

# Litio: una oportunidad para Chile y la región de Atacama

---

**Gonzalo Gutiérrez**

Departamento de Física, Facultad de Ciencias,  
Universidad de Chile

*[www.gnm.cl/gonzalo](http://www.gnm.cl/gonzalo)*

*Copiapó , 14 octubre 2017*

# Plan de la presentación

---

- Litio en el mundo y en Chile
- Comisión Nacional del Litio y sus conclusiones
- Ciencia, tecnología e innovación en industria del litio
- Proyección futura
- Comentarios finales

# Litio en el mundo

MERCADOS EN ACCIÓN

05/01/2017

## ¿El litio seguirá sin techo este 2017? La apuesta es por más demanda y precios al alza

Desde 2010 los precios de la materia prima se han quintuplicado llegando a estar cerca de los US\$ 20 mil por tonelada en el mercado spot.

**Acción de SQM-B**  
PESOS POR ACCIÓN



FUENTE: BLOOMBERG

Diario Financiero

# Litio, un recurso energético

## Usos

- Almacenamiento de energía:
- Eficiencia energética:
- Producción de energía

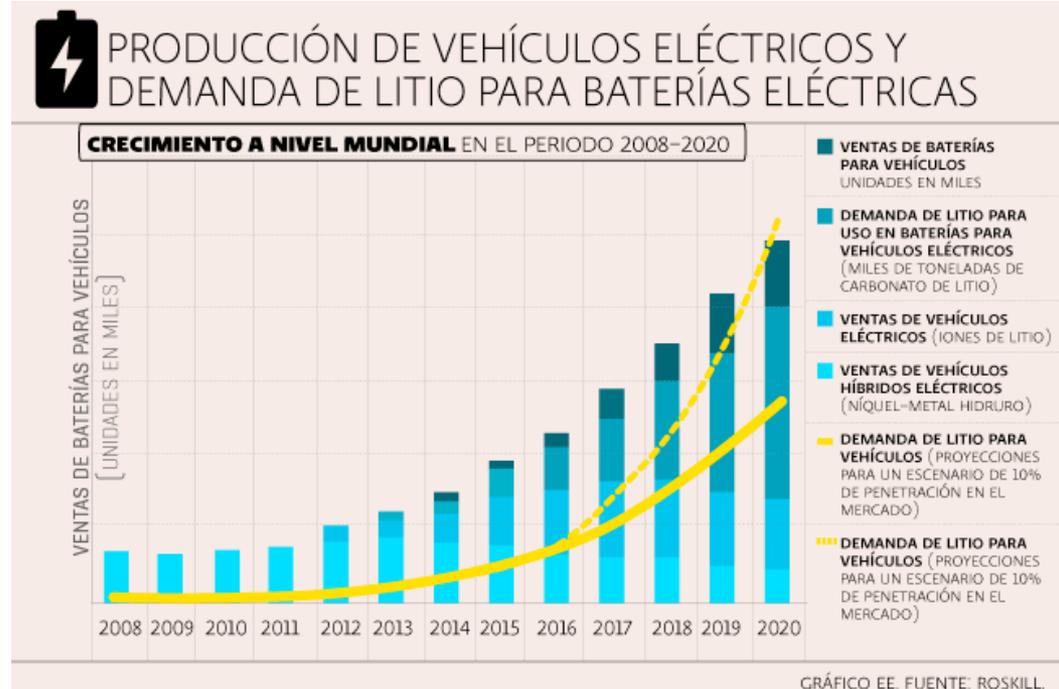
- baterías ion-litio
- sales fundidas
- termosolar

aleaciones livianas Li-Al

Combustible  
reactores fusion

- Su precio ha subido en forma exponencial

*Tiene un carácter estratégico en la energía*



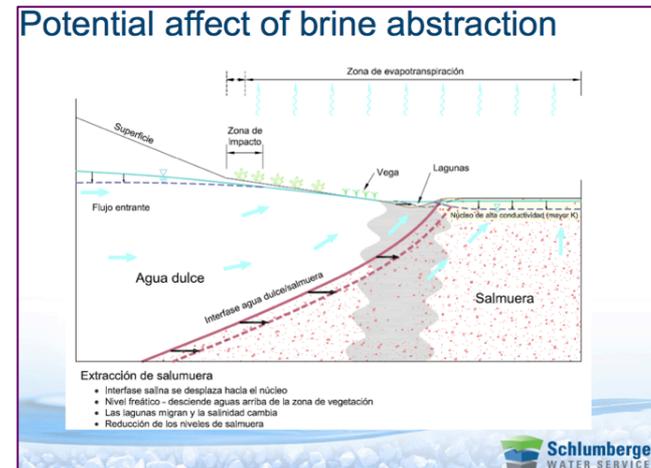
**¡En Chile tenemos litio!**

# ¿Dónde se encuentra el litio?

- Litio se encuentra en salares, no en roca
- Hay más de sesenta salares
- Minería salar diferente minería metálica y no metálica tradicional
- Salares son ecosistemas dinámicos, de gran complejidad y fragilidad.



- Es necesario considerar todo el salar en su conjunto, no sólo el litio contenido (p.9)



# Explotación de Litio

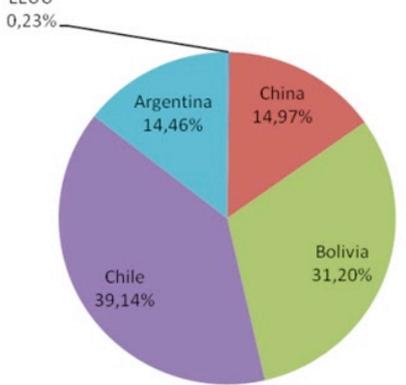
Proceso en 3 etapas:  
extracción → concentración → purificación



- Etapa de Concentración mediante evaporación solar. Objetivo:
  - Concentrar Litio.
  - Separación otras sales.
- Obtención de Litio asociada a producción de sales de Potasio y ácido bórico.
- Sales de Potasio muy importante como componente fertilizante.
- Sobre el 90% del agua contenida en la salmuera fresca es evaporada

# Triángulo del Litio

Reservas de litio de salmuera



Chile  
23% total reservas

**Carácter geopolítico estratégico**

## UBICACIÓN

- Los tres países que suman el 65% de las reservas de litio del mundo

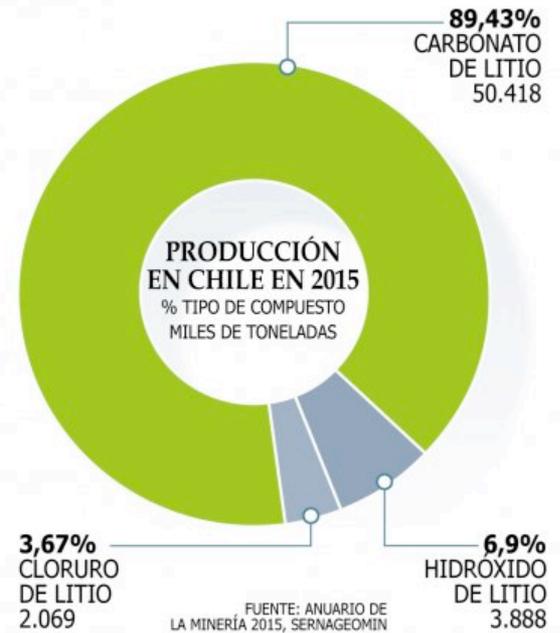
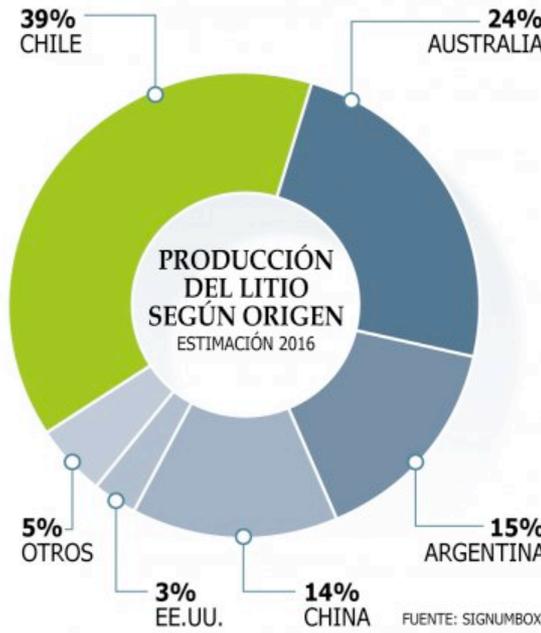


# Reservas, producción, tipo compuesto

RESERVAS DE LITIO SEGÚN ORIGEN \* MILES DE TONELADAS



(\* ) CON CIFRAS ACTUALIZADAS A ENERO 2017 FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO DE EE.UU.



# Actores mercado chileno

---

- CORFO tiene **32.768** pertenencias mineras en el Salar de Atacama.
- CORFO arrienda pertenencias:
  - SCL 3.343**
  - SQM 16.384;**
  - fijó una franja de seguridad de 1.370 pertenencias.
- Las 11.670 pertenencias restantes no pueden ser explotadas.
- CCHEN ha autorizado
  - SCL **170.081** toneladas, por 30 años (2014);
  - El 2016 se renovó contrato, términos un poco diferente.
  - SQM **180.100** toneladas, 1994, hasta 2030

¿Qué hacer para aprovechar este recurso natural en beneficio del interés general del país?



**Litio:**  
 Una fuente de energía  
 una oportunidad para  
**Chile**

Creada junio 2014,  
 entregó  
 Informe Final enero 2015,  
 20 miembros

## Mandato Comisión Nacional del Litio

---

El mandato de la Comisión Nacional del Litio es generar una política nacional del litio que incorpore el desarrollo sustentable de esta industria, considerando los ejes social, económico y ambiental.

Sus tareas son las siguientes:

- Elaborar un diagnóstico de la situación actual de la industria del litio, nacional e internacional, que comprenda aspectos económicos, sociales, ambientales y legales.
- Elaborar propuestas orientadas a resolver las principales deficiencias que se identifiquen en el diagnóstico referido.
- Desarrollar el trabajo con especial énfasis en el pago por derecho a extracción y exploración del litio; marco legal; relación con el medio; I+D+I; y clúster.

<b>Índice</b>	
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1: Diagnóstico de la Situación Actual del Litio</b> .....	<b>8</b>
<b>Capítulo 2: Visión Estratégica para una Política Nacional del Litio</b> .....	<b>17</b>
<b>Capítulo 3: Sugerencias para un Marco Legal</b> .....	<b>25</b>
<b>Capítulo 4: Sugerencias de Regalías, Gravámenes Específicos y otros Cobros por el Uso del Recurso</b> .....	<b>29</b>
<b>Conclusiones: Principales Propuestas para una Política Pública</b> .....	<b>32</b>
<b>Anexo I: Diagnóstico Detallado de la Comisión del Litio</b> .....	<b>39</b>
El Litio.....	39
Potencial de los salares del norte de Chile .....	40
Interés inicial en el litio en Chile .....	44
Marco legal vigente .....	47
Aprovechamiento del litio y otros minerales del Salar de Atacama .....	48
Consideraciones generales del mercado del litio .....	53
Competitividad-valor agregado .....	59
<b>Anexo II: Alternativas de Chile para Aumentar el Valor Agregado de su Producción de Litio</b> .....	<b>61</b>
Desarrollo de la industria nacional del litio vinculada al desarrollo solar.....	63
Desarrollo de la industria nacional del litio vinculada a la propiedad industrial .....	64
<b>Anexo III: Posición de Chile para la Construcción de una Política Nacional del Litio</b> .....	<b>66</b>
<b>Anexo IV: Cambios Legales para la Nueva Política del Litio</b> .....	<b>81</b>
Futuras labores mineras en el salar .....	81
Coexistencia del litio con otros minerales .....	83
<b>Anexo V: Aspectos Económicos del Mercado Del Litio: Renta, Regalías y otros Cobros por el uso del Recurso</b> .....	<b>85</b>
Acerca de la Renta Económica .....	85
La obtención de la renta económica en el caso del Litio .....	86
<b>Anexo VI: Aspectos de la Evaluación Ambiental Estratégica</b> .....	<b>93</b>

40 páginas  
principales

# ¿Que descubrió la Comisión?

**El litio fue abandonado por el estado:**

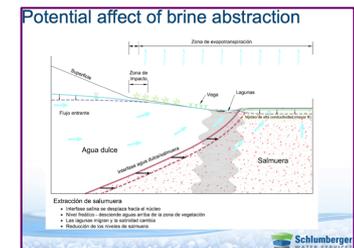
Desconocimiento comportamiento de sales, situación de las comunidades, sustentabilidad

Falta regulación y control

Ausencia de política pública

No hay captura de la renta

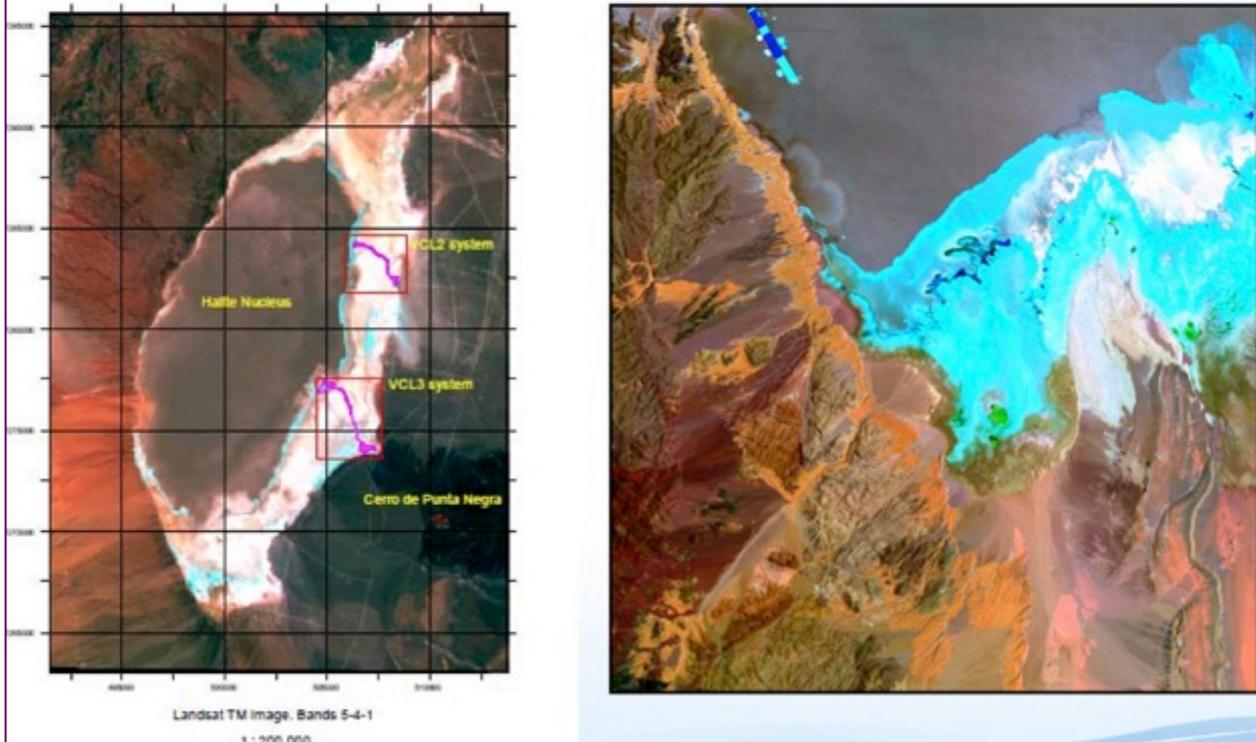
Escasa generación de valor



# ¿Qué ocurre con el agua?

Ni tampoco se conocen los daños que puede producir la extracción de agua

## Groundwater dependent ecosystems



John McCartney  
ASSESSING  
HYDROLOGIC  
IMPACTS OF  
POTASSIUM/LITHIUM  
EXTRACTION  
FROM SALT FLATS

Seminario Cepal  
2010

Se requiere un tratamiento específico para la explotación de los salares. Ley de Concesiones mineras no se adapta

Nueva institucionalidad  
para que estado cumpla rol

normativo  
regulador  
fiscalizador



**Gobernanza integrada de los salares**

# Gobernanza integrada de los salares

---

Dotar al estado de los recursos

materiales

humanos

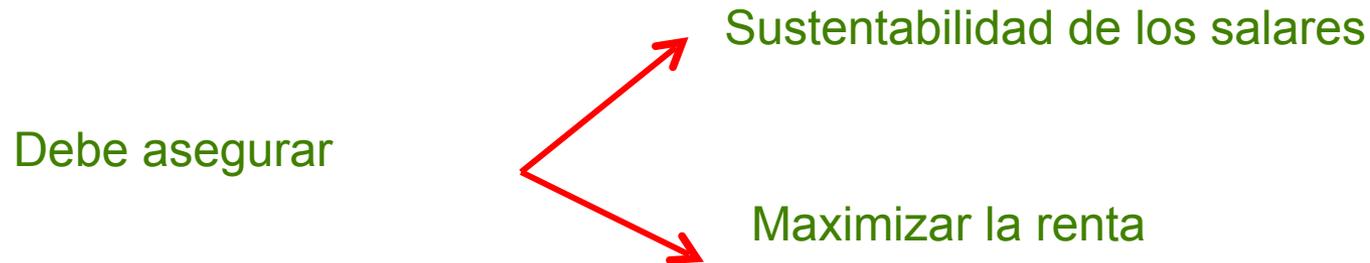
científicos

técnicos

Esta entidad pública debe crearse a la brevedad (p.17)

# Estado debe ser el auténtico dueño

---



- Para asegurar sustentabilidad: **Gobernanza Salares**
- Para maximizar la renta, considerando que minería de salares es diferente de la tradicional y se debe ganar experiencia y conocimiento, **se propuso crear Empresa Pública (p.20)**

# Empresa estatal de salares

---

- Asumir labores de explotación salares, sola o en asociación con terceros
- Conocer mercado nacional e internacional del litio potasio, boro y otros.
- Promover conocimiento científico de los salares en general, de la tecnologías extractivas, y productos derivados, con masa críticas de científicos y técnicos aptos para mantener competitividad nacional
- Que tenga rol controlador en todos los proyectos de que se desarrollen en el país.

# Desarrollo de valor agregado

---

Dada la diversidad y complejidad de las posibles aplicaciones presentes y futuras del litio, es necesario generar políticas para incentivar la investigación y desarrollo tecnológico de su forma de extracción y de sus múltiples usos.

Dentro de las áreas posibles de trabajo, podemos citar:

- el desarrollo de procesos productivos de carbonato de litio para la producción de baterías y
- sales acumuladoras de energía, tanto para
- la generación de tritio para aplicaciones de energía nuclear;
- las aleaciones litio-aluminio y litio-magnesio para la producción de materiales livianos de alta resistencia;
- posibles sinergias con la nanotecnología, entre otras.(p.35)

## Corto Plazo: Acuerdos y propuestas (algunas)

---

- Se recomienda a Corfo la revisión de los contratos vigentes al día de hoy en el Salar de Atacama, con SQM y Rockwood, entregándole al Estado un rol más activo; así como la no ampliación de autorizaciones de explotación ni renovación futura de los mismos bajo sus términos actuales.
- Conformar un Consejo Directivo, bajo la modalidad de un Comité Corfo, liderado por el Ministerio de Minería, para el manejo sustentable de los salares
- Que Codelco entre en la industria del Litio



# Oportunidad para región Atacama

---

- Gran experiencia y conocimiento de industria
- minería, geología, insumos, mano de obra
- Salares de Maricunga y Pedernales
- Universidad de Atacama

# Necesidad de inteligencia: ciencia, tecnología e innovación I

---

## Gobernanza

recursos hídricos  
hidrogeología de los salares  
físico-química de salares  
ecología y medio ambiente: flora, fauna  
extremófilos

ciencias sociales: asentamientos humanos,  
Comunidades,  
aspectos sociales y ambientales

geografía económica: turismo, recursos  
económicos

# Necesidad de Ciencia, tecnología e innovación II

---

## Agregación de valor

Usos del litio en baterías  
Sales fundidas

(Química)

Aleaciones,  
nanotecnología,  
sales fundidas (energía)

Física + Química

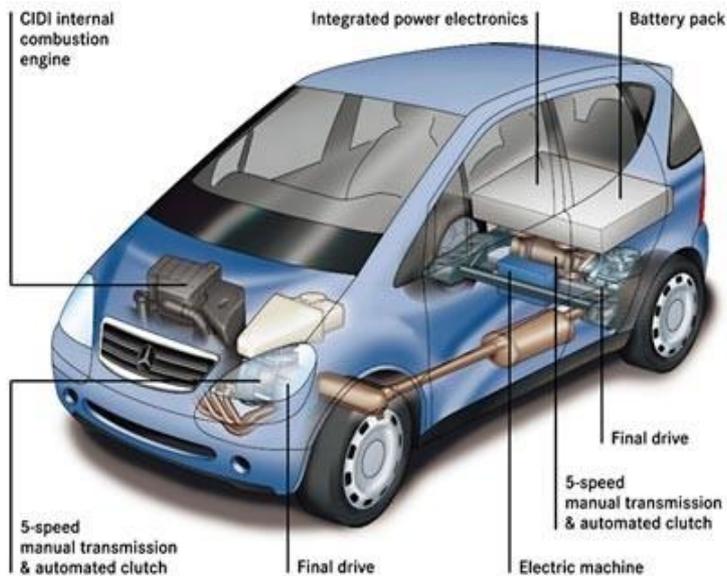
# Litio y cadena de valor

---

- De ambas fuentes (salmuera y roca espodumeno)
  - la primera transformación para la obtención del litio, *carbonato de litio* ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ).
  - En una segunda fase de transformación se obtienen los compuestos de litio (hidróxido de litio -LiOH- y cloruro de litio -LiCl-).
  - Una tercera fase de producción permite obtener litio metálico, butil litio y derivados orgánicos e inorgánicos.

# ¿Baterías en Chile?

- Baterías ion- litio
- Autos eléctricos e híbridos

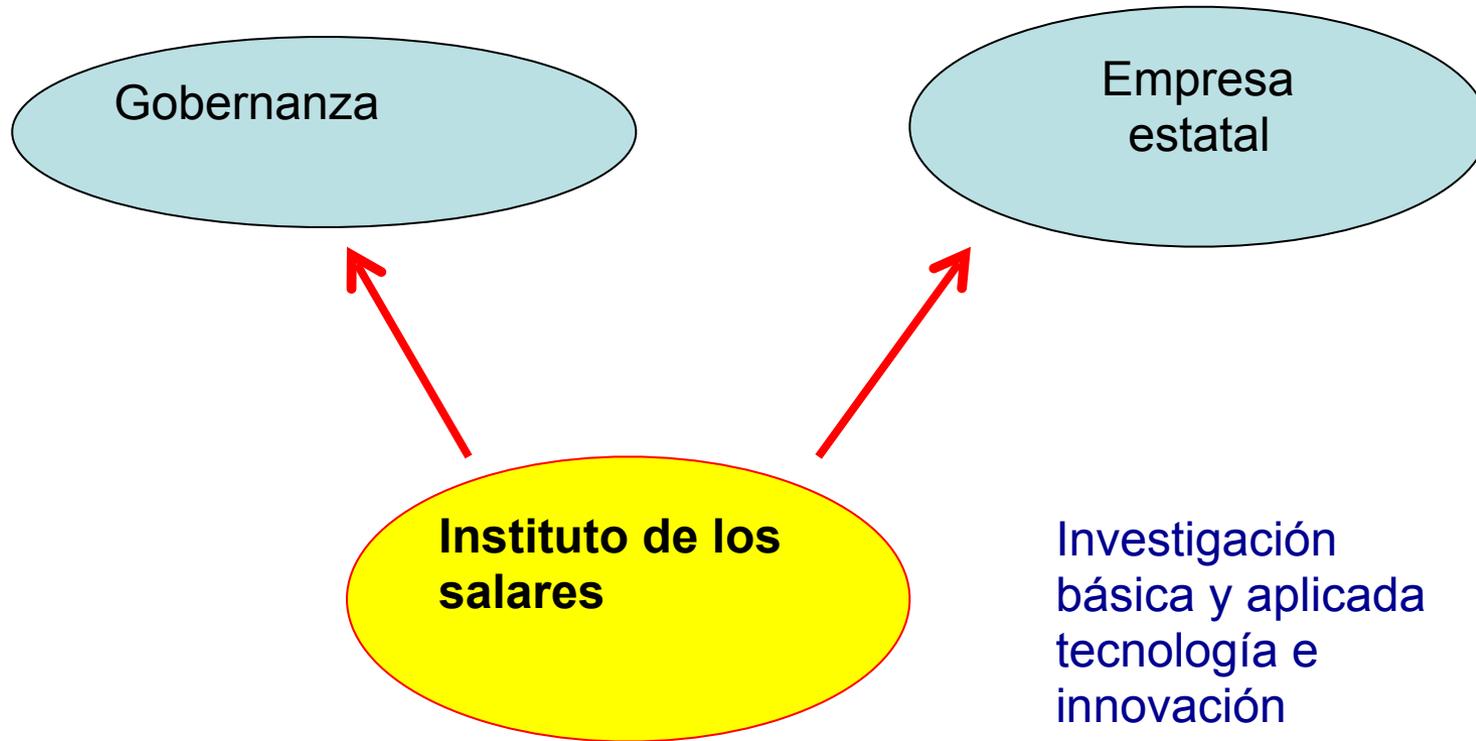


Híbridos: 32 kg de Cu

Eléctricos: 60 kg Cu

# ¿Cómo hacerlo?

---



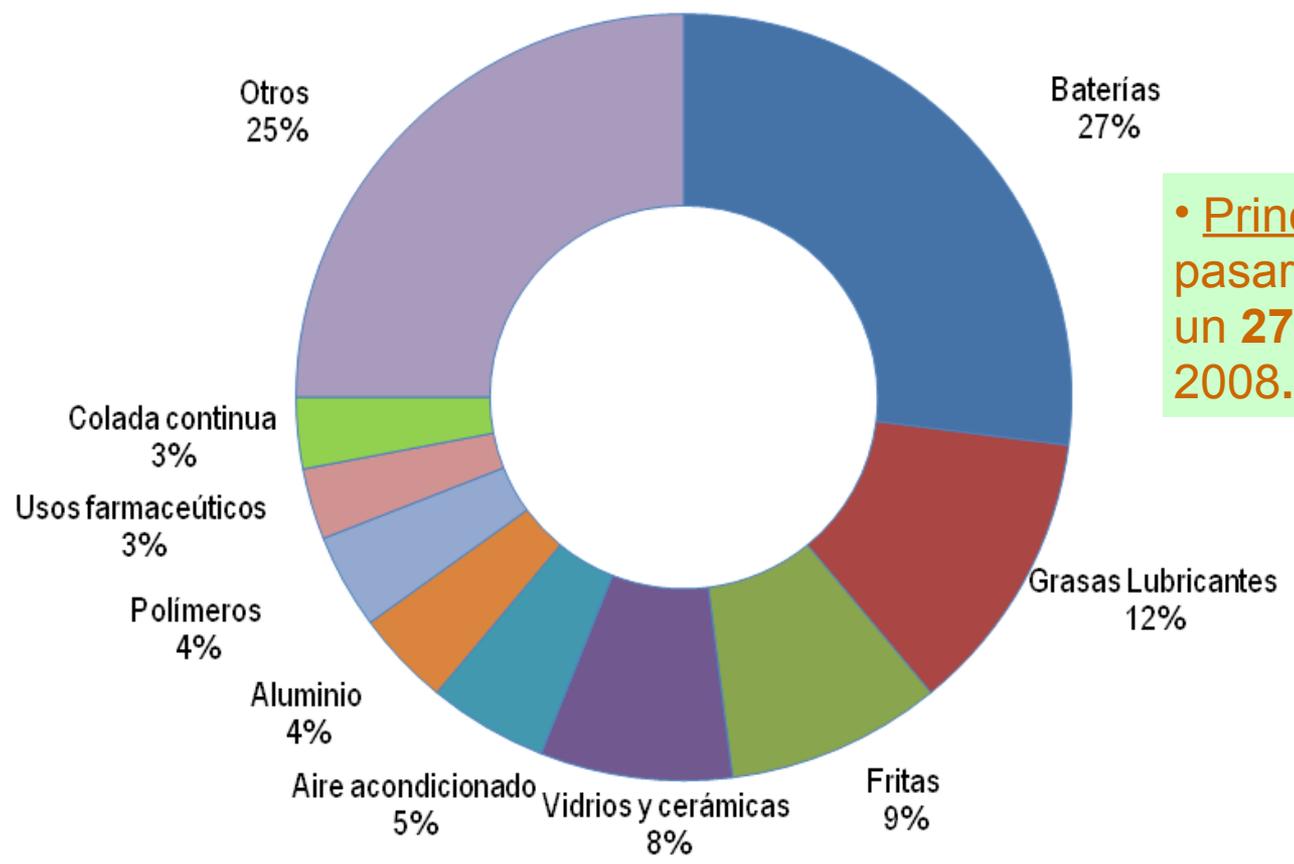
Litio es de interés nacional: debe volver a control del estado

Eso depende de la fuerza de la sociedad organizada

¡Gracias!

# Usos del Litio

Principales Usos del Litio\*



• Principal cambio: “Baterías”, pasaron de un 7% en 1998 a un 27% de participación en el 2008.

# Usos estratégicos del Litio

---

## Litio como energético

- Almacenamiento de electricidad: baterías de litio
  - Principal cambio: “Baterías”, pasaron de un 7% en 1998 a un 27% de participación en el 2008.
- Eficiencia energético: aleaciones livianas Al-Li
- Fusión nuclear: combustible como litio 6

# Li: reservas mundiales

¡incertidumbre!

Reservas Mundiales de Litio.  
(toneladas de litio)

País / Fuente	Pegmatitas	Salmueras	Salmueras geotermales y pozos petrolíferos	Arcillas (Hectorita)	Jadarita	TOTAL Reservas
EEUU	2.830.000	40.000	1.750.000	2.000.000		6.620.000
Canadá	255.600					255.600
Zimbawe	56.700					56.700
Zaire	2.300.000					2.300.000
Australia	262.800					262.800
Austria	100.000					100.000
Finlandia	14.000					14.000
Rusia	1.000.000					1.000.000
Serbia					850.000	850.000
Brazil	85.000					85.000
China	750.000	2.640.000				3.390.000
Bolivia		5.500.000				5.500.000
<b>Chile</b>		<b>6.900.000</b>				<b>6.900.000</b>
Argentina		2.550.000				2.550.000
<b>TOTAL x fuente</b>	<b>7.654.100</b>	<b>17.630.000</b>	<b>1.750.000</b>	<b>2.000.000</b>	<b>850.000</b>	<b>29.884.100</b>

Fuente: datos extraídos de Evans, R. (2008)

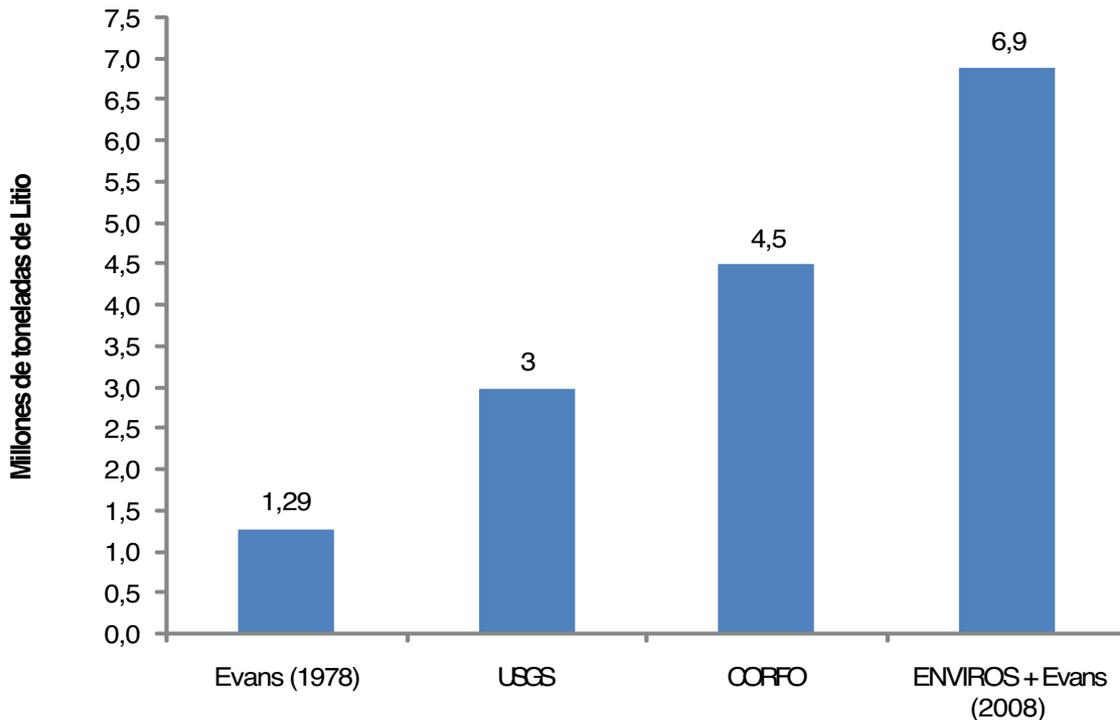
39%

23%

# Li: reservas en Chile

Estimaciones de reservas de Litio en el Salar de Atacama.  
(Millones de toneladas)

Estimaciones de reservas en el Salar de Atacama



Fuente: Cochiilco (2009).

**Salar de Atacama** cuenta con las reservas de litio de mayor calidad: 1,5 g/lit

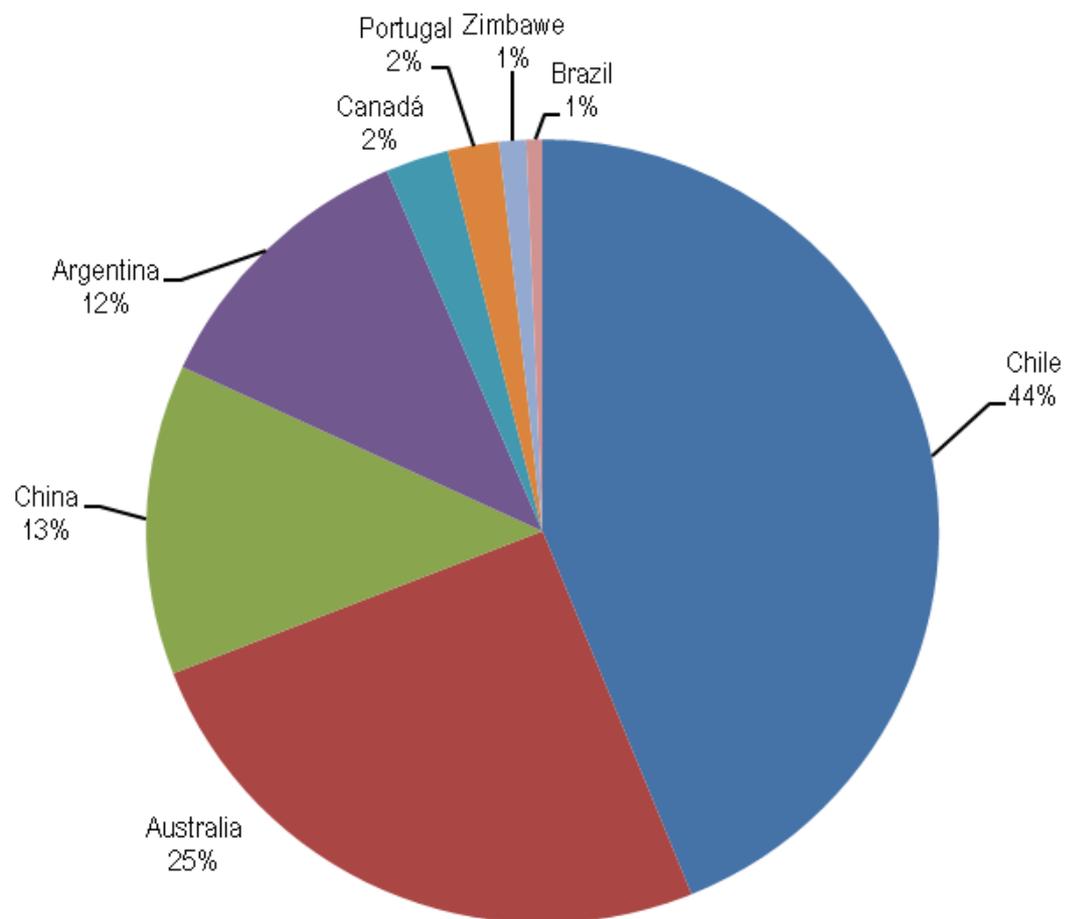
Otros: 0,4-0,8 g/lit

-Mayor tasa de evaporación del mundo

¡incertudumbre!

# Li: producción mundial y Chile

Participación mundial en la producción de Litio(2008)



Fuente: Cochilco a base de datos USGS (2008).

# Situación actual

---

No se conocen los recursos ni las reservas del conjunto de los salares...ni siquiera se tiene un detalle del Salar de Atacama...

Información existente es de los años '80, y se basa en datos públicos y privados fragmentados

Sernageomin presentó el año 2010 un ordenamiento preliminar...muy incipiente e incompleto...

(ver presentación “Salares del norte de Chile: potenciales fuentes de litio”  
Anibal Gajardo Sernageomin  
Seminario Cepal 2010.)

# Visita Consejo Directivo CCHEN



...muchas preguntas sin respuesta...

# ¿Quién debe fiscalizar?

## Medio Ambiente y Fiscalización

Muchos Salares se encuentran en Parques y/o reservas ambientales.

- Depositarios de Fauna, Ecosistema o proveen agua a comunidades.

Actual Fiscalización de Salares es:

- Minería, Sernageomin
- Litio, CCHEN
- Propiedades Salar de Atacama, CORFO
- Agua, DGA
- Ecosistemas, Ministerio de Medio Ambiente
- Parques Nacionales y Reservas, CONAF



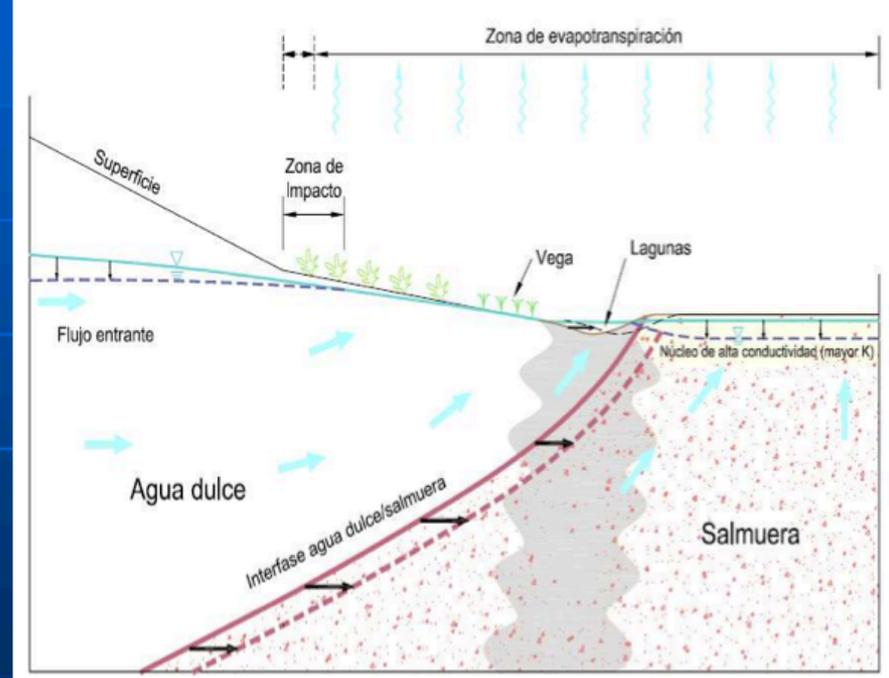
# ¿Es sustentable la explotación del salar?

## Sustainable development concerns: Assessing hydrologic and environmental impacts

Comprehensive environmental impact assessment studies and monitoring is crucial to prevent, minimize and mitigate negative impacts on the flora, fauna and ecosystems in the salares and the adjacent areas.

Weak environmental regulation and control mechanisms can lead to significant damages and "external" effects.

Potential effects of brine extraction on delicate balance of fresh and/or ground water supplies



- Extracción de salmuera
- Interfase salina se desplaza hacia el núcleo
  - Nivel freático - desciende aguas arriba de la zona de vegetación
  - Las lagunas migran y la salinidad cambia
  - Reducción de los niveles de salmuera



**Ralph Wahnschafft**  
 Emerging Issues Branch  
 Division for Sustainable Development  
 United Nations  
 Department of Economic and Social Affairs  
 New York, NY 10017

Seminario sobre posibilidades del Li Cepal 2010

Ene 2011

# ¿Cuál es el mejor proceso de extracción?

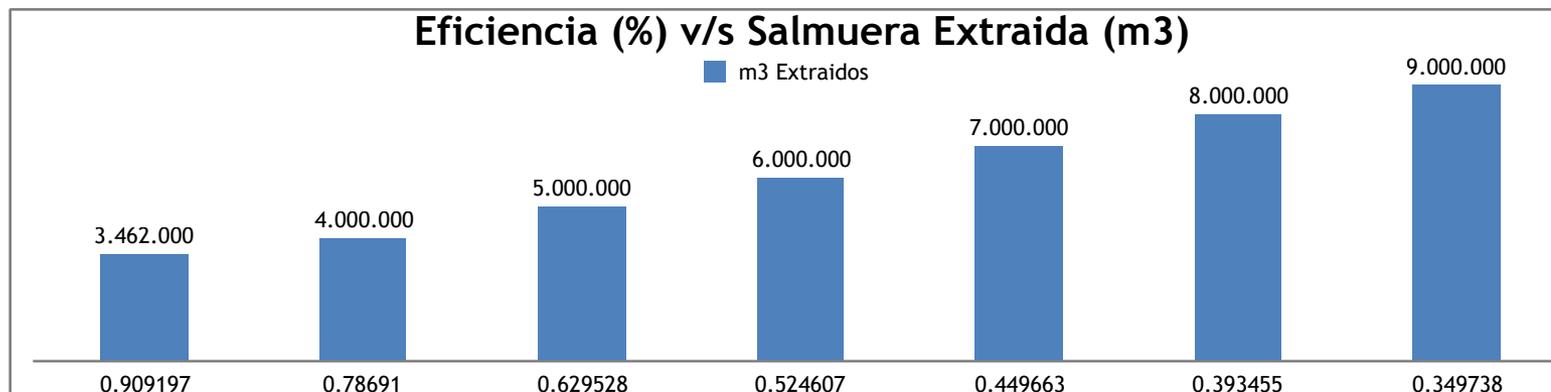
-No se conocen los efectos que tiene la reinyección de Li

-No se sabe cuan eficiente es el proceso de producción:

Ejemplo de Calculo:

Caudal extracción SQM (l/s)	276
Concentración Li (g/l)	1,7
Caudal extracción SQM (m3/año)	8.703.936
Producción Real de Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> SQM (t)	28.360
Producción Teórica de Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> SQM (t)	78.418
Eficiencia (%)	36

En el año 2006, SQM solicitó aumentar a 400 l/s la extracción de salmuera del sector MOP



R. Mallea,  
CIMM  
2010.

---

# ¿Qué hacer con el Litio?

# Comisión Nacional del Litio

---

## Diagnóstico y Propuestas

### Consideraciones para elaborar política nacional de litio

- Cautele interés público
- Dominio del mineral y los salares: potasio, boro, magnesio
- Proteja biodiversidad y valor ambiental
- Respete comunidades
- incorpore valor agregado y la industria asociada
- Maximice y capture la renta
- Evalúe diferentes formas de la institucionalidad

## Acuerdos y propuestas (algunas)

- Se constata que los salares —donde se encuentra el litio constituyen ecosistemas dinámicos, de gran complejidad y fragilidad.

Es necesario considerar no solo el litio contenido sino que cada salar en su conjunto.

- Se reafirma el carácter estratégico del litio, dado su alto potencial de uso en aplicaciones energéticas, y se recomienda mantener el carácter no concesible del mineral, por el hecho de que el sistema de concesiones mineras vigente no se adapta a la particularidad y complejidad del aprovechamiento de los salares. Asimismo, se recomienda elevar a rango constitucional la no concesibilidad del litio.

## Acuerdos y propuestas (algunas) II

-Se sugiere reforzar el **rol del Estado** como dueño auténtico de estos recursos, que define las condiciones y participa de modo principal en su explotación; maximiza y capta su renta económica con una mirada de largo plazo, destinando parte de la misma al **desarrollo de encadenamientos científicos y productivos relacionados**; y es impulsor y garante de asociaciones público-privadas que generen mayor valor agregado al país y mayor rentabilidad social en la explotación de los salares —en especial del litio—, **siempre resguardando la sustentabilidad ambiental y la sostenibilidad de los proyectos**.

- Se constata la necesidad de reforzar la institucionalidad pública ligada a la **gobernanza de los salares**, para que actúe como contraparte de las empresas que explotan los mismos. Ésta debe generar, además, conocimiento al respecto y proponer políticas para su aprovechamiento, considerando todos los minerales que se encuentran en las salmueras.

## Acuerdos y propuestas (algunas) III

-Paralelamente, los comisionados consideran necesaria, casi unánimemente, la creación de una empresa controlada por el Estado que se dedique al aprovechamiento de los salares, en especial del litio,

-Dada la diversidad y complejidad de las posibles aplicaciones presentes y futuras del litio, es necesario generar políticas para incentivar la investigación y desarrollo tecnológico de su forma de extracción y de sus múltiples usos. Dentro de las áreas posibles de trabajo, podemos citar:

- el desarrollo** de procesos productivos de carbonato de litio para **la producción** de baterías y sales acumuladoras de energía, tanto para la propulsión de vehículos como para la acumulación de energía en plantas de energías renovables, como solares, fotovoltaicas y eólicas;
- La generación** de tritio para aplicaciones de energía nuclear;
- las aleaciones litio-aluminio** y litio-magnesio para la producción de materiales livianos de alta resistencia;
- los usos en la** industria farmacéutica y **posibles sinergias** con la nanotecnología, entre otras.

## Acuerdos y propuestas (algunas) IV

- Se propone generar y fortalecer un clúster sectorial ligado al litio, que permita el fortalecimiento de centros de investigación e innovación asociados a universidades y/o a la industria, así como asociaciones público-privadas para la explotación del litio, que permitirán generar conocimientos, tecnologías, investigación y desarrollo.
  
- Se propone diseñar, en conjunto con Conicyt y Corfo, programas de investigación y desarrollo necesarios para el desarrollo de capacidades y conocimientos para enfrentar este desafío país, con criterios de largo plazo.

# Li en Chile se produce en salares

Se obtiene de salmueras contenidas en los salares



Contenido de los salares se ha formado durante el tiempo.

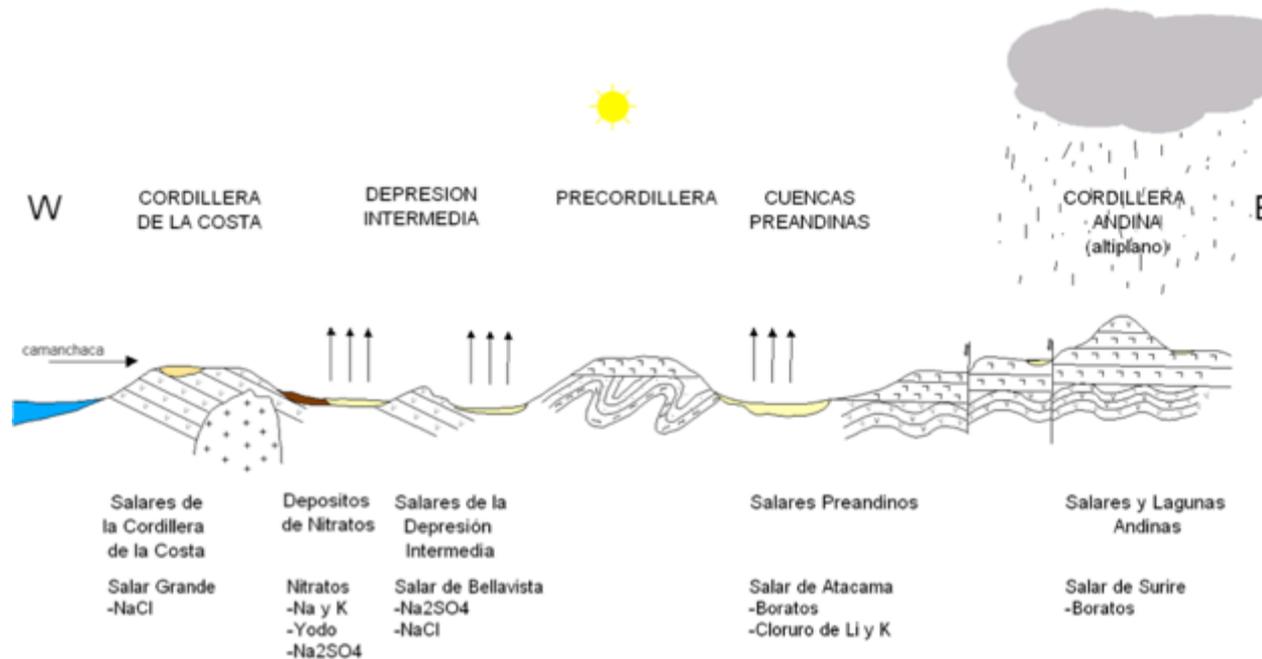
Recarga (ríos superficiales y subterráneos).

Elementos de valor desde actividad volcánica.

Determinada forma olla hídrica.

•Salmueras son poli-componentes salinos (Sodio, Sulfato, Litio, Boro, Cloruros, Potasio).

# Salar: sistema dinámico vivo



Minería totalmente diferente a la tradicional

## Recarga Salar de Atacama

Rio	Cauda (l/s)
San Pedro	900
Vilama	250
Hécar	230
Socaire	150
Llonas	90
<b>Total</b>	<b>1620</b>

Fuente: Boric, R., Díaz F. y Makshev, V, 1990. Geología y Yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta, SERNAGEOMIN

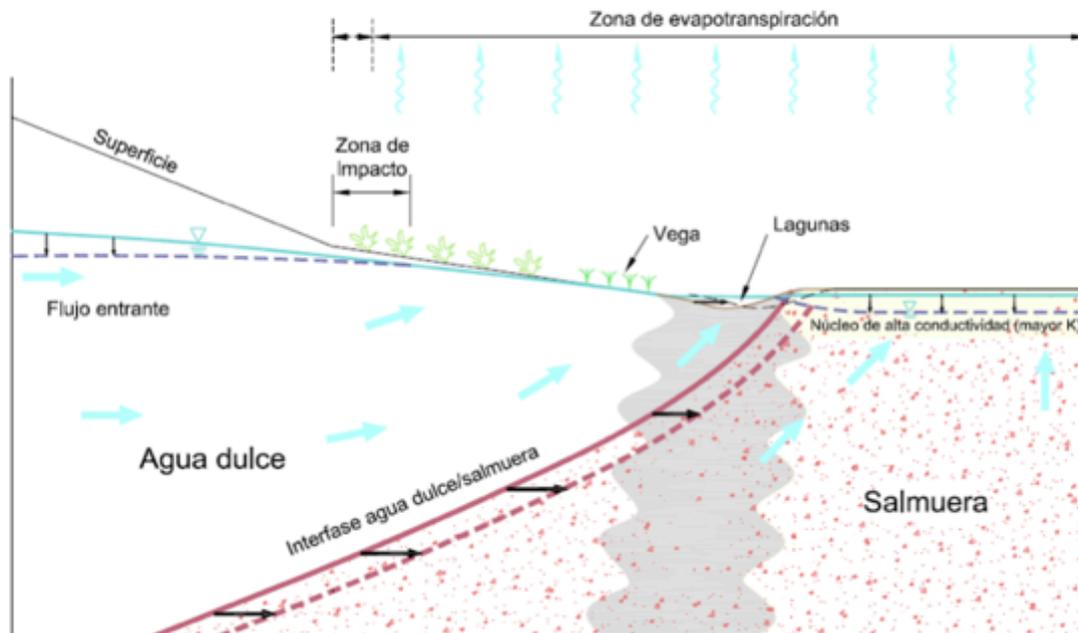


Gonzalo Gutiérrez, U. de Chile

# ¿Cuánta salmuera de puede extraer?

No se conocen los daños que puede producir la extracción de salmueras

## Potential affect of brine abstraction



### Extracción de salmuera

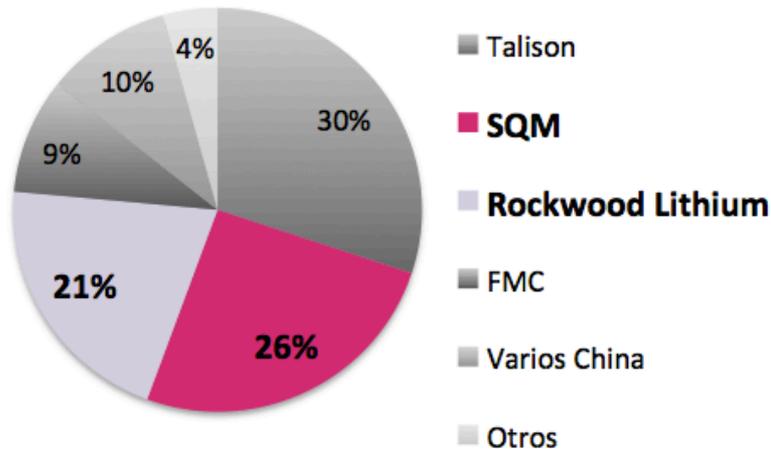
- Interfase salina se desplaza hacia el núcleo
- Nivel freático - desciende aguas arriba de la zona de vegetación
- Las lagunas migran y la salinidad cambia
- Reducción de los niveles de salmuera

John McCartney  
ASSESSING  
HYDROLOGIC  
IMPACTS OF  
POTASSIUM/LITHIUM  
EXTRACTION  
FROM SALT FLATS

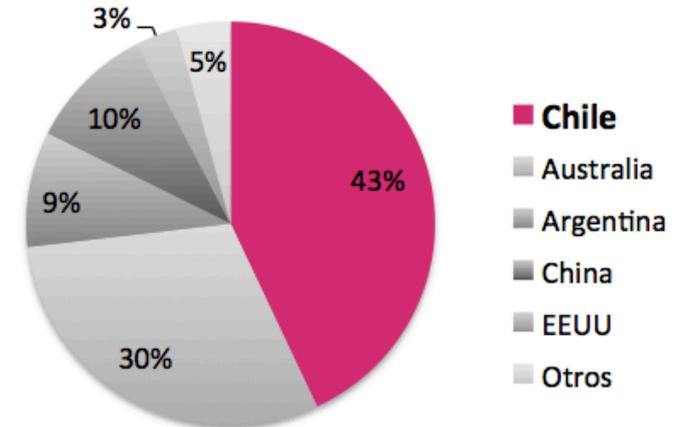
Seminario Cepal  
2010

# Li: producción 2012

Oferta de litio por productor - 2012



Oferta de litio por país - 2012



## Ventajas Chile

- Producción a partir de salmueras → producción de bajo costo en comparación con minerales
- Salmueras del Salar de Atacama → grandes ventajas por composición química y condiciones ambientales: Elevadas concentraciones de litio y potasio; bajo magnesio; alta tasa de evaporación solar.
- Cercanía puerto
- Producción in-situ de químicos de litio (carbonato de litio e hidróxido de litio)

Fuente: signumBOX.

Fuente: tomado de presentación D. Desormeaux, Ag. 2012