pendiente promedio	Vulnerabilidad precipitaciones extremas
Argentina	Antofalla	9,75	0,383
Argentina	Caucharí	7,27	0,637
Argentina	Centenario Ratones	9,48	0,411
Argentina	Diablillos	13,14	0,036
Argentina	Hombre Muerto	7,95	0,568
Argentina	Olaroz	6,71	0,695
Argentina	Pastos Grandes	6,87	0,678
Argentina	Rincón	7,49	0,615
Argentina	Salinas Grandes	3,84	0,989
Bolivia	Uyuni	4,29	0,943
Bolivia	Coipasa	4,43	0,928
Bolivia	Chiguana	7,63	0,600
Bolivia	Empexa	8,38	0,524
Bolivia	Chalviri	7,46	0,618
Bolivia	Laguani	8,34	0,528
Bolivia	Capina	8,87	0,473
Bolivia	de la Laguna	10,63	0,293
Chile	Atacama	3,86	0,987
Chile	Pedernales	10,13	0,344
Chile	Punta Negra	3,73	1,000
Chile	La Isla	11,07	0,248
Chile	Maricunga	10,05	0,352
Chile	Surire	10,02	0,356
Chile	Aguas Calientes 2	7,77	0,586
Chile	Pajonales	7,27	0,637
Chile	Loyoques/Quisquiro	7,12	0,653
Chile	Aguilar	11,77	0,176
Chile	Tara	4,72	0,899
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	10,11	0,346
Chile	Las Parinas	9,54	0,405
Chile	Grande	10,42	0,315
Chile	Piedra Parada	13,49	0,000
Chile	Gorbea	11,55	0,199
Chile	Agua Amarga	10,44	0,313
Chile	Aguas Calientes 4	11,00	0,255
Chile	Pujsa	10,49	0,307
Chile	El Laco	9,86	0,372
Chile	Laguna Verde	9,64	0,394
Chile	Laguna Brava	11,32	0,222
Chile	Aguas Calientes 1	9,63	0,395

También se obtiene como resultado el Mapa de vulnerabilidad de precipitaciones extremas, en el cual se le otorga a cada salar un nivel de vulnerabilidad (Figura 5.7).

### Vulnerabilidad de precipitaciones extremas

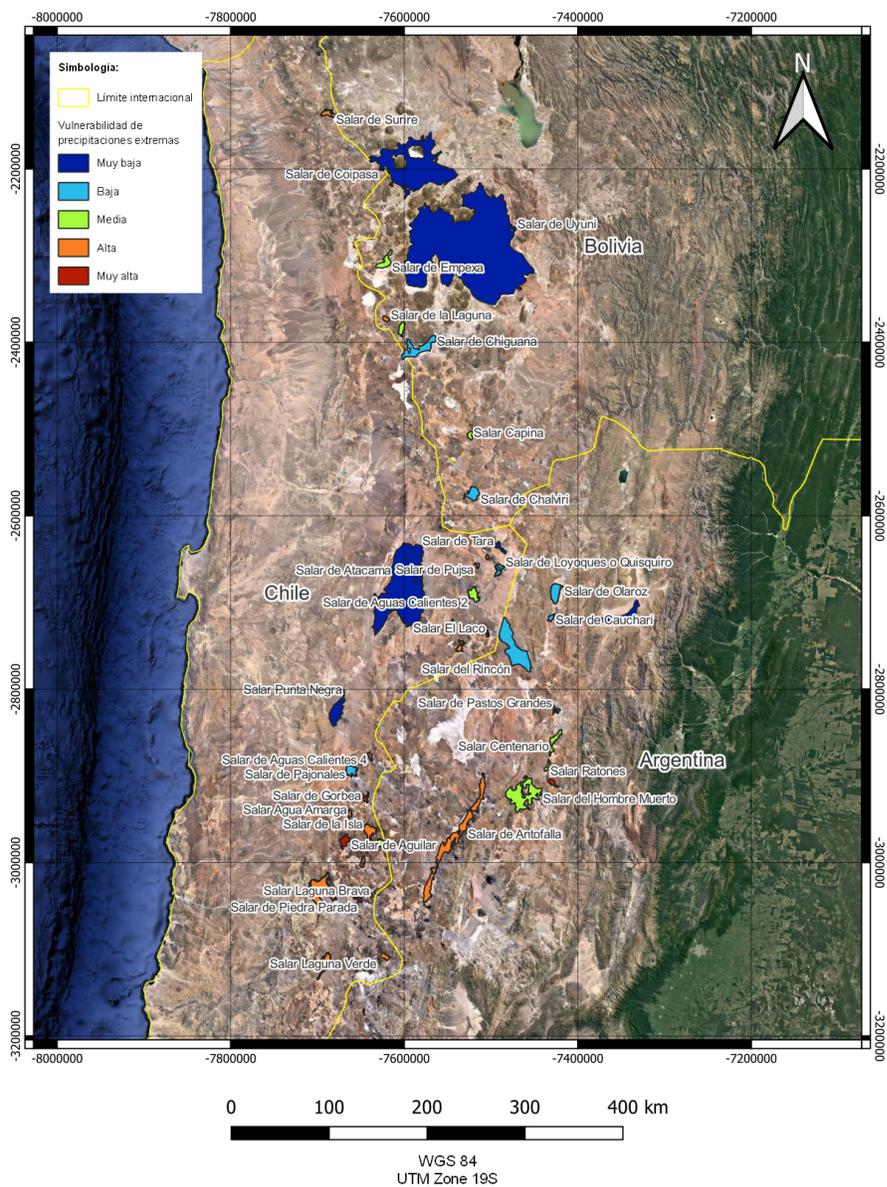


Figura 5.7: Mapa de vulnerabilidad de precipitaciones extremas para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

## Sequía

En el caso del cálculo de vulnerabilidad de los salares frente a sequía, se utilizan como factores la distancia de cada salar a la desaladora más cercana en el país y el número de masas de agua cercanas al salar dentro de un radio de 50 kilómetros.

Cada uno de estos factores arroja un valor para la vulnerabilidad, los cuales se promedian para obtener el valor final de Vulnerabilidad de sequía. El detalle de estos datos se encuentra en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Cálculo de vulnerabilidad para sequía. Elaboración propia.

País	Salar	Distancia a planta desaladora [km]	N° de masas de agua en un radio de 50 km	Vulnerabilidad: plantas desaladoras	Vulnerabilidad: masas de agua	Vulnerabilidad sequía
Argentina	Antofalla	1.074,8	0	0,203	0,000	0,101
Argentina	Caucharí	1.299,2	3	0,013	0,429	0,221
Argentina	Centenario Ratones	1.155,7	0	0,135	0,000	0,067
Argentina	Diablillos	1.135,9	0	0,151	0,000	0,076
Argentina	Hombre Muerto	1.122,3	0	0,163	0,000	0,081
Argentina	Olaroz	1.315,0	3	0,000	0,429	0,214
Argentina	Pastos Grandes	1.207,2	0	0,091	0,000	0,046
Argentina	Rincón	1.258,7	1	0,048	0,143	0,095
Argentina	Salinas Grandes	1.268,5	2	0,039	0,286	0,163
Bolivia	Uyuni	-	4	0,000	0,571	0,286
Bolivia	Coipasa	-	3	0,000	0,429	0,214
Bolivia	Chiguana	-	3	0,000	0,429	0,214
Bolivia	Empexa	-	0	0,000	0,000	0,000
Bolivia	Chalviri	-	7	0,000	1,000	0,500
Bolivia	Laguani	-	0	0,000	0,000	0,000
Bolivia	Capina	-	5	0,000	0,714	0,357
Bolivia	de la Laguna	-	0	0,000	0,000	0,000
Chile	Atacama	211,2	3	0,933	0,429	0,681
Chile	Pedernales	152,3	2	0,983	0,286	0,634
Chile	Punta Negra	175,9	0	0,963	0,000	0,481
Chile	La Isla	188,5	1	0,952	0,143	0,547
Chile	Maricunga	166,1	1	0,971	0,143	0,557
Chile	Surire	131,6	7	1,000	1,000	1,000
Chile	Aguas Calientes 2	284,0	4	0,871	0,571	0,721
Chile	Pajonales	168,8	1	0,969	0,143	0,556
Chile	Loyoques/ Quisquiro	303,1	4	0,855	0,571	0,713
Chile	Aguilar	165,5	0	0,971	0,000	0,486
Chile	Tara	300,6	3	0,857	0,429	0,643
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	279,1	5	0,875	0,714	0,795
Chile	Las Parinas	202,9	1	0,940	0,143	0,541
Chile	Grande	190,0	2	0,951	0,286	0,618
Chile	Piedra Parada	191,6	4	0,949	0,571	0,760
Chile	Gorbea	181,5	1	0,958	0,143	0,550
Chile	Agua Amarga	165,6	0	0,971	0,000	0,486
Chile	Aguas Calientes 4	191,2	1	0,950	0,143	0,546
Chile	Pujsa	279,8	4	0,875	0,571	0,723
Chile	El Laco	306,8	5	0,852	0,714	0,783
Chile	Laguna Verde	223,6	2	0,922	0,286	0,604
Chile	Laguna Brava	205,0	4	0,938	0,571	0,755
Chile	Aguas Calientes 1	288,9	4	0,867	0,571	0,719

A partir de estos datos se elabora el Mapa de vulnerabilidad de sequía, en el cual se asignan niveles de vulnerabilidad para todos los salares estudiados.

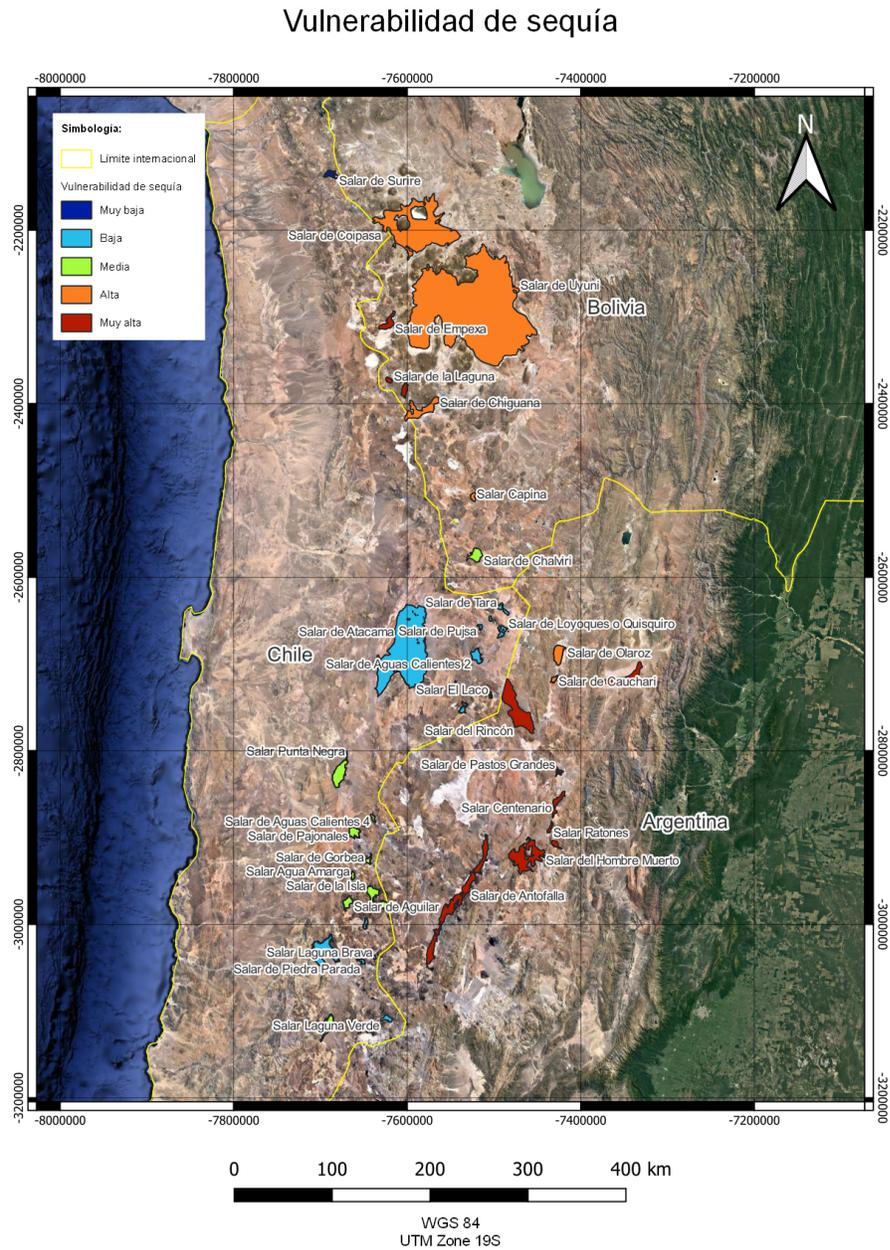


Figura 5.8: Mapa de vulnerabilidad de sequía para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

## 5.4.5. Riesgo

Finalmente, para el cálculo del riesgo solo es necesario aplicar la metodología y ponderar la exposición, la vulnerabilidad y la amenaza de cada salar para precipitaciones extremas y para sequía por separado. El valor del riesgo de precipitaciones extremas y el riesgo de sequía se debe promediar, para así obtener un único valor de riesgo para cada salar frente al cambio climático. Este valor de riesgo total corresponde al Índice de cambio climático, que junto con el resto de los índices (Índice de potencial geológico, Índice socioambiental e Índice de gobernanza), servirán para realizar un análisis de la metodología empleada y de los resultados obtenidos. Todos los datos para el cálculo del Índice de cambio climático se muestran en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9: Cálculo del Índice de cambio climático. Elaboración propia.

País	Salar	Índice cambio climático
Argentina	Antofalla	0,227
Argentina	Caucharí	0,417
Argentina	Centenario Ratones	0,303
Argentina	Diablillos	0,492
Argentina	Hombre Muerto	0,254
Argentina	Olaroz	0,485
Argentina	Pastos Grandes	0,517
Argentina	Rincón	0,373
Argentina	Salinas Grandes	0,518
Bolivia	Uyuni	0,371
Bolivia	Coipasa	0,440
Bolivia	Chiguana	0,466
Bolivia	Empexa	0,467
Bolivia	Chalviri	0,651
Bolivia	Laguani	0,585
Bolivia	Capina	0,653
Bolivia	de la Laguna	0,577
Chile	Atacama	0,278
Chile	Pedernales	0,326
Chile	Punta Negra	0,496
Chile	La Isla	0,390
Chile	Maricunga	0,413
Chile	Surire	0,488
Chile	Aguas Calientes 2	0,485
Chile	Pajonales	0,523
Chile	Loyoques/Quisquiro	0,523
Chile	Aguilar	0,410
Chile	Tara	0,569
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,503
Chile	Las Parinas	0,473
Chile	Grande	0,477
Chile	Piedra Parada	0,449
Chile	Gorbea	0,447
Chile	Agua Amarga	0,458
Chile	Aguas Calientes 4	0,501
Chile	Pujsa	0,499
Chile	El Laco	0,521
Chile	Laguna Verde	0,495
Chile	Laguna Brava	0,494
Chile	Aguas Calientes 1	0,519

Como resultado final, se realizan mapas de riesgo para cada amenaza por separado y para el riesgo total frente al cambio climático.

## Riesgo de precipitaciones extremas

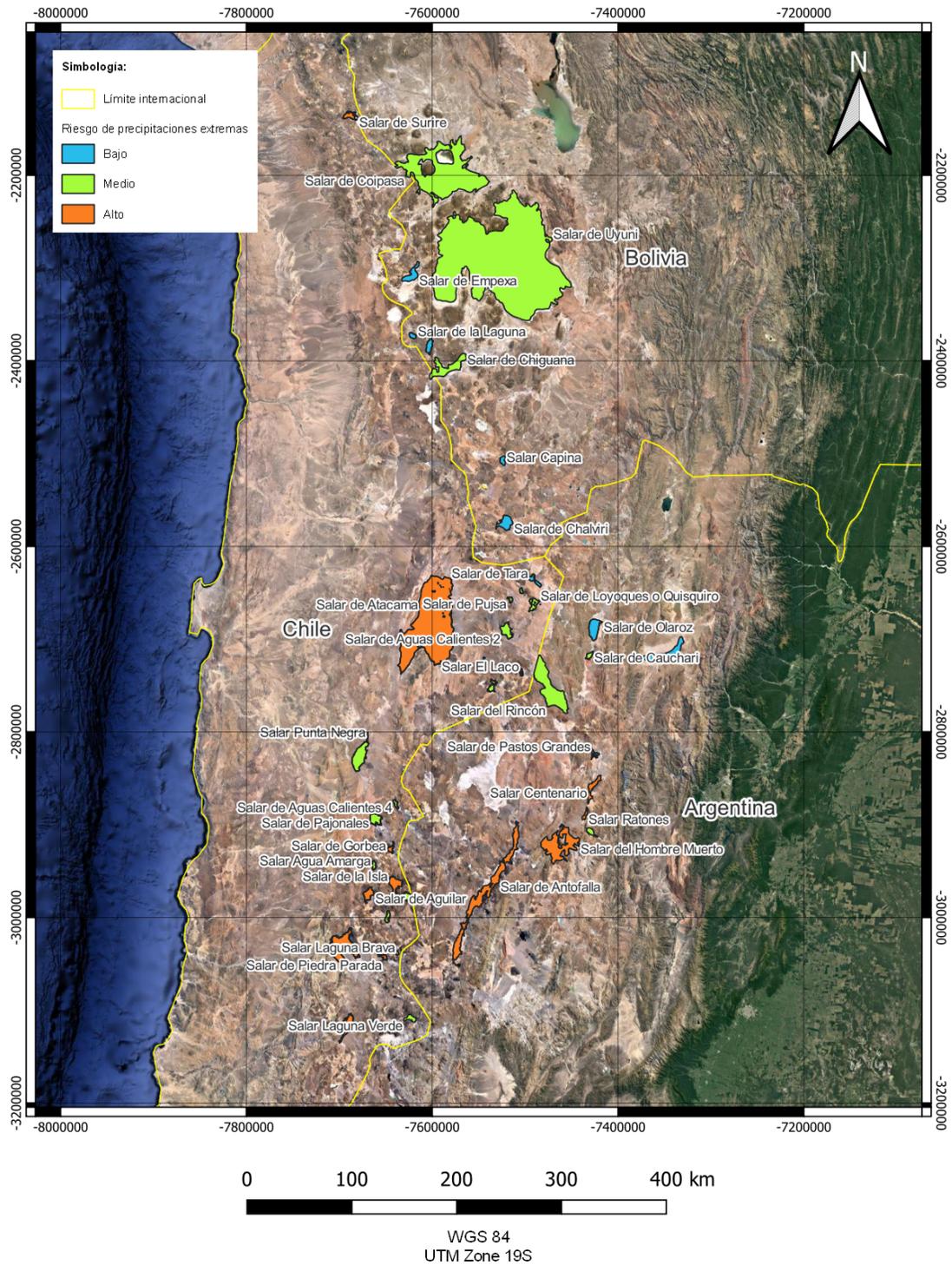


Figura 5.9: Mapa de riesgo de precipitaciones extremas para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

# Riesgo de sequía

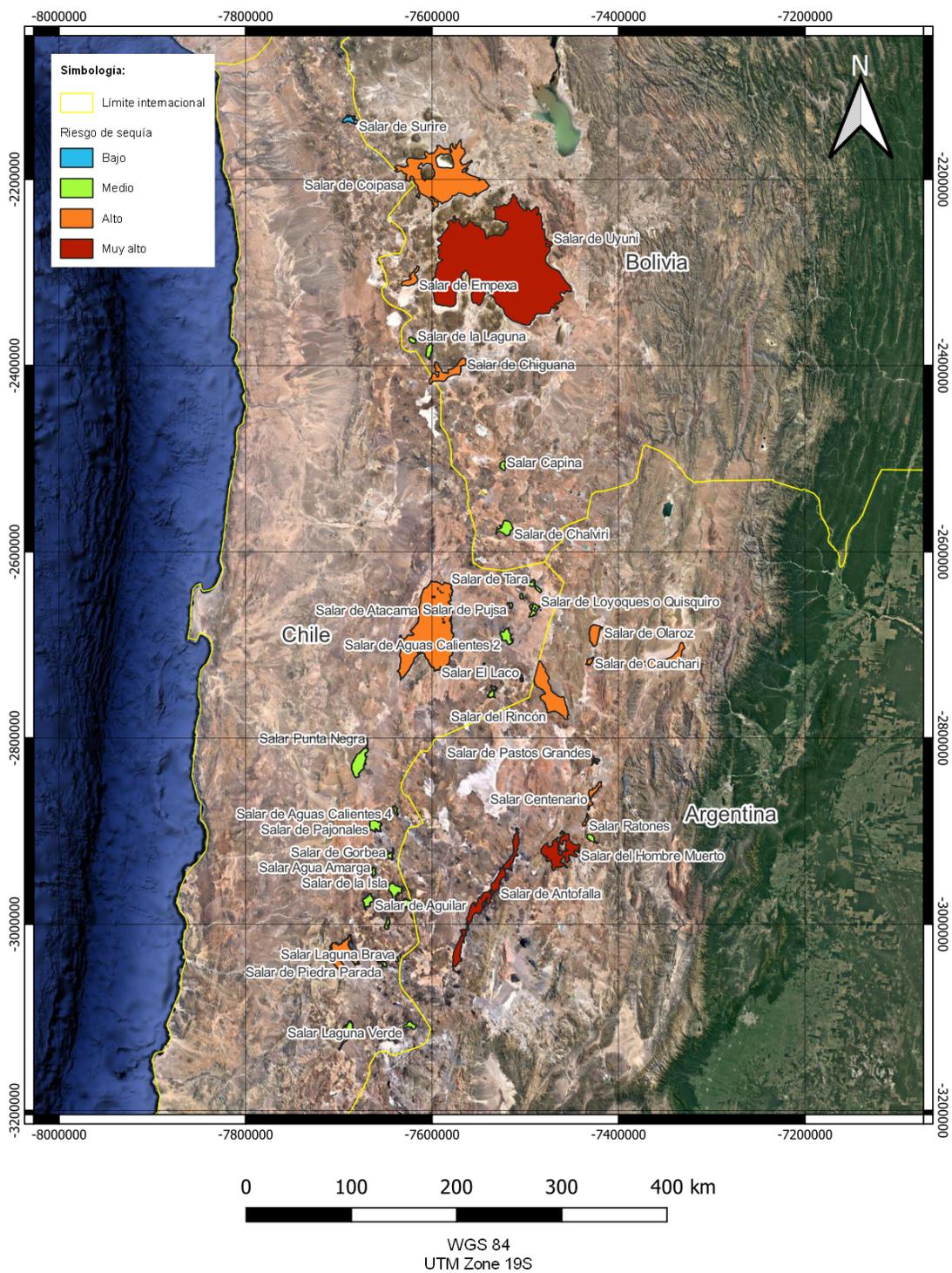


Figura 5.10: Mapa de riesgo de sequía para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

# Riesgo de cambio climático total

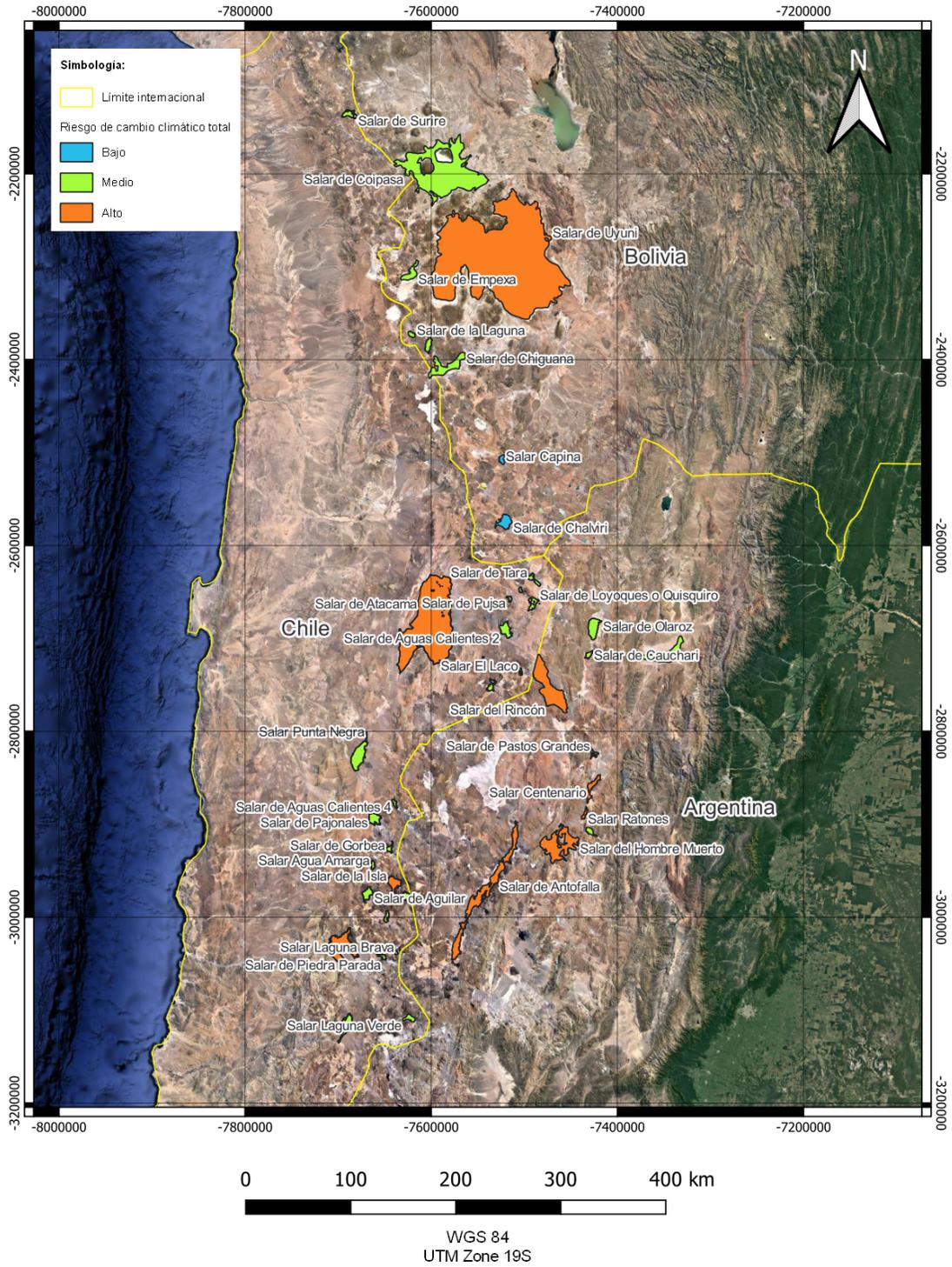


Figura 5.11: Mapa de riesgo total frente al cambio climático para salares de Argentina, Bolivia y Chile. Elaboración propia.

## 5.5. Resultados para estado actual de salario

Se obtiene que la suma de las diferencias de cada salario da como resultado el valor 9,27. Los valores utilizados para este cálculo se pueden observar en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10: Valores para cada índice y para el estado actual de los salares. Elaboración propia.

País	Salario	Índice potencial geológico	Índice gobernanza	Índice socio-ambiental	Índice cambio climático	Índice de potencial de desarrollo	Estado salario
Argentina	Antofalla	0,190262	0,570	0,560	0,227	0,387	0,330
Argentina	Caucharí	0,056190	0,565	0,696	0,417	0,434	0,660
Argentina	Centenario Ratones	0,033492	0,640	0,664	0,303	0,410	0,660
Argentina	Diablillos	0,001152	0,640	0,712	0,492	0,461	1,000
Argentina	Hombre Muerto	0,129898	0,570	0,632	0,254	0,396	1,000
Argentina	Olaroz	0,057375	0,565	0,728	0,485	0,459	0,660
Argentina	Pastos Grandes	0,043814	0,640	0,680	0,517	0,470	0,660
Argentina	Rincón	0,013003	0,640	0,728	0,373	0,438	0,660
Argentina	Salinas Grandes	0,041760	0,565	0,632	0,518	0,439	0,000
Bolivia	Uyuni	1,000000	0,340	0,000	0,371	0,428	0,330
Bolivia	Coipasa	0,319260	0,340	0,112	0,440	0,303	0,330
Bolivia	Chiguana	0,015844	0,340	0,312	0,466	0,283	0,000
Bolivia	Empexa	0,002808	0,340	0,536	0,467	0,336	0,000
Bolivia	Chalviri	0,002713	0,340	0,568	0,651	0,390	0,000
Bolivia	Laguani	0,001065	0,340	0,592	0,585	0,380	0,000
Bolivia	Capina	0,000466	0,340	0,432	0,653	0,356	0,000
Bolivia	de la Laguna	0,000170	0,340	0,616	0,577	0,383	0,000
Chile	Atacama	0,539140	0,690	0,744	0,278	0,563	1,000
Chile	Pedernales	0,017782	0,690	0,576	0,326	0,402	0,330
Chile	Punta Negra	0,010432	0,690	0,736	0,496	0,483	0,000
Chile	La Isla	0,012803	0,690	0,776	0,390	0,467	0,330
Chile	Maricunga	0,043529	0,690	0,592	0,413	0,435	0,330
Chile	Surire	0,008535	0,690	1,000	0,488	0,547	0,330
Chile	Aguas Calientes 2	0,000077	0,690	0,880	0,485	0,514	0,330
Chile	Pajonales	0,001552	0,690	0,800	0,523	0,504	0,330
Chile	Loyoques/Quisquiro	0,002681	0,690	0,952	0,523	0,542	0,330
Chile	Aguilar	0,003319	0,690	0,752	0,410	0,464	0,330
Chile	Tara	0,000963	0,690	0,952	0,569	0,553	0,330
Chile	Talar (Aguas Calientes 3)	0,000002	0,690	0,824	0,503	0,504	0,330
Chile	Las Parinas	0,002371	0,690	0,776	0,473	0,485	0,330
Chile	Grande	0,000027	0,690	0,752	0,477	0,480	0,330
Chile	Piedra Parada	0,000106	0,690	0,648	0,449	0,447	0,330
Chile	Gorbea	0,000252	0,690	0,776	0,447	0,478	0,330
Chile	Agua Amarga	0,000005	0,690	0,776	0,458	0,481	0,330
Chile	Aguas Calientes 4	0,000033	0,690	0,808	0,501	0,500	0,330
Chile	Pujsa	0,000175	0,690	0,904	0,499	0,523	0,330
Chile	El Laco	0,000001	0,690	0,880	0,521	0,523	0,330
Chile	Laguna Verde	0,000004	0,690	0,640	0,495	0,456	0,330
Chile	Laguna Brava	0,000000	0,690	0,648	0,494	0,458	0,330
Chile	Aguas Calientes 1	0,000007	0,690	0,952	0,519	0,540	0,330

# Capítulo 6

## Análisis y Discusión

Parte importante del análisis consiste en corroborar si la metodología propuesta en este trabajo sirve para reflejar la realidad del estado de desarrollo en los salares de Chile, Argentina y Bolivia.

Ya que para cada salar se tienen calculados los 4 índices, el índice de potencial de desarrollo y el estado actual del salar, se procede a analizar relaciones entre las variables mediante gráficos de dispersión de datos.

- **Relación entre el Índice de potencial geológico y el estado actual del salar:** se tiene que la relación entre el potencial geológico y el estado del salar es positiva, es decir, que mientras mayores son los recursos y reservas, el desarrollo de la actividad minera de litio se encuentra en una etapa más avanzada. En la figura 6.1 se puede ver la dispersión de los datos junto a la línea de tendencia.

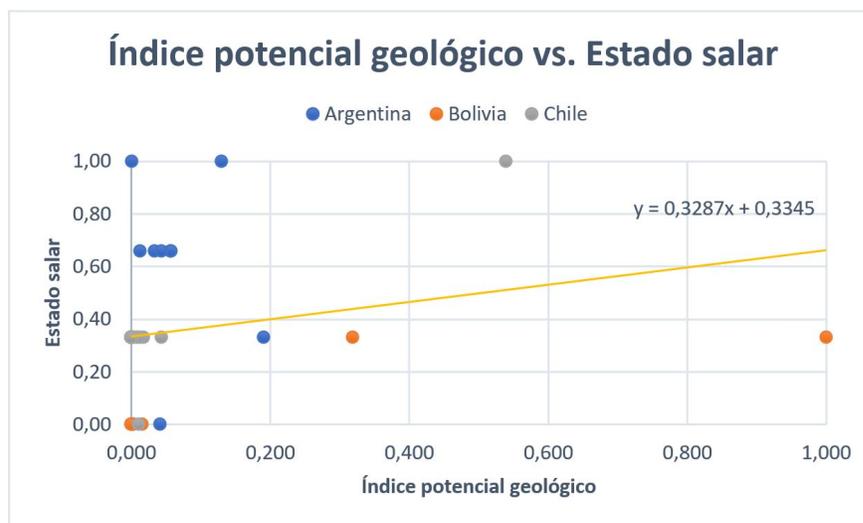


Figura 6.1: Gráfico Índice potencial geológico vs. Estado salar. Elaboración propia.

Esta relación se puede ver reflejada en los tres países:

En Bolivia, los salares que presentan un mayor índice de potencial geológico son el Salar de Uyuni y el Salar de Coipasa. Estos salares son los únicos en el país que tienen proyectos andando en cuando a la producción de litio, los cuales son: la construcción de plantas industriales en el Salar de Uyuni y en el Salar de Coipasa. También se tiene como propuesta la exploración del salar de Pastos Grandes.

En el caso de Argentina, el Salar de Hombre Muerto, es el segundo salar con el mayor índice de potencial geológico, y en la práctica, es el salar con el proyecto de producción de litio más antiguo entre los 4 existentes hasta la fecha. En este salar se desarrolla el proyecto Fénix, iniciado en 1997 en Catamarca.

Por último, en Chile, el salar con mayor índice de potencial geológico es el Salar de Atacama y este es precisamente el salar con un estado más avanzado, siendo el único en el país en proceso de producción de litio.

- **Relación entre el Índice de Gobernanza y el estado actual del salar:** se observa que mientras mejor es el índice de gobernanza, el estado actual del salar es más avanzado.

Un alcance importante en el análisis de estos datos es notar que si bien Chile es el país con el Índice de gobernanza más alto, casi la totalidad de sus proyectos no superan la fase de “Exploración”, mientras que los proyectos de Argentina se encuentran en su mayoría en la etapa de “Desarrollo” y “Producción”. Además, se sabe que Argentina es el país del triángulo del litio con un régimen de mercado más liberal, reflejado en que las provincias argentinas otorgan derechos de explotación de los salares a empresas privadas (actualmente todas extranjeras), cobrando una regalía por ello y sin exigencias en términos productivos (Obaya, M., 2019).

Esta discrepancia entre la realidad y el Índice de gobernanza puede estar asociada a la forma en la que este se calculó, ya que este corresponde a un promedio entre un Índice de gobernanza nacional y un Índice de percepción de políticas que mide los efectos de la política gubernamental sobre las actitudes hacia la inversión en exploración para la minería en general, es decir, no está enfocado en la minería de litio. Es por esto que se presume que el alto Índice de gobernanza de Chile se debe a que el país posee una gobernanza sólida en la minería, a excepción del litio, por lo que podría no ser tan representativo para el litio.

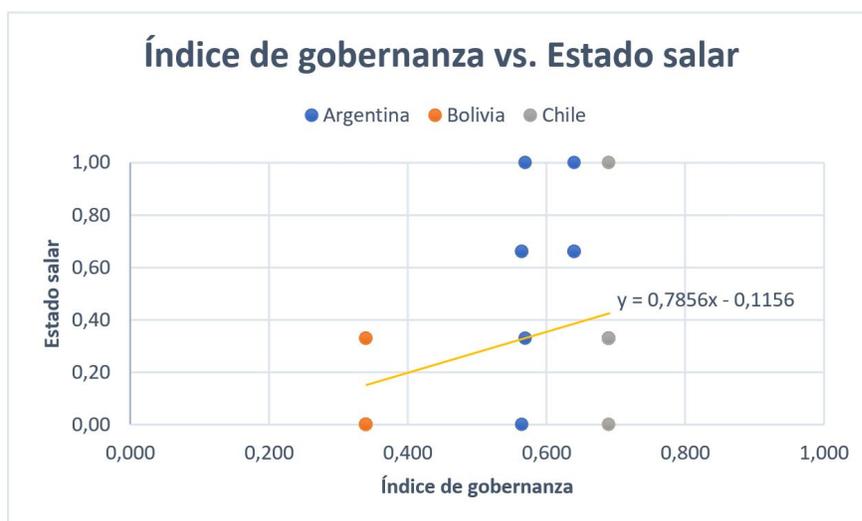


Figura 6.2: Gráfico Índice de gobernanza vs. Estado salario. Elaboración propia.

En el caso de que se considerara que Chile tiene un Índice de gobernanza igual al de Bolivia (Figura 6.3), considerando las características de la gobernanza chilena actual específicamente para el litio, la correlación del modelo mejora lo cual podría indicar que el nivel de gobernanza en Chile para el litio es más cercano a Bolivia que a Argentina.

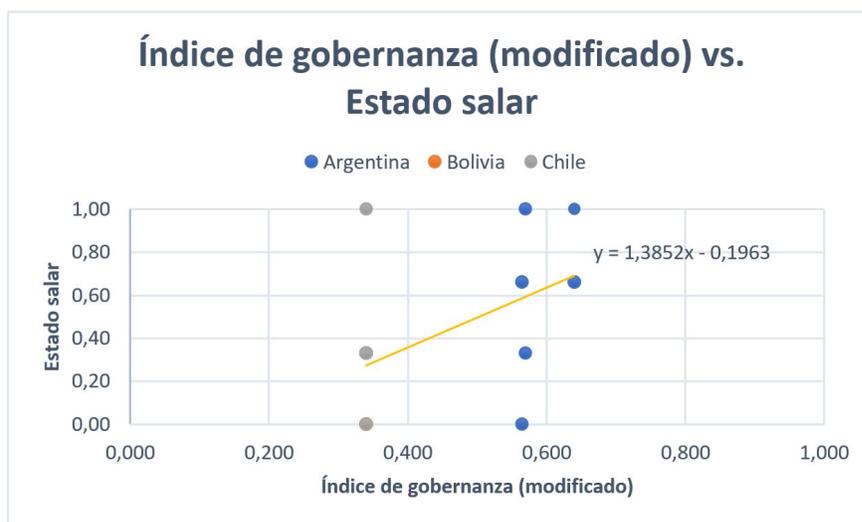


Figura 6.3: Gráfico Índice de gobernanza vs. Estado salario (con el índice de gobernanza de Chile modificado al valor de Bolivia). Elaboración propia.

Es importante destacar que el bajo índice de gobernanza de Bolivia se puede deber a diferentes factores. En las actividades del encadenamiento productivo hacia atrás (exploración, explotación y procesamiento), tanto Argentina como Chile han adoptado un modelo que descansa en empresas privadas con capacidades ya desarrolladas. En cambio, el Estado Plurinacional de Bolivia ha optado por una estrategia de aprendizaje local autónomo que actualmente lidera YLB. Esto ha afectado en algún grado el desarrollo de la industria minera de litio en este país, teniendo claramente un atraso en el avance de proyectos con respecto a Chile y Argentina.

Diversos expertos también atribuyen este estancamiento a las diferencias políticas durante estos últimos años, ya que mientras Evo Morales y Luis Arce apoyan la industrialización del litio por parte del Estado, otros actores de gobierno tuvieron la idea de negociar la privatización del litio. Tanto Arce Catacora como Evo Morales, aseguran que las protestas y la crisis política del 2019 estuvieron impulsadas por Estados Unidos y las transnacionales para controlar el valioso recurso boliviano. Denominaron este suceso como “el golpe del litio”.

- **Relación entre el Índice socioambiental y el estado actual del salario:** se tiene que a mayor Índice socioambiental el estado del salario es más avanzado, lo cual significa que mientras menos conflictos socioambientales tenga asociado un salario, mayor es el desarrollo de la actividad minera de litio en él.

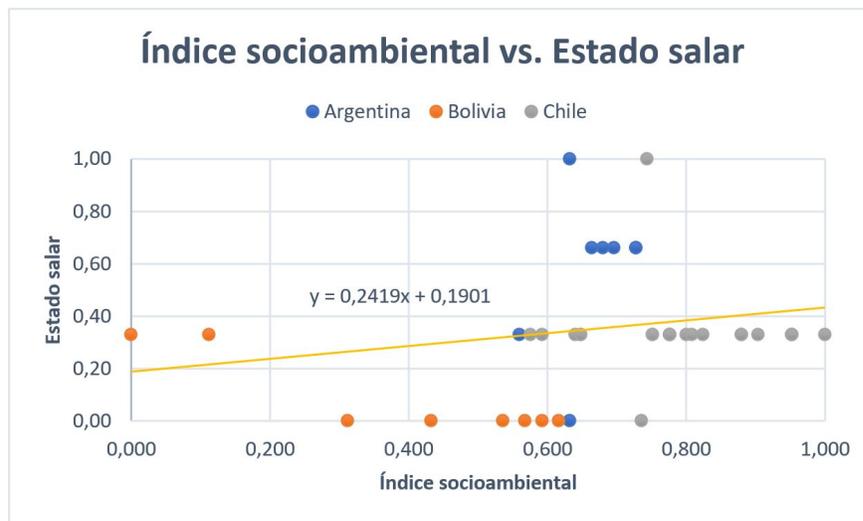


Figura 6.4: Gráfico Índice socioambiental vs. Estado salario. Elaboración propia.

EL salario con peor índice socioambiental es el Salar de Uyuni, lo cual indica que es el salario que tiene asociado la mayor cantidad de conflictos e intensidades de estos. En contraste, es el salario con más desarrollo en la minería de litio dentro de Argentina, lo cual se sale de la regla general de los demás salares del Triángulo del litio. Esto se puede deber a la forma en la cual está calculado este índice socioambiental, ya que toma los conflictos del Atlas de Justicia Ambiental incluyendo las siguientes categorías de conflictos: nuclear, gestión de residuos, biomasa y conflictos por la tierra, combustibles fósiles y justicia climática/energética, gestión del agua, infraestructura y ambiente construido, turismo recreación, conflictos por biodiversidad/conservación, conflictos industriales o servicios y extracción de minerales y materiales de construcción. Al considerar todas estas categorías se pueden sobrestimar los conflictos asociados a la minería del litio, aunque estos puedan repercutir en esta industria indirectamente.

Al realizar una revisión de los conflictos socioambientales asociados a los salares con un mayor desarrollo de la minería de litio se llega a la observación de que los salares

bolivianos ubicados más al norte del Bolivia, tienen asociados muchos conflictos ajenos a la minería. Esto no sucede con los salares de Chile y de Argentina, por lo cual sus índices socioambientales son una buena representación de la realidad.

Sería interesante evaluar la correlación entre el índice socioambiental y el estado del salar sacando de la ecuación los conflictos que no estén relacionados con la minería para así dilucidar si efectivamente los salares con menos conflictos son los que más desarrollo poseen o si los salares más desarrollados lidian con una mayor cantidad de conflictos, lo cual correspondería a la relación intuitiva entre estos factores.

- **Relación entre el Índice de cambio climático y el estado actual del salar:** se observa en la Figura 6.5 que, a mayor índice de cambio climático, menor es el avance en el estado del salar, es decir, que mientras mayor es el riesgo para los salares frente al cambio climático, el desarrollo de la minería de litio es también mayor.

Este análisis permite conocer qué tan relevante es incluir el efecto del cambio climático en la metodología que estudia el potencial de desarrollo de la minería de litio en los salares del triángulo del litio.

Este resultado se puede interpretar de dos maneras:

1. Las empresas que llevan a cabo la industria minera del litio en Argentina, Bolivia y Chile no están considerando, o no lo suficiente, los efectos del cambio climático para la elección y el desarrollo de proyectos mineros en los salares existentes. Un ejemplo de lo anterior puede ser el importante avance industrial en el Salar de Atacama y el Salar de Uyuni, pese a que estos son el refugio de tres de las seis especies de flamencos que hay en el mundo. Esta especie se ha visto muy afectada con el desarrollo minero en la zona ya que el agua subterránea bombeada en el proceso de extracción del litio nutre los lagos desérticos donde se alimentan y crían los flamencos. Esto provoca un incremento en las concentraciones de sal de los lagos, matando a los organismos acuáticos que sirven de alimento a los flamencos, como la gamba de salmuera y las diatomeas. Entre 2002 y 2013, la superficie de agua del Salar de Atacama descendió más de un 40% en invierno y la población de dos especies de flamencos disminuyó un 10% y un 12%.
2. La causalidad es al revés, es decir, que justamente el avance de la minería de litio en los salares sea el responsable de que el riesgo de estos frente al cambio climático sea mayor. Esto se puede estudiar analizando las diferentes aristas del riesgo y los indicadores utilizados para calcularlo. Por ejemplo, la puesta en marcha de plantas de extracción de litio podría generar a futuro una disminución en el número de masas de agua cercanas al salar, el cual corresponde a un indicador para calcular la vulnerabilidad frente al cambio climático.

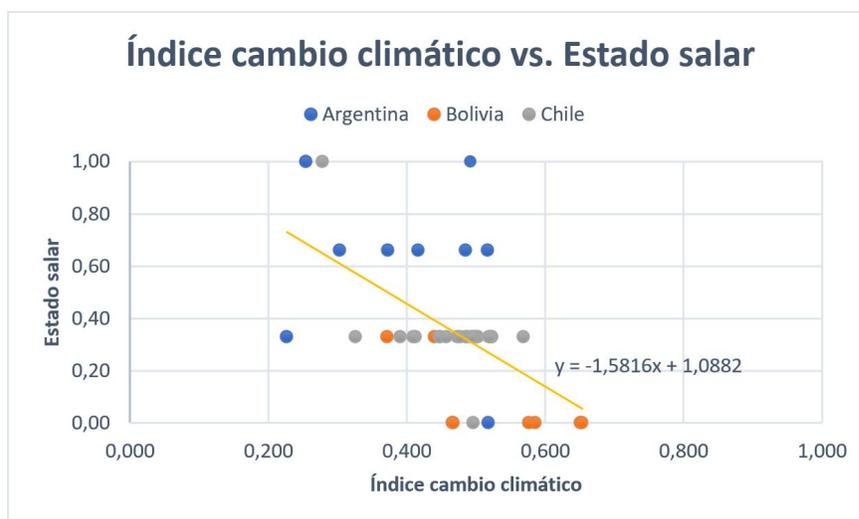


Figura 6.5: Gráfico Índice cambio climático vs. Estado salario. Elaboración propia.

- Relación entre el Índice de potencial de desarrollo y el estado actual del salario:** un índice total cercano a 1 sugiere que el escenario para el desarrollo de la minería de litio en ese salario es más favorable. En este caso se tiene que existe una relación positiva entre el Índice total y el estado real del salario, donde a mayor índice, mayor es el desarrollo de la minería de litio (Figura 6.6). Esto consigue demostrar que la metodología propuesta en este trabajo logra reflejar, en líneas generales, la realidad.

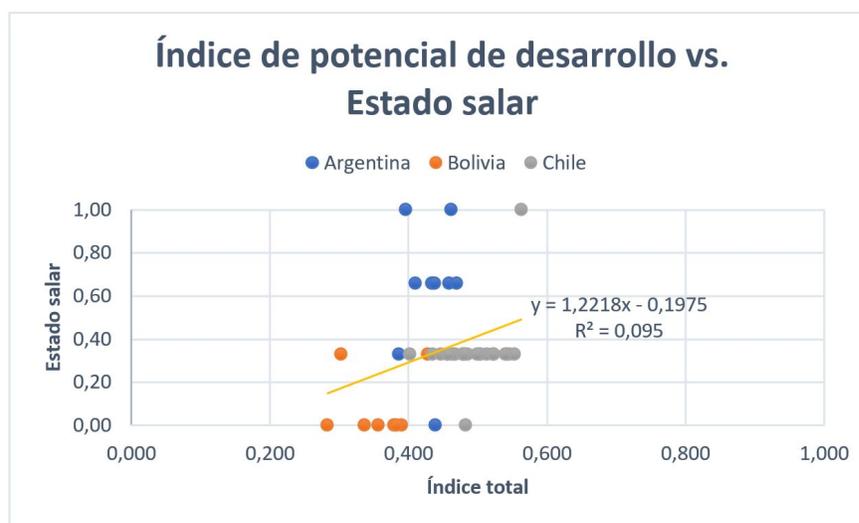


Figura 6.6: Gráfico Índice de potencial de desarrollo vs. Estado salario. Elaboración propia.

Sumado a esto, si se realiza el análisis de esta relación considerando la gobernanza de Chile igual a la de Bolivia, la correlación existente entre el Índice total y el estado del salario es aún mayor (Figura 6.7). Esto refuerza la idea de que la gobernanza para el litio en Chile puede tener más semejanzas con la gobernanza del litio de Bolivia que con la de Argentina.

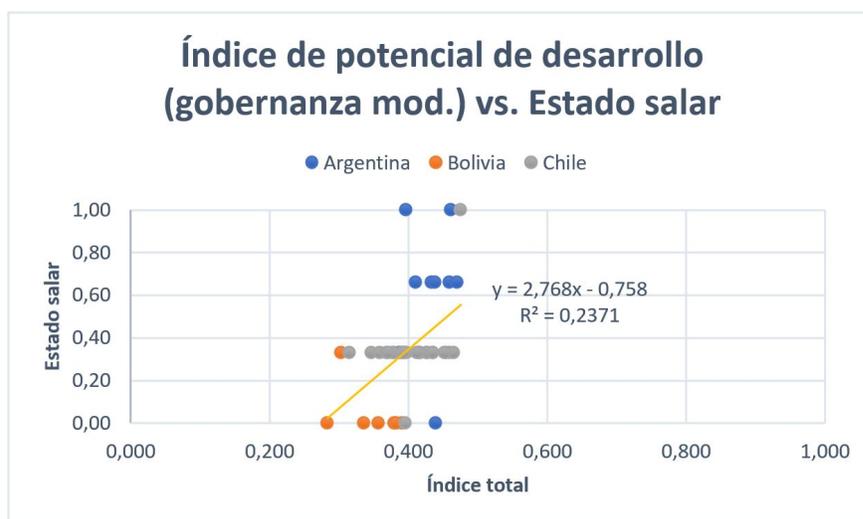


Figura 6.7: Gráfico Índice de potencial de desarrollo (con la gobernanza para Chile modificada) vs. Estado salar. Elaboración propia.

Ahora bien, otro tipo de análisis que se puede realizar a partir de este trabajo es descubrir si la ponderación utilizada de los índices es la más indicada para representar la realidad del desarrollo de la minería de litio en los salares ya que se ha observado que hay factores más y menos relacionados directamente con el desarrollo real de la minería de litio de cada salar. Para esto se procede a buscar los ponderadores de cada índice que disminuyan al mínimo la suma de la diferencia que tiene cada salar entre su valor de “Estado salar” y la ponderación de los 4 índices.

Lo anterior se lleva a cabo utilizando el complemento *solver* de Excel. Este cálculo se hace mediante una programación no lineal, *GRG non linear* (gradiente reducido generalizado), el cual busca una solución factible tomando un punto inicial y moviéndose en busca de mejorar la función objetivo, en este caso que la suma de la diferencia sea mínima. Al ejecutar esta función con los parámetros correspondientes, se obtiene que las ponderaciones que minimizan la suma de la diferencia son:

Tabla 6.1: Ponderaciones de índices. Elaboración propia.

Índice	Ponderación
Índice potencial geológico	<b>0,52182</b>
Índice de gobernanza	<b>0,47818</b>
Índice socioambiental	<b>0</b>
Índice de cambio climático	<b>0</b>

Realizando la ponderación con estos valores, se obtiene que la suma de las diferencias de cada salar da como resultado 5,538, siendo este el menor valor posible para esta suma.

Los ponderadores obtenidos dan cuenta de importantes datos para el análisis de este trabajo, en particular, de la metodología. En primer lugar se obtiene que el factor que debe tener más peso al momento de querer representar la realidad del desarrollo de la minería de

litio, es el **potencial geológico**. El segundo factor más relevante corresponde a la gobernanza de cada país. Por otro lado, los factores menos importantes corresponden al cambio climático y a los conflictos socioambientales, obteniendo ambos un 0 absoluto.

Que el índice socioambiental no tenga peso en el reflejo del desarrollo de la minería de litio, se puede deber a diversas razones. Una de las opciones a considerar es que objetivamente la existencia de conflictos socioambientales alrededor de proyectos de litio no tenga relevancia alguna o no sea determinante para que el avance del proyecto se vea coartado en la gran mayoría de los casos.

Otra explicación se basa en la probabilidad de que los conflictos socioambientales que se encuentran alejados a la zona de exploración/construcción/producción, no sean relevantes para la continuidad del funcionamiento de la obra, lo que significa que tal vez se debería calcular el índice socioambiental solo considerando los conflictos locales en un radio de 50 kilómetros, dejando de lado los conflictos en un radio de 200 y 500 kilómetros.

Al realizar el cálculo anteriormente mencionado, se obtiene que tanto el Índice de potencial geológico como el Índice de gobernanza mantienen sus ponderaciones ideales prácticamente intactas. Esto refleja que no existe una diferencia sustancial al considerar los conflictos existentes a más de 50 kilómetros desde cada salar, sin embargo, la correlación del modelo es mejor si se consideran estos conflictos más lejanos.

En cuanto al índice de cambio climático se debe tener en cuenta que es probable que el riesgo en algunos casos no tendrá la misma relevancia que hoy en día. Esto se refleja por ejemplo en el cálculo del riesgo de sequía, ya que se toma como indicador de vulnerabilidad la distancia a plantas desaladoras, dato que en los próximos años puede llegar a ser muy diferente. A partir de lo señalado por COCHILCO en un informe “Proyección de consumo de agua en la minería del cobre” en 2021, se conoce que en Chile solo el 32 % del agua demandada por la industria provino del mar, pero esto se revertirá a mediano plazo ya que se proyecta que a 2032 el 68 % de la demanda provenga del océano. Por otro lado, ABSA en Argentina también se encuentra impulsando proyectos de desalinización para el consumo humano, como por ejemplo uno cerca del río Paraná, porque es en este punto donde el agua para consumo humano desde hace unos años está mostrando alta salinidad, por su conexión con el océano. Aunque en este país la sequía es menos pronunciada que en Chile, la industria se está adelantando a la falta de agua para no tener que improvisar cuando ya no alcance el agua dulce para sostener a su población.

En caso de aplicar esta metodología en 10 años más, esta tendencia de construcción de plantas desalinizadoras haría cambiar drásticamente los resultados y el análisis realizado. Por esto los resultados de este estudio deben tratarse como una herramienta para entender lo que sucede y acontecerá en el corto plazo de ser posible, tomar medidas adaptativas para este rango de tiempo.

Por último, es necesario estar al tanto de una serie de limitaciones en el estudio lo cual pudo haber afectado en los resultados obtenidos. Dentro de estas limitaciones se encuentran:

- El desarrollo de este trabajo fue llevado a cabo únicamente con información pública, lo cual puede afectar a la precisión de los resultados y del análisis.
- En términos de cambio climático no se encontró una base de datos unificada que albergara datos de amenaza, exposición y vulnerabilidad para los tres países.
- Para la estimación del potencial geológico de los salares existen modelos más sofisticados, pero a la vez mucho más complejos de aplicar. Para los objetivos y el alcance de este trabajo estos métodos no fueron necesarios, sin embargo, su uso podría lograr un valor para el índice de potencial geológico y del índice total que refleje de mejor manera la realidad.
- La cantidad de salares utilizados para el estudio fue menor a la cantidad total de salares que se pudieron haber estudiado, especialmente en el caso de Argentina. Utilizar una mayor cantidad de salares para el estudio es positivo y recomendable ya que se representa de mejor manera lo que sucede en cada salar y en cada país.

## Posibles escenarios futuros:

Para concluir con el análisis de este trabajo se procede a realizar la revisión de posibles escenarios futuros en la industria minera del litio en estos tres países y sus efectos hipotéticos en los resultados de este estudio.

En cuanto a la gobernanza del litio para estos tres países, durante este año 2023 han surgido diversas novedades y propuestas que podrían cambiar ciertos aspectos del marco legal y regulatorio de esta actividad.

Durante marzo del 2023, el presidente del Estado Plurinacional de Bolivia, Luis Arce, realizó la sugerencia de crear una alianza ente Chile, Argentina, Perú y Bolivia para diseñar una política como países proveedores de litio y que se resguarde el recurso natural de intereses de países externos. La propuesta de Arce se apega a la sugerencia del presidente mexicano Andrés Manuel López Obrador que sugirió crear una organización internacional de países productores del litio para controlar los precios y los mercados internacionales, algo parecido a la Organización de Países Exportadores de Petróleo.

El ministro de Relaciones Exteriores de Chile, Alberto van Klaveren, descartó una eventual alianza con Bolivia y Argentina para la explotación del litio, sin embargo, abrió la posibilidad de intercambio de experiencias, intercambio académico y científico en torno al litio, pero no hasta el punto de integrar una suerte de alianza productiva; cada país tiene una realidad distinta y se proyecta en sus relaciones exteriores” (Apaza, 2023). Es por esto que durante el gobierno actual, es difícil que Chile se adhiera a una alianza con Argentina y Bolivia donde se busque fijar el precio del litio u homogeneizar políticas para los tres países. Si esto ocurriera, el índice de gobernanza calculado en este trabajo podría ser similar o igual para los tres países.

Otra de las novedades alrededor de la gobernanza del litio corresponde al ingreso a la Cámara de Diputados del Boletín N° 16.117-08. Este proyecto de ley modifica la ley N° 18.248, para eliminar el litio como mineral no susceptible de concesión minera. Según indica la nueva propuesta, actualmente, el litio se encuentra entre los minerales que el Código de Minería contempla como no susceptibles de concesión minera, salvo en los casos de aquellas constituidas con anterioridad a la norma que establece la prohibición, por ende, la exploración o explotación del litio actualmente sólo se puede llevar a cabo por el Estado y sus empresas, concesiones administrativas o de contratos especiales de operación dando cumplimiento a las condiciones establecidas en decreto supremo emanadas del Presidente de la República. Así, el presente proyecto de ley tiene como objetivo hacer del litio un mineral susceptible de concesión minera (Equipo Actualidad Jurídica, 2023). Si este proyecto lograra avanzar hasta lograr que el litio sea un mineral susceptible de concesión minera, Chile se podría ver afectado de diferentes formas, tales como: aumento de la inversión privada, fomento de la competencia entre las empresa interesadas, mayor innovación tecnológica y desarrollo de nuevas técnicas de extracción y procesamiento, ingresos adicionales a través de impuestos y regalías asociadas a la explotación de litio, impacto ambiental y necesidad de nuevas regulaciones medioambientales y sociales, generación de empleos y oportunidades económicas para las comunidades cercanas, nuevos conflictos socioambientales en las zonas de extracción, etc. Esto podría traducirse en un cambio en el índice socioambiental, en el índice de gobernanza y en el índice de cambio climático para Chile.

Por último se tiene el anuncio de la Estrategia Nacional del litio realizada este año 2023, cuyo objetivo es aumentar las riquezas del país, desarrollando una industria clave como paso fundamental para vincular el desarrollo económico de Chile con el cambio hacia una economía verde a nivel global. Se considera necesario incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor, en armonía con las comunidades. Con tal propósito, el desarrollo de la industria del litio será liderado por el Estado e involucrará al sector privado en todo el proceso productivo. En concreto, el Estado pondrá una visión estratégica de largo plazo en todo el ciclo productivo, desde la exploración hasta la agregación de valor, además de regulaciones claras para asegurar la sostenibilidad y la reinversión en el desarrollo del país. Por su parte, los privados aportarán capital, innovación tecnológica y redes en el mercado (Gobierno de Chile, 2023).

Esta estrategia contempla la creación de una red de sistema de salares protegidos en línea con las obligaciones internacionales comprometidas por Chile en la Convención Marco de biodiversidad. Además, en los salares que se exploten, se exigirá la implementación de energías que minimicen el impacto ambiental en la recuperación del litio, como por ejemplo, la extracción directa con reinyección de salmuera. Estas medidas afectarían el índice socioambiental, ya que probablemente la cantidad de conflictos ligados al uso de agua, uso de suelos, impacto a biodiversidad y comunidades, sería menor. También se podría producir un cambio en el índice de cambio climático ya que este estudia el riesgo de sequía. Por último, la aceleración de la exploración de los salares, el acceso a nuevas tecnologías y la creación de un Instituto Tecnológico y de investigación Público en Litio y Salares, podrían llevar a que Chile tuviera una transformación productiva con una industria más potente, más competitiva, sostenible y que abrirá nuevas oportunidades de inversión tanto para el litio, como más allá de este (Gobierno de Chile, 2023).

# Capítulo 7

## Conclusiones

El análisis del impacto de diversos factores, como el potencial geológico, conflictos socioambientales, gobernanza y efectos del cambio climático, en el desarrollo de la industria del litio en Argentina, Bolivia y Chile toma especial relevancia ya que actualmente existen pocas investigaciones que relacionen estas variables con la minería del litio. El efecto del cambio climático en la minería ha sido un tema abordado por otros autores a lo largo de los últimos años, sin embargo, estas investigaciones se enfocan en otros países y en otras materias primas. Por otro lado, su importancia también radica en que el conocimiento del riesgo climático es uno de los insumos claves para la generación de planes de adaptación en las diferentes zonas de desarrollo minero.

A partir de la aplicación de la metodología propuesta en este trabajo se obtiene una serie de índices (índice de potencial geológico, índice de gobernanza, índice socioambiental e índice de cambio climático), los cuales intentan reflejar la relevancia de estos factores en el actual estado de la minería de litio en cada uno de los salares.

En cuanto al potencial geológico se obtiene que Bolivia es el país del triángulo del litio con un mayor potencial, lo cual es esperable debido a la gran extensión del salar de Uyuni. Por otro lado, el índice de gobernanza obtenido refleja que Chile es el país con un mejor marco regulatorio para la minería, seguido por Argentina y en último lugar por Bolivia. Lo anterior no refleja de buena manera la realidad para la minería del litio, ya que Argentina es el país con más proyectos en fase de desarrollo y producción, llegándose a la conclusión de que la metodología lleva a una sobreestimación del índice de Chile debido a su buena gobernanza para la industria del cobre.

Sobre el índice socioambiental se puede señalar que el país que más conflictos socioambientales tiene alrededor de los salares de litio es Chile. Esto se puede deber a un mal manejo de las empresas con las comunidades y el ecosistema, así como también puede estar relacionado directamente con la cantidad de trabajos de exploración que son realizados en este país a diferencia de la cantidad de proyectos que manejan los demás países.

Por último, los resultados del cálculo del riesgo climático señalan que, en promedio, el país más afectado frente a amenazas de sequía y precipitaciones extremas sería Bolivia, seguido

de cerca por Chile.

Uno de los principales objetivos de esta investigación fue proponer una metodología que incorporara el riesgo climático y otros factores, para reflejar el potencial del desarrollo del litio en los salares de estos tres países. A partir de los resultados obtenidos y de la comparación de estos con la realidad se llegó a la conclusión de que cada uno de estos factores inciden de diferentes formas y proporciones en la minería de litio a día de hoy. En un principio se propuso que cada uno de los factores afectaba por igual al desarrollo de la minería, pero se comprobó que existen factores con más peso que otros. El factor del potencial geológico y el factor de gobernanza juegan un gran papel en el reflejo del desarrollo de la minería de litio, mientras que los conflictos socioambientales y los efectos del cambio climático parecen no tener relevancia.

Haciendo un ajuste en la metodología se pudo obtener una mejor aproximación de la realidad, donde se concluye que dejando de lado completamente los factores socioambientales y de cambio climático se puede predecir de mejor manera el comportamiento o el desarrollo de cualquier otro salar con potencial de extracción de litio. Sin embargo, se deben tomar estas resoluciones con cautela, ya que la metodología tiene muchos aspectos que se pueden mejorar y profundizar, donde tal vez con estos cambios la importancia de cada factor puede variar haciendo que los resultados se ajusten aún mejor a la realidad.

Para finalizar, es importante señalar que un mayor interés y compromiso a nivel global por entender y considerar los efectos del cambio climático en todas las aristas de la vida y específicamente en la minería, permitiría que esta actividad económica fuera mucho más sustentable y compatible con el bienestar de las empresas, comunidades y el ecosistema. Una herramienta útil por desarrollar podría ser una base de datos que albergue información climática (amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo) de diferentes países utilizando las mismas escalas y parámetros. Una sugerencia más ambiciosa corresponde a la ampliación de la base de datos que maneja el Natural Resources Governance Institute, ya que poseen datos de gobernanza minera solo para algunos países del mundo y sería de gran utilidad para este y otros trabajos futuros, contar con esta información para más lugares.

# Bibliografía

- [1] ACON. (2015). Implementación del mapa de ruta para la adaptación del sector energético al cambio climático e identificación de factores de vulnerabilidad del sector minero y de líneas gruesas de medidas de adaptación. [http://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/1320/V1\\_Metodologia%20\\_Estimar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/1320/V1_Metodologia%20_Estimar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [2] ARCLim. (2020, octubre). Marco Metodológico ARCLim (pp. 3–10). [https://arclim.mma.gob.cl/media/learning/Metodologia\\_ARCLIM.pdf](https://arclim.mma.gob.cl/media/learning/Metodologia_ARCLIM.pdf)
- [3] Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S., & Isacks, B. (1997). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.139>
- [4] Alonso, D. (s.f.). Cómo generar un buffer con QGIS. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2021/02/como-generar-un-buffer-con-qgis/>
- [5] Alonso, R. & Gutiérrez, R. (1986). Litoestratigrafía del Neógeno terminal. Puna sud-oriental argentino. Revista del Instituto de Geología y Minería N° 6. Universidad Nacional de Jujuy. República Argentina.
- [6] Altomonte, H. & Sánchez, R. J. (2016). Hacia una nueva gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40157>
- [7] Andersen, L. E., & Mamani Paco, R. (2009). Cambio Climático en Bolivia hasta 2100: Síntesis de Costos y Oportunidades. <http://inesad.edu.bo/bcde2009/A2%20Andersen%20Mamani.pdf>
- [8] Apaza, J. (2023, 31 de marzo). Chile propone intercambio de experiencias, no así alianza del litio con Bolivia y Argentina. La Razón.
- [9] Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C., Uribe, J. & Paneque, M. (2020). Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Climate Dynamics*. 54. 10.1007/s00382-020-05231-4. [https://www.researchgate.net/publication/340538375\\_Climate\\_change\\_projections\\_of\\_temperature\\_and\\_precipitation\\_in\\_Chile\\_based\\_on\\_statistical\\_downscaling](https://www.researchgate.net/publication/340538375_Climate_change_projections_of_temperature_and_precipitation_in_Chile_based_on_statistical_downscaling)
- [10] Arent, D., Pless, J., Mai, T., Wisser, R., Hand, M., Baldwin, S., Heath, G., Macknick, J., Bazilian, M., Schlosser, A. & Denholm, P. (2014). Implications of high renewable electricity penetration in the U.S. for water use, greenhouse gas emission, land-use, and materials supply. In: *Applied Energy* 123, pp. 368-377.

- [11] Babidge, S. (2016). Contested value and an ethics of resources: water, mining and indigenous people in the Atacama Desert, Chile. *Aust. J. Anthropol.* 27 (1), 84–103. <http://dx.doi.org/10.1111/taja.12139>
- [12] Barros, V. R., Doyle, M. E., & Camilloni, I. A. (2008). Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0329-x>
- [13] Barros, V.R., Boninsegna, J.A., Camilloni, I.A., Chidiak, M., Magrín, G.O., & Rusticucci, M. (2014). Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151–169. doi:10.1002/wcc.316
- [14] BBC News Mundo. (2021, 24 de agosto). Los impactantes paisajes que las baterías de tus teléfonos están creando en Sudamérica. *El Mostrador*.
- [15] Bowell, R.J., Lagos, L., de los Hoyos, C.R. & Declercq, J. (2020). Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources. *Elements*, 16 (4), 259-264. <https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.259>
- [16] Budds, J. (2010). Water rights, mining and indigenous groups in Chile's atacama. In: Boelens, R., Getches, D.H., Guevera, G., Armando, J. (Eds.), *Out of the Mainstream: Water Rights, Politics and Identify*. Earthscan, London, pp. 197–211.
- [17] Cabello, J., (2010). Lithium Resources in Northern Chile, A report for the Japan. Oil Gas Metals Natl. Corp.-JOGMEC, Internal Report 42, p.
- [18] Cabello, J., (2017). Geología y Minería de los Yacimientos de Litio en Chile: Aspectos técnicos para una Optimización de su Desarrollo. XV Jornadas de Derecho de Minería, Santiago de Chile, Power Point Presentation, 32 slides.
- [19] Cabello, J. (2021). Lithium brine production, reserves, resources and exploration in Chile: An updated review. *Ore Geology Reviews*, 128, 103883. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103883>
- [20] Catálogo GeoBolivia - GeoBolivia. (s.f.). GeoBolivia - Infraestructura de Datos Espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia. <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=node016skuomvmt9duszjzrtxipzji2994.node0#/home>
- [21] CEDIB. (s.f.). Región de recursos evaporíticos. Lagos y salares (Satelital). <https://www.cedib.org/wp-content/uploads/2012/05/Mapa-5-Evaporiticos.pdf>
- [22] CEPAL. (2014). Pactos para la igualdad: hacia un futuro sostenible. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/36692>
- [23] Christmann, P., Gloaguen, E., Labbé, J., Melleton, J., & Piantone, P. (2015). *Global Lithium Resources and Sustainability Issues*.
- [24] CIM. (2014). CIM DEFINITION STANDARDS- For Mineral Resources and Mineral Reserves. [https://mrmr.cim.org/media/1092/cim\\_definition\\_standards\\_20142.pdf](https://mrmr.cim.org/media/1092/cim_definition_standards_20142.pdf)
- [25] Codelco. (2017). Memoria anual 2016. <https://www.codelco.com/memoria2016/pdf/memoria-anual/memoria-anual-codelco-2016.pdf>

- [26] COMIBOL. (2000). Gerencia nacional de recursos evaporíticos. Memoria Institucional, 55.
- [27] COMIBOL. (2022, 9 marzo). Objetivos Institucionales. <https://www.comibol.gob.bo/index.php/institucional/objetivos-institucionales>
- [28] Comisión Chilena de Energía Nuclear. (2019, octubre). Fiscalización y Control de Venta del Litio. [https://www.cchen.cl/?page\\_id=2897](https://www.cchen.cl/?page_id=2897)
- [29] Comisión Nacional de Productividad & COCHILCO. (2016). Productividad en la gran minería del cobre en Chile. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Productividad-en-la-Gran-Miner--a-del-Cobre-en-Chile.pdf>
- [30] ¿Conocés el INTI? (2022, 5 julio). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/inti/conoces-el-inti>
- [31] Damingos, D. (2011). Monetizing the impacts of climate change on the Greek mining sector.
- [32] de la Hoz, M., Martínez, V. R., & Vedia, J. L. (2013). El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares. [https://www.researchgate.net/publication/355174798\\_El\\_litio\\_desde\\_los\\_salares\\_de\\_la\\_Puna\\_a\\_nuestros\\_celulares](https://www.researchgate.net/publication/355174798_El_litio_desde_los_salares_de_la_Puna_a_nuestros_celulares)
- [33] Del Río, J.I. (2022). Insumo clave para un plan de adaptación del sector minero: mapas de riesgo climático para la minería del cobre de la segunda región.
- [34] Dente, M. V., & Martínez, S. (s.f.). Cuencas varias de la Puna. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/83.pdf>
- [35] Dorn, F. & Ruiz, F. (2020). Lithium as a Strategic Resource: Geopolitics, Industrialization, and Mining in Argentina.
- [36] Ebensperger, A., Maxwell, P., & Moscoso, C. (2005). The lithium industry: Its recent evolution and future prospects.
- [37] EJAtlas. (s.f.). EJAtlas — Mapping Environmental Justice. <https://www.ejatl.org/?translate=es>
- [38] ENAMI. (2019, octubre). Sobre ENAMI. <https://www.enami.cl/SobreENAMI/Pages/default.aspx>
- [39] Equipo Actualidad Jurídica. (2023, 26 de julio). Ingresa proyecto de ley para eliminar el litio como mineral no susceptible de concesión minera. DOE — Actualidad Jurídica.
- [40] Ericksen, G.E., Vine, J.D. & Ballon, R. (1977). Lithium-rich brines at Salar de Uyuni and nearby salars in southwestern Bolivia. U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 77-615, 47.
- [41] Ericksen, G.E. & Salas, R. (1987). Geology and resources of salars in the central Andes. U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 88-210, 51.

- [42] Ericksen, G.E. & Salas, R. (1989). Geology and resources of salars in the central andes in geology of the andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: houston, texas, circum-pacific council for energy and mineral resources earth science series, vol 11. Chapter 10, 151–164.
- [43] Esri. (s.f.). ¿Qué es un shapefile?—ArcMap — Documentación. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>
- [44] Etkin, D. (1998). Climate change impacts on permafrost engineering design. Environment Canada
- [45] Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). (2014). Second Roshydromet assessment report on climate change and its consequences in russian federation. [http://downloads.igce.ru/publications/OD\\_2\\_2014/v2014/pdf/resume\\_ob\\_eng.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_ob_eng.pdf)
- [46] Flores, M. (2016). Agua desalinizada, ¿Solución a la escasez hídrica en la ciudad de Antofagasta, Chile?. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143587>
- [47] Ford, J., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Berrang-Ford, L., Beaumier, M. & Smith, T. (2010). Perceptions of climate change risks in primary resource use industries: a survey of the Canadian mining sector. *Regional Environmental Change* 10(1):65–81. <https://doi.org/10.1007/s10113-009-0094-8>
- [48] Ford, J., Pearce, T., Prno, J., Duerden, F., Berrang Ford, L., Smith, T. & Beaumier, M. (2011). Canary in a coal mine: perceptions of climate change risks and response options among Canadian mine operations. *Climatic Change* 109:3-4, pp. 399-415. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0029-5>
- [49] Fraser Institute. (2015). Welcome to the Fraser Institute. <https://www.fraserinstitute.org/about>
- [50] Fraser Institute. (2022, 12 abril). Annual Survey of Mining Companies, 2021. <https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2021>
- [51] Galaz-Mandakovic Fernández, D. (2014). Uyuni, capital turística de Bolivia: Aproximaciones antropológicas a un fenómeno visual posmoderno desbordante. [https://www.researchgate.net/publication/270451982\\_Uyuni\\_capital\\_turistica\\_de\\_Bolivia\\_Aproximaciones\\_antropologicas\\_a\\_un\\_fenomeno\\_visual\\_posmoderno\\_desbordante](https://www.researchgate.net/publication/270451982_Uyuni_capital_turistica_de_Bolivia_Aproximaciones_antropologicas_a_un_fenomeno_visual_posmoderno_desbordante)
- [52] Ganfeng Lithium. (2020). Lithium Metals—Lithium Compounds—Ganfeng Lithium Co.,Ltd. [http://www.ganfenglithium.com/about1\\_en.html](http://www.ganfenglithium.com/about1_en.html)
- [53] García, R., Rocha, V., Moya, F. & Tálamo, E. (2011). El Ambiente Hidrogeológico de la Puna Salteña. VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Salta, República Argentina.
- [54] García, R., Rocha, V., Moya, F. & Tálamo, E. (2013). Exploración y Explotación de Salmueras Enriquecidas en Litio y Potasio en Salares de la Puna Argentina. <https://core.ac.uk/download/pdf/333884486.pdf>

- [55] Garrett, D. (2004). Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Processing, Uses and Properties. Elsevier Academic Press, p. 651.
- [56] Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos. (2010). Memoria Institucional. <https://www.cedib.org/wp-content/uploads/2021/08/Memoria-gnre-2010.pdf>
- [57] GIZ & EURAC. (2017). El Libro de la Vulnerabilidad.
- [58] Göbel, B. (2013). La minería del litio en la Puna de Atacama: interdependencias trans-regionales y disputas locales.
- [59] Gobierno de Chile. (2023). Estrategia Nacional del Litio. [https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public\\_files/Campaas/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES\\_14062023\\_2003.pdf](https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campaas/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf)
- [60] Gobierno de Chile. (2023, 20 abril). Presidente Boric da a conocer creación de Empresa Nacional del Litio. <https://www.gob.cl/noticias/presidente-boric-da-conocer-creacion-de-empresa-nacional-del-litio/>
- [61] Gorustovich, S., Monaldi, C., & Salfity, J. (2011). Cenozoic Geology of the Central Andes of Argentina, 169-187 /1691Comisión Nacional de Energía Atómica. 2Universidad Nacional de Salta.Geology and metal ore deposits in the Argentine Puna. [https://www.researchgate.net/publication/262006153\\_Geology\\_and\\_metal\\_ore\\_deposits\\_in\\_the\\_Argentine\\_Puna](https://www.researchgate.net/publication/262006153_Geology_and_metal_ore_deposits_in_the_Argentine_Puna)
- [62] Grosjean, C., Herrera, P., Perrin, M., & Poggi, P. (2012). Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry.
- [63] Gruber, P.W., Medina, P.A., Keoleian, G.A., Kesler, S.E., Everson, M.P. & Wallington, T.J. (2011). Global lithium availability: a constraint for electric vehicles? *J. Ind. Ecol.* 15, 760–775.
- [64] Gutiérrez, F. M. & Garibotti, C. (s. f.). Litio- Algunos apuntes sobre el marco regulatorio argentino y sus desafíos.
- [65] Hodgkinson, J. H., & Smith, M. H. (2021). Climate change and sustainability as drivers for the next mining and metals boom: The need for climate-smart mining and recycling. *Resources Policy*, 74, 101205. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.05.016>
- [66] IBM Corporation. (2023, 3 enero). R cuadrado ajustado. <https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/11.2.0?topic=terms-adjusted-r-squared>
- [67] IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_all\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf)
- [68] IPCC. (2018). Anexo I: Glosario. En J. B. R. Matthews (Ed.), *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir*

- las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
- [69] JEMSE. (2022, 15 septiembre). HOME. JEMSE - Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado. <https://jemse.gob.ar/>
- [70] Jorratt, M. (2022). Renta económica, régimen tributario y transparencia fiscal de la minería del litio en la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47807/1/S2100999\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47807/1/S2100999_es.pdf)
- [71] Kaunda, R. B. (2020). Potential environmental impacts of lithium mining. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1754596>
- [72] Kawamoto, H. & Tamaki, W. (2011). Trends in Supply of Lithium Resources and Demand of the Resources for Automobiles. <https://core.ac.uk/reader/236667620>
- [73] Kesler, S. E., Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Everson, M. P. & Wallington, T. J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits.
- [74] Kunasz, L. A. (1979). Lithium in brines. En A. H. Coogan & L. Hauber (Eds.), Fifth Symposium on Salt (Vol. 1, pp. 115-117). The Northern Ohio Geological Society, Inc.
- [75] Lèbre, E., Stringer, M., Svobodova, K., Owen, J., Kemp, D., Côte, C., Arratia-Solar, A. & Valenta, R. (2020). The social and environmental complexities of extracting energy transition metals.
- [76] León, M., Muñoz, C., & Sánchez, J. (Eds.). (2020). La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos. CEPAL. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46479/S2000535\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46479/S2000535_es.pdf)
- [77] Código de Minería. Ley 18248 de 2014. 26 de Septiembre de 1983 (Chile). <http://bcn.c1/2by46>
- [78] Ley 928 de 2017. Ley de la empresa pública nacional estratégica de yacimientos de litio bolivianos-YLB. 27 de Abril de 2017.
- [79] Lithium Americas. (s. f.). LithiumAmericas. <https://www.lithiumamericas.com/>
- [80] Loechel, B., Hodgkinson, J.H., Prober, S. & Moffat, K. (2013). Climate adaptation in regional mining value chains. A casestudy of the Goldfields-Esperance Region, Western Australia. Study prepared by CSIRO Earth Science and Resource Engineering for the Chamber of Minerals and Energy, Eastern Region, WA and the Goldfields Environmental Management Group. Pullenvale: CSIRO Earth Science and Resource Engineering.
- [81] Lombardi, V. (2019, 14 de febrero). Litio: Salares en disputa – Agencia TSS. UNSAM - Universidad Nacional de San Martín. <https://www.unsam.edu.ar/tss/litio-salares-en-disputa/>

- [82] Lowenstein, T.K., Li, J., Hanne, J., Godfrey, L. & Jordan, T. (1998). 80,000-year paleoclimate record from the arid Andes, Salar de Hombre Muerto, Argentina. *Geological Society of American, Abstracts with Programs*, 30, 7, pp. 115–116.
- [83] Lowenstein, T. & Risacher, F. (2009). Closed basin brine evolution and the influence of Ca–Cl inflow waters. Death Valley and Bristol Dry Lake, California, Qaidam Basin, China, and Salar de Atacama, Chile. *Aquat. Geochem.* 15, 71–94.
- [84] Martínez-Alier, J., H. Healy, L. Temper, M. Walter, B. Rodríguez-Labajos, J.F. Gerber & M. Conde. (2011). Between science and activism: learning and teaching ecological economics with environmental justice organisations.
- [85] Martínez-Alier, J. (2021). Mapping ecological distribution conflicts: The EJAtlas. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.02.003>
- [86] Merino, Á. (2023, 30 de abril). El triángulo del litio, el salar donde se decide el futuro energético del planeta. *El Orden Mundial - EOM*. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/triangulo-litio-salar-futuro-energetico-planeta/>
- [87] Minera Exar. (2017). Litio argentino, litio jujeño. <https://www.mineraexar.com.ar/>
- [88] Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación & Secretaría de Minería de la Nación. (2021, octubre). Informe Litio. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe\\_litio\\_-\\_octubre\\_2021.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_litio_-_octubre_2021.pdf)
- [89] Minitab Blog Editor. (2019, 18 abril). Análisis de Regresión: ¿Cómo Puedo Interpretar el R-cuadrado y Evaluar la Bondad de Ajuste?
- [90] Misión y función. (2021, 27 julio). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/segemar/mision-y-funcion>
- [91] Munk, L.A., Hynek, S., Boutt, D., Labay, K. & Jochens, H. (2016). Lithium Brines: A Global Perspective. Chapter 14 in *Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits Reviews in Economic Geology V 14*, Society of Economic Geologists, p.339-365.
- [92] Muñoz, R. (2016, noviembre). Litio en Chile: rol de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. [https://www.cchen.cl/transparencia/transparencia\\_2017/RespuestasSolicitudes/2017/Acto%20Adm%20N%20AU003T0000112/Anexo%20letra%20a-AU003T0000112-J%20Molina-Presentacion.pdf](https://www.cchen.cl/transparencia/transparencia_2017/RespuestasSolicitudes/2017/Acto%20Adm%20N%20AU003T0000112/Anexo%20letra%20a-AU003T0000112-J%20Molina-Presentacion.pdf)
- [93] Natural Resource Governance Institute. (2021). Índice de Gobernanza de los Recursos Naturales 2021. [https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/indice\\_de\\_gobernanza\\_de\\_los\\_recursos\\_naturales\\_2021.pdf](https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/indice_de_gobernanza_de_los_recursos_naturales_2021.pdf)
- [94] Natural Resource Governance Institute. (2022, 18 octubre). What we do. <https://www.resourcegovernance.org/about-us/what-we-do>
- [95] Neale, T., Auld, H., Bizikova, L., Klaassen, J. & MacIver, D. (2007). Mining in a changing climate: impacts and adaptation needs in the mining sector. In: *Proceedings of Mining and the Environment IV Conference*, Sudbury, Ontario, October 19–27.

- [96] Obaya, M. (2019). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia. [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44776/S1900479\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44776/S1900479_es.pdf)
- [97] Observatorio de Conflictos Mineros de America Latina & Observatorio Latino Americano de Conflictos Ambientales. (2019). Marco normativo del litio chileno. <https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2019/06/LITIO-BOLETI%CC%81N-VERSION-FINAL-1.pdf>
- [98] Odell, S. D., Bebbington, A., & Frey, K. E. (2018). Mining and climate change: A review and framework for analysis.
- [99] Ordoñez, J. (2018, 18 abril). Guía del salar de Uyuni: lo que necesitas saber. Dejarlo todo para viajar. <http://www.dejarlotodoparaviajar.com/project/guia-del-salar-de-uyuni/>
- [100] Pearce, T.D., Ford, J.D., Prno, J., Duerden, F., Berrang-Ford, L., Smith, T., Pitman, J., Reid, A., Beaumier, M. & Marshall, D. (2009). Climate change and Canadian mining: Opportunities for Adaptation. David Suzuki Foundation. Retrieved 9 December 2015. [https://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2009/Climate\\_Change\\_And\\_Canadian\\_Mining.pdf](https://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2009/Climate_Change_And_Canadian_Mining.pdf)
- [101] Pearce, T., Ford, J., Prno, J., Duerden, F., Pittman, J., Beaumier, M., Berrang-Ford, L. & Smit, B. (2011). Climate change and mining in Canada. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 16(3):347–368.
- [102] Phillips, J. (2016). Climate change and surface mining: a review of environment-human interactions and their spatial dynamics. *Appl. Geogr.* 74, 95–108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.07.001>.
- [103] Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, F., Bustos, S., Falvey, M., Ibarra, M., Duarte, K., Ormazábal, R., Dittborn, R. & Silva, I. (2020). Informe Proyecto ARClím: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile.
- [104] Prieto, M. (2015). Privatizing water in the Chilean Andes: the case of Las Vegas de Chiu-Chiu. *Mt. Res. Dev.* 35 (3), 220–229. <http://dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00033.1>
- [105] Prieto, M. (2017). El riesgo que el Mercado no quiere ver: Historia del despojo hídrico en las comunidades de Lasana y Chiu. *J. Latin Am. Geogr.* 16 (2), 69–91.
- [106] Quezada Cortez, G., & Carvajal Velasco, N. (2022, 2 julio). Salar de Uyuni: el depósito evaporítico más grande del mundo. GMGA - Grupo de Mineralogía e Geoquímica Aplicada. <https://gmga.com.br/06-salar-de-uyuni-el-deposito-evaporitico-mas-grande-del-mundo/>
- [107] Régimen legal de la explotación del litio y sus derivados. Art. 1-74. 2017 (Argentina).
- [108] Risacher, F. & Fritz, B. (1991). Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa. central Altiplano, Bolivia. *Chem. Geol.* 90, 211–231.

- [109] Rusticucci, M., & Barrucand, M. (2004). Observed trends and changes in Temperature Extremes over Argentina. [https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/17/20/1520-0442\\_2004\\_017\\_4099\\_otacit\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/17/20/1520-0442_2004_017_4099_otacit_2.0.co_2.xml)
- [110] Rüttinger, L. (2016). Climate Change and Mining. A foreign Policy Perspective.
- [111] Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf)
- [112] SERGEOMIN. (2021). IDENTIDAD – SERGEOMIN. <https://sergeomin.gob.bo/identidad/>
- [113] Sharma, V. & Franks, D. (2013). In situ adaptation to climatic change: mineral industry responses to extreme flooding events in Queensland, Australia. In: *Society and Natural Resources* 26:11, pp. 1252-1267.
- [114] Sharma, V., van de Graaff, S., Loechel, B. & Franks, D.M. (2013). Extractive resource development in a changing climate: Learning the lessons from extreme weather events in Queensland, Australia, National Climate Change Adaptation Research Facility, pp. 110.
- [115] SIMARCC. (2020). Metodología SIMARCC 2020 (Fase 3).
- [116] Sticco, M., Guerra, G., Kwaterka, V., Valdés, S., & Universidad de Buenos Aires. (2021). Impactos ambientales de la explotación de litio en los humedales y recursos hídricos del Altiplano. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD007831.pdf>
- [117] Stratos. (2009). Climate change impacts on mining operations and infrastructure—literature review. Stratos Inc., Ottawa.
- [118] Ströbele-Gregor, J. (2012). Litio en Bolivia: El plan gubernamental de producción e industrialización del litio, escenarios de conflictos sociales y ecológicos, y dimensiones de desigualdad social (B. Göbel & L. Kemmer, Eds.). [https://publications.iai.spk-berlin.de/receive/riai\\_mods\\_00000416](https://publications.iai.spk-berlin.de/receive/riai_mods_00000416)
- [119] Ströbele-Gregor, J. (2013). El proyecto estatal del litio: expectativas, desafíos y dilemas. <https://www.cedib.org/wp-content/uploads/2021/08/El-proyecto-estatal-del-litio-en-Bolivia.pdf>
- [120] Sun, Y., Yang, Y., Huang, N., & Zou, X. (2020). The impacts of climate change risks on financial performance of mining industry: Evidence from listed companies in China.
- [121] Talens, L., Villalba, G., & Ayres, R. U. (2013). Lithium: Sources, Production, Uses, and Recovery Outlook. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-013-0666-4#citeas>
- [122] Temper, L., Del Bene, D. & Martinez-Alier, J. (2015). Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas.
- [123] UDAPE. (2011, junio). Misión y Visión. [https://www.udape.gob.bo/index.php?option=com\\_content](https://www.udape.gob.bo/index.php?option=com_content)

- [124] UDAPE. (s.f.). Metodología de elaboración de los indicadores de vulnerabilidad. [https://www.udape.gob.bo/Vulnerabilidad2021\\_UDAPE\\_UNFPA/pdf\\_fichas/Metodolog%C3%ADa\\_Plataforma.pdf](https://www.udape.gob.bo/Vulnerabilidad2021_UDAPE_UNFPA/pdf_fichas/Metodolog%C3%ADa_Plataforma.pdf)
- [125] Urkidi, L. (2010). A glocal environmental movement against gold mining: Pascua-Lama in Chile. *Ecol. Econ.* 70 (2), 219–227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.004>.
- [126] U.S. Energy Information Administration (EIA). (2022, 15 julio). Electricity explained. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/#:~:text=Electricity%20is%20a%20secondary%20energy,widely%20used%20forms%20of%20energy>.
- [127] U.S. Geological Survey (USGS). (2009). Mineral Commodity Summaries. Lithium. Reston.
- [128] U.S. Geological Survey (USGS). (2020). Lithium in U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 98–99. Vila, T., 1990. Salar Deposits in Northern Chile, in *Stratabound Ore Deposits in the Andes*, L. Fontboté, ed. 703–720.
- [129] U.S. Geological Survey (USGS). (2022). Mineral Commodity Summaries. Lithium. Reston.
- [130] Vera, C., & Camilloni, I. (2006). Enabling Study for the Second National Communication to the UNFCCC.
- [131] Vivante, D. & Alonso, R.N. (2006). Evapofacies del Salar Hombre Muerto, Puna Argentina: distribución y génesis. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 61, 286–297.
- [132] Weil, M., Ziemann, S. & Schebek, L. (2009). How to assess the availability of resources for new technologies? Case study: Lithium a strategic metal for emerging technologies. *Revue de Métallurgie*, 106(12), 554–558. <https://doi.org/10.1051/metal/2009088>
- [133] Withman, D., Isacks, B. & Kay, S. (1996). Estructura litosférica y segmentación a lo largo del rumbo de la Meseta Andina Central: Q sísmico, magmatismo, flexión, topografía y tectónica.
- [134] World Bank Group. (2017, 18 julio). Clean Energy Transition Will Increase Demand for Minerals, says new World Bank report. World Bank.
- [135] Worley Parsons (2019). Definitive feasibility Study of MSB Blanco Lithium Carbonate Projects, Atacama Region Chile, Technical Report for Minera Salar Blanco, 389 p. <https://lithiumpowerinternational.com/wp-content/uploads/2019/01/Definitive-Feasibility-Study-of-MSB-Blanco-Lithium-Carbonate-Project.pdf>
- [136] Worldwide Governance Indicators. (2013). WGI-Home. <https://info.worldbank.org/governance/wgi/>
- [137] YLB. (s.f.). YLB/Misión Visión. [https://www.ylb.gob.bo/inicio/mision\\_vision](https://www.ylb.gob.bo/inicio/mision_vision)
- [138] Yurisch, T. (2019). Gobernanza: la nueva estrategia de desarrollo para países minero extractivistas. <https://rches.utem.cl/?p=1382>

# Anexo

## Argentina

- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR): “organismo nacional científico-tecnológico responsable de la producción de conocimiento e información geológica, tecnológica, minera y geológica ambiental del territorio de la República Argentina y plataforma continental. Su misión es examinar la estructura geológica y los recursos minerales del territorio nacional y asegurar la disponibilidad de información geocientífica requerida para promover el desarrollo sostenible y el aprovechamiento racional de los recursos naturales no renovables, y contribuir al resguardo de la vida y propiedades de sus habitantes frente a los riesgos emergentes de los procesos geodinámicos” (*Misión y función*, 2021).
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI): “es el referente del Estado Nacional en materia de tecnología industrial y metrología”, y su misión es “contribuir al desarrollo de la industria a través de la generación y la transferencia de tecnología, la certificación de procesos y productos y personas, y el aseguramiento de la calidad de los bienes y servicios producidos en todo el país” (*¿Conocés el INTI?*, 2022).
- Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE): “es una empresa público privada que tiene el objetivo de promover el crecimiento económico, social y medioambiental de la provincia de Jujuy” (Jemse, 2022). En 2011 fue decretada la constitución de esta sociedad la cual tiene por objeto “llevar a cabo por sí, por intermedio de terceros o asociada a terceros tareas de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica, hidrocarburos o realizar actividades de comercio vinculadas como bienes energéticos, y desarrollar cualquiera de las actividades previstas en su objeto, tanto en el país como en el extranjero” (León et al., 2020).
- Minera Exar: es una empresa argentina, conformada por Lithium Americas Corp., Ganfeng Lithium y JEMSE, dedicada al desarrollo y producción de litio en el Salar Caucharí-Olaroz en la provincia de Jujuy (Minera Exar, 2017).
- Minera del Altiplano S.A. (MDA): es una de las empresas que destacan dentro del núcleo extractivista por la maduración de sus proyectos, específicamente aquellos en Catamarca (León et al., 2020).
- Lithium Americas Corp.: “empresa que se enfoca en llevar proyectos de litio en Argentina y Estados Unidos a producción. En Argentina, Caucharí-Olaroz avanza hacia la primera producción como la mayor operación de salmuera nueva en más de 20 años

y Pastos Grandes, en las proximidades de Caucharí-Olaroz, representa un crecimiento regional '(Lithium Americas, s.f.)'.

- Gangfeng Lithium: es una empresa productora de litio, productos de litio, otros metales y baterías. “Cubre una amplia franja de la cadena de suministro de baterías de litio, desde el desarrollo, la refinación y el procesamiento de recursos de litio hasta la fabricación y el reciclaje de baterías. Sus productos son ampliamente utilizados en vehículos eléctricos, almacenamiento de energía, productos 3C, productos químicos y farmacéuticos ”(Ganfeng Lithium, 2020).

## **Bolivia**

- Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL): corresponda a una empresa encargada de administrar la cadena productiva de la minería estatal en Bolivia (León et al., 2020). Dentro de sus objetivos como empresa están: aplicar la gestión empresarial eficiente, para construir una Corporación Minera, Metalúrgica e Industrial, generar ingresos y excedentes económicos en las empresas filiales y unidades productivas de la Corporación Minera de Bolivia, promover alianzas estratégicas para nuevos proyectos mineros, ejecutar planes y proyectos geológicos de gran envergadura, incrementar la producción a través de innovaciones tecnológicas, generar valor agregado, desarrollar políticas favorables en el ámbito minero y trabajos de investigación y finalmente, promover la gestión ambiental, seguridad e higiene industrial y salud ocupacional (COMIBOL, 2022).
- Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB): “es una empresa estatal creada por Ley N°982 del 27 de abril de 2017, es una entidad descentralizada dependiente del Ministro de Hidrocarburos y Energías, encargada de desarrollar los procesos de la química básica de los recursos evaporíticos con una participación 200 % estatal, para la producción de cloruro de litio, sulfato de litio, hidróxido de litio, carbonato de litio, cloruro de potasio, nitrato de potasio, sulfato de potasio y sales derivadas e intermedias” (YLB, s.f).
- Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE): corresponde a una organización con la responsabilidad sobre la exploración, explotación, industrialización y comercialización de los recursos de los salares y que anteriormente fue conocida como “Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE)” (León et al., 2020).
- Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP): está encargado de “supervisar, gestionar y coordinar proyectos referidos a baterías de litio, materiales activos (cátodos), electrolitos de litio y otros productos avanzados. Se compone de la planta piloto de baterías, la planta piloto de materiales catódicos y el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia (CICYT MAT REB)” (León et al., 2020).
- Servicio Geológico Minero (SERGEOMIN): es la entidad responsable de “realizar prospección y exploración de los recursos naturales no renovables, generar información geocientífica, elaborar la Carta Geológica Nacional y prestar servicios de calidad en los campos de la geología, minería y medio ambiente, para contribuir al desarrollo económico del país” (SERGEOMIN, 2021). Dentro de sus objetivos se encuentra administrar los recursos financieros y no financieros que dispone el SERGEOMIN, generar y actualizar información básica de geología, recursos mineralógicos y publicar mapas regionales,

participar en el desarrollo de proyectos de prospección y exploración geológica minera y por último, promover y gestionar servicios geológicos remunerados (SERGEOMIN, 2021).

- Xinjiang TBEA Group: corresponde a una empresa china dedicada a la producción de minerales y productos químicos y la transmisión y transformación de energía. Esta empresa fue seleccionada por YLB para avanzar en el proceso de industrialización de los salares de Coipasa y Pastos Grandes, a partir del 6 de febrero del 2019 (León et al., 2020).
- América Baocheng Desarrollo y Tecnología del Salar S.R.L.: corresponde a una compañía constituida en el Estado Plurinacional de Bolivia que forma parte de la cooperación técnica del Qinghai Institute of Salt Lakes (ISL), de la Academia China de las Ciencias y el Tus-membrane Group. Esta empresa junto a Xinjiang TBEA Group formaron una alianza estratégica para promover la industrialización de los salares de Coipasa y Pastos Grandes.

## Chile

- CORFO: la Corporación de Fomento de la Producción es la agencia del Gobierno de Chile, organismo de ámbito multisectorial, encargado del fomento de la producción nacional y promotora del crecimiento económico regional. Se vincula con la industria del litio debido a que es titular de las pertenencias mineras en el salar de Atacama y a que delega su explotación a empresas privadas por vía contractual, siendo así la representante estatal en la participación en la gobernanza de este recurso.
- Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco): si bien Codelco es una empresa estatal dedicada a la explotación minera cuprífera, forma parte de las instituciones relacionadas con el litio chileno, ya que posee concesiones mineras en salares inscritas antes de 1979, por lo que son autorizadas para la explotación de litio. Dichas concesiones incluyen gran parte del Salar de Maricunga y todo el Salar de Pedernales. Además, Codelco fundó la empresa estatal Salar de Maricunga SpA, buscando incrementar la participación estatal en el mercado del litio e inaugurar plantas en los salares.
- Empresa Nacional de Minería (ENAMI): corresponde a una empresa del Estado de Chile dedicada al fomento y sustentabilidad de la pequeña y mediana minería en más de 50 localidades del país (ENAMI, 2019). Con respecto al litio, es relevante ya que posee pertenencias mineras autorizadas para la explotación del litio en los salares de Aguilar, Cototos e Infieles inscritos en la década del 70. Como parte de su estrategia para la extracción de litio, inició una asociación con la empresa estadounidense Wealth Minerales, apuntando a la explotación en el Salar de Atacama y en Laguna Verde. También, en 2018, firmó un acuerdo con otra empresa para poder iniciar la explotación de litio en los salares Aguilar e Infieles.
- Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN): es un organismo del Estado de Chile, que atiende la producción, adquisición, transferencia, transporte y uso pacífico de la energía nuclear. Está ligada al litio ya que a través de la modificación de la Ley núm. 16319, cuenta con la facultad de autorizar la explotación del litio ya que se establece

que este elemento es material de interés nuclear. El artículo N°8 de dicha ley, señala que “Por exigirlo el interés nacional, materiales atómicos naturales y el litio extraídos, y los concentrados, derivados y compuestos de aquellos y éste, no podrán ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, con ésta o con su autorización previa”. La comisión ha estimado, desde 1980, otorgar 9 autorizaciones, los cuales aún se mantienen vigentes y corresponden a las empresas mineras: Codelco Pedernales y Maricunga, Minera Salar Blanco, Cominor, Simbalik, SQM y Albemarle (Comisión Chilena de Energía Nuclear, 2019).

- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN): “es el organismo técnico responsable de generar, mantener y divulgar información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional, para el bienestar de la comunidad y al servicio del país, y de regular y/o fiscalizar el cumplimiento de normativa mineras en materia de seguridad, propiedad, planes de cierre, para contribuir al desarrollo de la minería nacional” (SERNAGEOMIN, 2021).
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) y Consulta Indígena: la función del SEIA corresponde a la evaluación ambiental de proyectos mineros. Esta evaluación ambiental, comenzó a ser obligatoria a partir del año 1997, por lo cual los proyectos que fueron iniciados antes de este año (como proyectos de explotación de litio de SQM y Albemarle en el Salar de Atacama) no es necesaria dicha evaluación. Por otro lado, se hace obligatoria la consulta indígena previa, libre e informada cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles que puedan afectarles directamente. “Se integra la consulta como instrumento del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. Sin embargo ni la participación ciudadana en el proceso de evaluación ambiental como tampoco la consulta indígena son vinculantes, y ambas instancias han sido duramente criticados por no ofrecer espacios de participación real de las comunidades sobre sus territorios” (OCMAL & OLCA, 2019).
- Sociedad Química y Minera (SQM): es una compañía minera privada global dedicada a la explotación, procesamiento y comercialización del nitrato de potasio y fertilizantes de especialidad, yodo y derivados, litio y derivados y sales solares. En Chile comienza a tener relevancia a partir de la década de 1990, cuando adquiere la participación accionaria de Amax (minera estadounidense que contaba con una participación accionaria del 63,75 %) y de Molymet (empresa chilena que contaba con una participación accionaria del 11,25 %), acumulando así el 75 % de la participación y convirtiéndose en el socio mayoritario de la Sociedad Minera Salar de Atacama Ltda. (MINSAL), mientras que CORFO conservaba el otro 25 %. En 1995, SQM adquirió todas las acciones de CORFO y comenzó así con la construcción de una planta de cloruro de potasio y con la producción de carbonato de litio (León et al., 2020).
- Albemarle: corresponde a una empresa global de origen estadounidense fundada en 1993, dedicada al desarrollo, fabricación y comercialización de productos químicos tales como el litio y sus derivados, especialidades de bromo y catalizadores. Actualmente es una de las mayores productoras de litio del mundo, con presencia en Chile desde hace más de 40 años. Los inicios de Albemarle en Chile se remontan a 1980, año en el cual se crea la Sociedad Chilena de Litio (SCL) que nace de la unión de CORFO y Foote Mineral Co. Gracias al derecho validado por la CCHEN, de producir y vender litio en

un área de concesión del salar de Atacama, SCL comienza a producir carbonato de litio en 1984. Posteriormente, CORFO vende su 45 % de participación a Foote Mineral Co., empresa que años más tarde es adquirida por la empresa alemana Chemetall, la cual luego es comprada por la empresa estadounidense Rockwood Holdings Inc. Finalmente, en 2015, Albemarle compra Rockwood Holdings Inc., situándose en Chile con ese nombre hasta el día de hoy. Un año más tarde se autorizó una inversión de 600 millones de dólares para ampliar la producción de la empresa de 26.000 toneladas anuales a 82.000 toneladas durante los próximos 27 años, es decir, hasta 2043 (León et al., 2020).