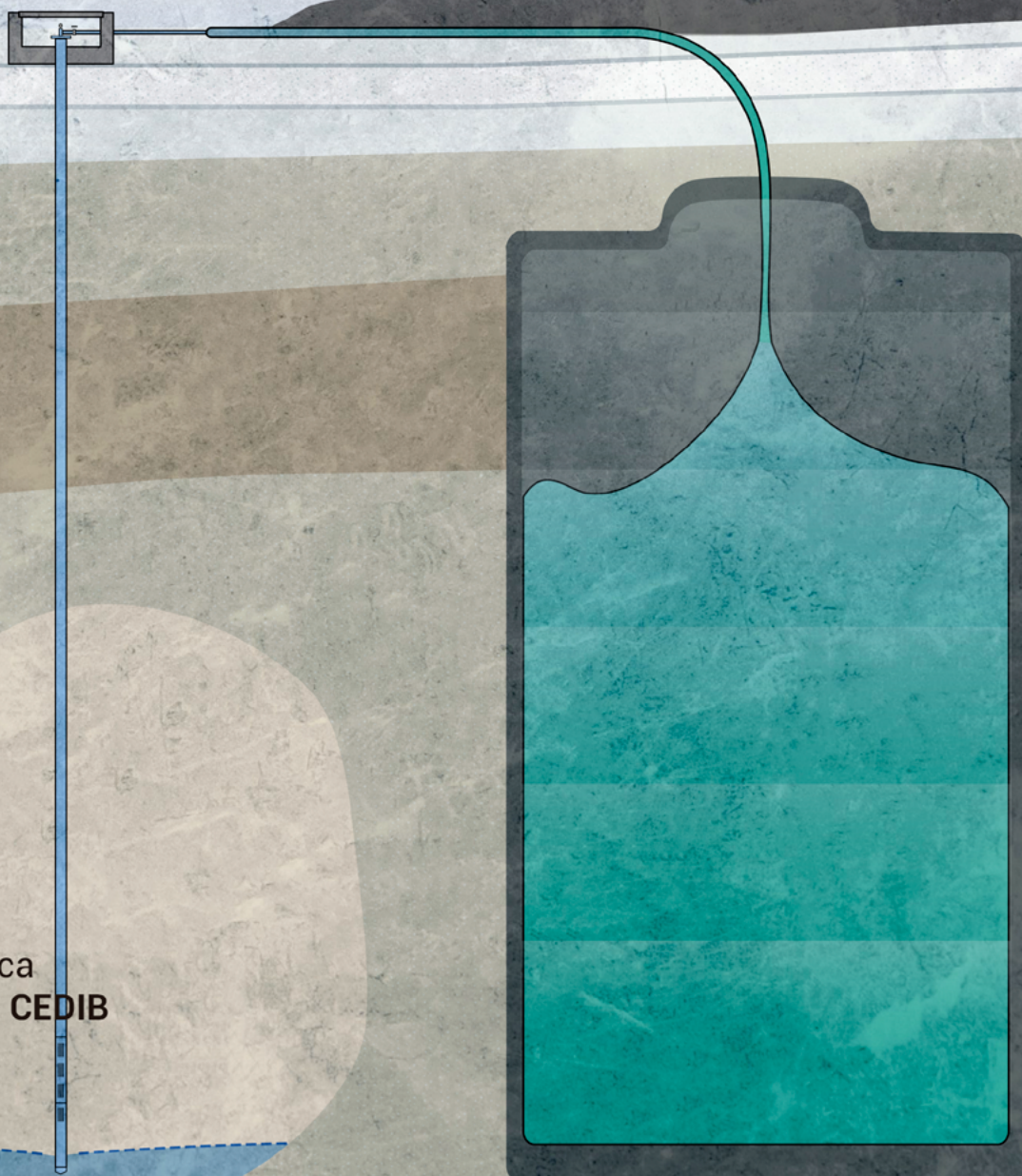




**Bolivia no está preparada para
la Extracción Directa de Litio**

EL FRACASO DEL EXTRACTIVISMO ESTATAL

Gonzalo Mondaca
Investigador del CEDIB



Antecedentes

Luego de 15 años, en diciembre de 2023, el gobierno boliviano logró consolidar la infraestructura de escala industrial de la tecnología evaporítica¹ para el procesamiento de carbonato de litio, uno de los insumos usados para la producción de materiales catódicos y baterías de ion litio. Esta fue una de las primeras etapas de un proceso que prometía la “industrialización de los recursos evaporíticos” de Bolivia. Es decir, el proyecto estatal apenas está concluyendo la fase de extracción de la materia prima, en este caso del litio, por eso, está muy lejos de proveerse de las otras materias primas necesarias para la industrialización.

En 2024, la empresa pública estratégica Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) reveló problemas con el funcionamiento de las piscinas de evaporación y denunció la situación calificándola como “grave daño económico al Estado”², por un total de 425,2 millones de bolivianos (aproximadamente 61 millones de dólares) (Agencia de Noticias Fides [ANF], 2024). Al momento de inaugurar la planta de carbonato de litio, se reconoció que la misma trabajaría al 20% de su capacidad, pero los problemas con las piscinas impidieron que se cumpla esta expectativa. En la Rendición de Cuentas de la Gestión 2024, se verificó un rendimiento del 9,8% de su capacidad: procesaba apenas 1.474,5 t (Belmonte, 2025).

El periplo de la consolidación de la tecnología evaporítica aún no termina y todo indica que difícilmente lo hará en el futuro. El viceministro de Exploración y Explotación de Recursos Energéticos, Raúl Mayta, declaró que “se requieren alrededor de \$us 100 millones y cuatro años para reparar y terminar los ocho circuitos de piscinas y reparar las 18 piscinas dañadas” (Deheza, 2024). Reconoció que los problemas en las piscinas de evaporación fueron detectados en 2021, pero que la información técnica sobre su construcción no estaba en poder de YLB, sino la tenía la antigua Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) (Deheza, 2024). Es decir, YLB, que fue creada, en 2017, para sustituir a la GNRE, en más de cuatro años, no contaba con toda la documentación técnica para desarrollar su trabajo.

Revelada la incapacidad de la administración de las tres anteriores gestiones de gobierno y las limitaciones que enfrentó YLB, en 2021, el gobierno boliviano decidió abordar la problemática apostando por un cambio radical de tecnologías y abriendo un nuevo capítulo en una larga historia en la que las incertidumbres identificadas, ese mismo año, siguen sin respuesta (Mondaca, 2021). Pasar de la cristalización fraccionada con energía solar (evaporítica) a las tecnologías de Extracción Directa de Litio (EDL) se convirtió en una de las mayores dificultades de la actual gestión de gobierno y se encamina a ser el mayor de sus fracasos.

En búsqueda de empresas extranjeras que desarrollen la Extracción Directa de Litio en Bolivia

El gobierno boliviano pretende incorporar las tecnologías de EDL desde 2021, como alternativa al método evaporítico que se viene desarrollando desde 2008, pero sin lograr aún una capacidad de extracción a escala industrial. Para ello, lanzó dos convocatorias internacionales de preselección de empresas con capacidad y experiencia en el desarrollo y aplicación de la EDL: en abril de 2021 (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2021) y en enero de 2024 (Yacimientos de Litio Bolivianos, 2024a).

En la primera convocatoria, se preseleccionó a ocho proponentes, entre empresas y consorcios, dos de ellos no participaron de la evaluación final y seis fueron calificados como “aplicable” (Tabla 1). Su principal finalidad fue “estudiar

Tabla 1

Empresas preseleccionadas en la primera convocatoria para el desarrollo de proyectos con tecnologías de Extracción Directa de Litio en Bolivia

País	Empresa	Resultados
Estados Unidos de Norte América	EnergyX	No evaluado
	Lilac Solutions	Tecnología de EDL aplicable
República Popular China	CATL BRUNP & CMOC	Tecnología de EDL aplicable
	Citic Guaon / CRIG	Tecnología de EDL aplicable
	Fusion Enertech	Tecnología de EDL aplicable
	TBEA Group	Tecnología de EDL aplicable
Federación de Rusia	Uranium One Group	Tecnología de EDL aplicable
República Argentina	Tecpetrol	No evaluado

Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energías (2022).

la aplicabilidad de las diferentes tecnologías de EDL en la química de los salares de Uyuni, Coipasa y Pastos Grandes", para "acelerar la industrialización de nuestros recursos evaporíticos de manera eficiente y con el menor impacto ambiental" (Ministerio de Hidrocarburos y Energías, 2022).

También en la convocatoria de 2021, se rubricaron inicialmente tres convenios, cuyo contenido no es público y que, de acuerdo con declaraciones de la entonces presidenta de YLB, Karla Calderón, tenían como objetivo que las compañías realicen prospección y evalúen la factibilidad técnica (Deheza, 2023). El consorcio chino Hong Kong CBC-CATL-BRUNP & CMOC (en adelante CBC) las hizo en enero de 2023 y Citic Guoan y Uranium One Group Jsc (en adelante Uranium), en junio de 2023 (Figura 1). Posteriormente, la empresa estatal

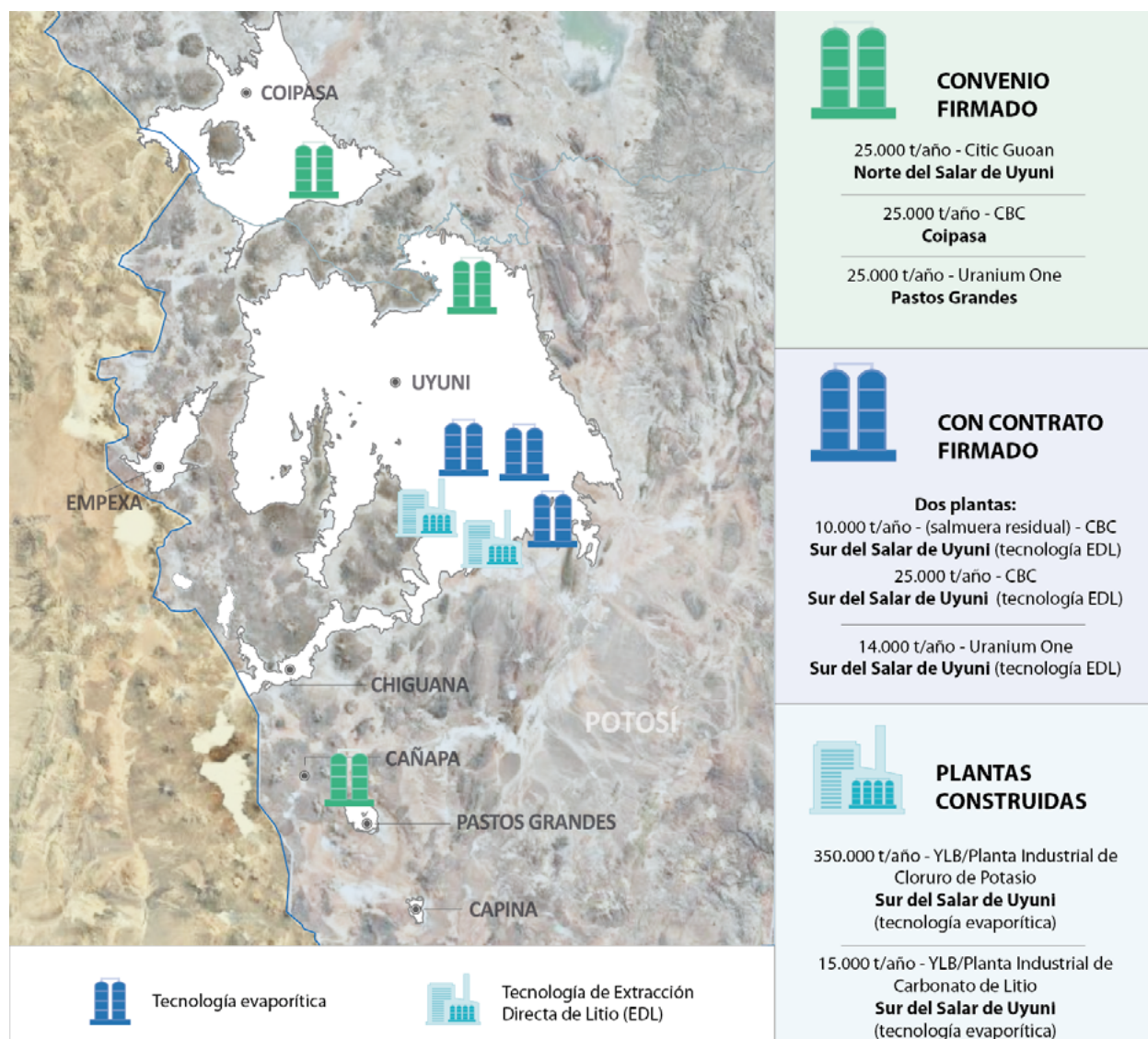
firmó convenios adicionales con Uranium, en diciembre de 2023 (Mamani, 2023), y con CBC, en enero de 2024 (YLB, 2024a).

El gobierno de Bolivia, por medio de YLB, rubricó recientemente dos contratos para la explotación del litio aplicando tecnologías de EDL con la empresa rusa Uranium y con CBC. Lo mencionado muestra un panorama de alta concentración de proyectos en el extremo sur del salar de Uyuni (Figura 1).

El resultado de los convenios antes nombrados, la firma de contratos, una mayor celeridad en el proceso de la segunda convocatoria, en 2024, y la ampliación de los alcances están dinamizando el debate público sobre el verdadero impacto de la explotación del litio en diferentes ámbitos del contexto económico, social y ambiental boliviano. Esto se magnifica por la dimensión de

Figura 1

Ubicación de los proyectos de Extracción Directa de Litio en Bolivia



Fuente: Campanini (2024).

los proyectos en términos de inversión y objetivos operativos, además por la incorporación de nuevas tecnologías.

A diferencia de la convocatoria de 2021, la de 2024 no se limita a la explotación del litio, sino que considera el “desarrollo integral de los recursos evaporíticos”, dando lugar a la posibilidad de explotar otros minerales (Ibañez, 2024), además de aumentar a siete el número de salares en los que se podría investigar y explotar. Su objetivo es la “implementación de proyectos piloto para el aprovechamiento de los recursos evaporíticos en condiciones reales de los salares Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Capina, Cañapa Chiguana y Empexa a ser desarrollados en el marco de convenios para la demostración de la viabilidad tecnológica, económica y financiera” (YLB, 2024a).

El “aprovechamiento de los recursos evaporíticos” abre la posibilidad de explotar otros minerales, cuya importancia aumenta de forma acelerada con el desarrollo de nuevas tecnologías. Un ejemplo de ello es la Ley Europea de Materias Primas Fundamentales (Comisión Europea, 2025), que busca garantizar un suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales para la industria europea. En consecuencia, no es casual que YLB haya organizado visitas y reuniones con representantes de la Unión Europea, como parte de la promoción de la segunda convocatoria internacional (YLB, 2024b).

En la Tabla 2, se presenta un resumen de la situación hasta principios de febrero de 2025 y se considera las dos convocatorias para el desarrollo de tecnologías de EDL en Bolivia. En tres años, se preseleccionó a 21 empresas y se establecieron ocho convenios con CBC (China, dos), Citic Guoan (China), Uranium (Rusia, dos), Tecpetrol (Argentina), EAU Lithium PTY Ltd. (Australia) y Geolith Actaris Bolivia (Francia). Se rubricaron dos contratos con Uranium y CBC, pero el firmado con la última compañía tiene como antecedente la segunda convocatoria (enero 2024)³, para la cual el consorcio chino no rubricó un convenio previo.

Los contratos firmados deben ser aprobados en la Asamblea Legislativa para entrar en vigencia. Los montos comprometidos en los mismos alcanzan los 2.005,85 millones de dólares. Sin embargo, todos los procesos son secuenciales, por ejemplo, tres fases en el caso del contrato YLB-Uranium, hasta lograr 14.000 t/año. Mientras que en el de CBC se trata de dos plantas (la de salmuera de pozo, 25.000 t/año, y la de salmuera residual, 10.000 t/año). Para cada planta, se contempla dos fases y un “periodo de estabilización”. En el contrato firmado con CBC, se prevé seis años para la consolidación del procesamiento: tres de construcción y tres de estabilización (Ahora El Pueblo, 2025)⁴.

Tabla 2 Impulso estatal para desarrollar la Extracción Directa de Litio en Bolivia

Convocatoria	N°	Empresas preseleccionadas	Convenios firmados	Contratos firmados	Capacidad (t/año)	Inversión comprometida (MUSD)	Salares de interés	Tipo de operación
1ra Convocatoria Abril de 2021	1	EnergyX						EDL - Salmueras de pozo
	2	Lilac Solutions						EDL - Salmueras de pozo
	3	CATL BRUNP & CMOC (Hong Kong CBC Invesment)	Enero 2023		25.000,00	720,00	Uyuni (sur)	EDL - Salmueras de pozo
			Enero 2024		25.000,00	700,00	Coipasa	EDL - Salmueras de pozo
					2.500,00	Sin datos	Uyuni (sur)	EDL - Planta Piloto
	4	Qinchai Citic Guoan	Junio 2023		25.000,00	857,00	Uyuni (noreste)	EDL - Salmueras de pozo
	5	Fusion Enertch						EDL - Salmueras de pozo
	6	TBEA Group						EDL - Salmueras de pozo
	7	Uranium One Group, Joint-Stock Company	Junio 2023		25.000,00	578,00	Pastos Grandes	EDL - Salmueras de pozo
			Diciembre 2023	Septiembre 2024	14.000,00	975,85	Uyuni (sur)	EDL - Salmueras de pozo
	8	Tecpetrol						EDL - Salmueras de pozo

Convocatoria	N°	Empresas preseleccionadas	Convenios firmados	Contratos firmados	Capacidad (t/año)	Inversión comprometida (MUSD)	Salares de interés	Tipo de operación
2da Convocatoria Enero de 2024	1	Hong Kong CBC Invesment		Diciembre 2024	15.000,00	310,00	Uyuni (sur)	EDL - Salmueras residuales
					50.000,00	720,00	Uyuni (sur)	EDL - Salmueras de pozo
	2	Tecpetrol	Diciembre 2024		Sin datos	Sin datos	Uyuni	EDL - Salmueras de pozo
	3	Energía de Litio					Uyuni, Coipasa y Pastos Grandes	EDL - Salmueras de pozo
	4	EAU Lithium PTY Ltd	Diciembre 2024		Sin datos	Sin datos	Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	5	Geolith Actaris Bolivia	Diciembre 2024		Sin datos	Sin datos	Uyuni y Coipasa	EDL - Salmueras de pozo
	6	Qinchai Citic Guoan					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	7	Clontarf Energy PLC					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	8	China Machinery					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
							Uyuni	Operación y mantenimiento
	9	Protecno					No especifica	Tratamiento de aguas
	10	Xi'an Lanshen					Chiguana y Empexa	EDL - Salmueras de pozo
	11	White Salar					Uyuni, Coipasa, Empexa y Chiguana	EDL - Salmueras de pozo
	12	Li3 Energy Holding					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	13	America Baocheng					Uyuni y Pastos Grandes	Tratamiento de Residuos Planta-KCL-PCL
	14	Watercycle Technologies Limited					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	15	Uranium One Group, Joint-Stock Company					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	16	Sep Salt & Evaporation Plants					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	17	N2e Materials Co.					Uyuni	Optimización-Piscinas-Evaporación

Convocatoria	N°	Empresas preseleccionadas	Convenios firmados	Contratos firmados	Capacidad (t/año)	Inversión comprometida (MUSD)	Salares de interés	Tipo de operación
2da Convocatoria Enero de 2024	18	Eramet					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	19	Lithium For Earth Inc. / Hydro Lithium Inc. / Lithium Plus Inc.					Uyuni, Coipasa, Pastos Grandes, Empexa, Cañapa, Chiguana y Capina	EDL - Salmueras de pozo
	20	Lithium One Bolivia Rosatom					No especifica	EDL - Salmueras de pozo
	21	Ad-INFinitum					Pastos Grandes	EDL - Salmueras de pozo

Fuente: Con base en YLB (2024d).

En la cláusula 17 del contrato con Uranium, se dispone que toda la inversión en la construcción de las plantas de EDL y carbonatación, además de los costos de operación y mantenimiento, previos a la transferencia de las mismas a favor de YLB, se contabilizarán como costos recuperables⁵. Una forma de deuda que contrae Bolivia y que se pagará en producto, a través de la figura de “derecho preferente de compra del producto” (YLB y Uranium One Group/Rosatom, 2024). Mientras que, en el contrato con CBC, según la cláusula 13, los costos de infraestructura, operación y mantenimiento podrán ser pagados “en especie”; es decir, el consorcio chino tiene “derecho de disponer de parte del producto”. También se incluye el pago de una Licencia de Servicios Técnicos por el uso de la tecnología de EDL a ser aplicada: 1.700 dólares por tonelada procesada (YLB y Hong Kong CBC Investment Limited, 2025).

La EDL es un conjunto de tecnologías basadas en sustancias y materiales de alto desarrollo científico en el campo de la química que logran “extraer” selectivamente diferentes sustancias, en este caso el litio. También reciben el nombre de tecnologías de “sorción” haciendo referencia a los métodos químicos que utilizan solventes, adsorbentes y disolventes. Sin embargo, en la EDL también se emplean materiales especiales, como nano-membranas, membranas de ósmosis inversa y diferentes métodos electroquímicos (Azevedo et al., 2022) (Tabla 3). En muchos casos, se combinan las tecnologías e inclusive hay experiencias de complementación con la de cristalización fraccionada o evaporítica.

Tabla 3 Tipos de tecnologías de Extracción Directa de Litio

EFICACIA Y PREPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN DIRECTA DE LITIO			
Tecnología	Descripción	Madurez	Recuperación de litio %
Adsorbentes	Proceso de adsorción mediante adsorbentes	En uso comercial	80-99,9
Intercambio iónico	Intercambiador de iones mediante resinas, aluminatos o cerámicas	Precomercial	80-99,9
Extracción con disolventes	Mezcla de disolvente de fluido combinado con salmuera para extraer agua	Precomercial	99,9
Separación por membrana ¹	A menudo se utiliza junto con el intercambio de iones y los adsorbentes/extracción con disolventes; los procesos prometedores son la nanofiltración y ósmosis inversa	Precomercial	≥99
Separación electroquímica	Extracción electroquímica de litio de salmueras por adsorción o intercalación	Precomercial	>90

(1) La separación por membrana es un paso adicional de purificación que puede añadirse antes o después de la aplicación de la extracción con disolventes/intercambio iónico y los adsorbentes, lo que ayuda a conseguir mayores tasas de recuperación.

Fuente: Azevedo y otros autores (2022).

Aspectos como el costo de los insumos, el de operación y el de mantenimiento, y la generación y gestión de residuos —materiales y sustancias peligrosas en desuso o salmueras contaminadas— dependen en gran medida del tipo de tecnología de EDL a ser aplicada. Los contratos no los describen y ni YLB o el gobierno previeron el desarrollo de normativa técnica específica que evite riesgos para el ambiente y la salud pública.

De acuerdo con lo anunciado, al momento de la firma de los cinco primeros convenios con CBC, Citic Guoan y Uranium, el techo de capacidad de procesamiento sería de 114.000 t/año y las “inversiones” previstas representan un total de 3.830,85 millones de dólares. En el caso de los últimos tres convenios firmados con Tecpetrol, EAU Lithium PTY Ltd. y Geolith Actaris Bolivia, no se publicó información acerca de las capacidades esperadas ni de las inversiones previstas, en consecuencia, aún no se los puede considerar proyectos en desarrollo.

En el marco de los proyectos de los contratos que ingresaron a la Asamblea Legislativa, este documento profundiza en las consecuencias de una posible sobreexplotación de los recursos hídricos y la reinyección de salmueras empobrecidas. Estas dos características aún no son parte del debate y podrían dar pie a un análisis más profundo de la viabilidad de la explotación del litio desde el punto de vista técnico y ambiental.

Yacimientos de Litio Bolivianos deslinda responsabilidades

Desde la consideración de los contratos para la explotación del litio con tecnologías de EDL en la Cámara de Diputados, varios artículos de análisis y opinión contribuyeron a su comprensión⁶. Cada autor puso de manifiesto las limitaciones, los alcances, las ventajas y las desventajas para el Estado boliviano. En general, las observaciones revelan una desequilibrada participación y distribución de las responsabilidades entre las compañías extranjeras y la empresa pública estratégica YLB. La instancia estatal tiene una profunda debilidad institucional que la podría reducir —como sucede con Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB)— a una simple oficina de contrataciones.

Las condiciones financieras también fueron cuestionadas por su falta de realismo

(Solón, 2024; Zaratti, 2025). Ello muestra que Bolivia enfrenta limitaciones para monitorear los precios del mercado internacional, al punto de incluir datos insuficientes en los contratos. La situación es crítica al tratarse de un sector en el que en los discursos políticos se pone especial atención y esperanza.

Según las cláusulas 17.2 y 18.2 del contrato con Uranium y del apartado 19 del anexo técnico, YLB debe desarrollar actividades de inspección, revisión y seguimiento, a través de un Comité Técnico Multidisciplinario. Para desempeñar estos compromisos, la empresa estatal no considera, por ejemplo, los estudios hidrogeológicos, la línea de base ambiental o las referencias nacionales o internacionales de los estándares técnicos. De la misma forma, en los anexos técnicos del contrato con CBC, las referencias técnicas se limitan a aspectos de ingeniería constructiva y no así al seguimiento de la gestión operativa. En tal sentido, no se verifica la existencia de indicadores de evaluación que sean comparables con operaciones similares y proporcionen una descripción clara de la sostenibilidad económica, ambiental y social.

“YLB reconoce la ausencia en el momento del diseño de los datos iniciales necesarios” sobre la composición y características del agua subterránea de uso industrial (dulce) y sobre la salmuera del salar de Uyuni (anexo técnico 8 del contrato con Uranium). En el convenio con CBC, las limitaciones de información técnica no son tan explícitas, pero se considera un “periodo de estabilización” (concepto no definido en el contrato) de tres años, posterior a la instalación de la infraestructura (cláusula 7). En consecuencia, YLB, pese ser una instancia técnica especializada, convoca a socios extranjeros, pero los espera con las manos vacías, ahondando la incertidumbre que caracteriza su desempeño.

En los dos contratos que se pretende sean aprobados por la Asamblea Legislativa, no se describen los mecanismos mediante los cuales el Estado garantizará el cumplimiento de los siguientes artículos de la Constitución Política del Estado: 352, sobre la consulta previa, libre e informada; 374, sobre el “uso prioritario del agua para la vida”, y 375, sobre el manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas, los recursos hídricos⁷ y las aguas fósiles.

La Extracción Directa de Litio y la intensiva alteración del sistema hidrogeológico regional

El Ministerio de Hidrocarburos y Energía entregó con reticencia la información acerca de los contratos que YLB firmó con empresas extranjeras para el procesamiento de carbonato de litio; lo hizo parcialmente y luego tuvo que completarla (Brújula Digital, 2025). Desde la firma de los mismos, en septiembre de 2024, con Uranium y, en diciembre de 2024, con CBC, presiona para que la Asamblea Legislativa los apruebe. La poca transparencia y los vacíos de información en los documentos desataron el rechazo generalizado, que puso en evidencia que los esfuerzos para una socialización tardía son sobrepasados por una multiplicidad de demandas, observaciones y desconfianza acumulada.

Los contratos firmados por la empresa pública no ofrecen garantías de un menor impacto ambiental. En estos, se prevé el desarrollo de largos procesos de investigación posteriores a su firma. YLB (2025) afirma que "cuenta con estudios hidrogeológicos, hidráulicos e hídricos preliminares, los cuales deben ser corroborados en los estudios de factibilidad". Dichos documentos no son públicos, por lo que la "transparencia" que pregona el gobierno es solamente declarativa. Esto hace evidente la necesidad de mecanismos de verificación científica independiente para un sector de la minería, cuyo desarrollo científico-tecnológico tiene aún significativos retos y limitaciones (Halkes et al., 2024).

Tabla 4 Ventajas y desventajas de las tecnologías de explotación del litio

Ventajas		Desventajas
Tecnologías de Extracción Directa de Litio		Muy alto riesgo de alterar el sistema hidrogeológico
		Volúmenes grandes de salmueras residuales
	No depende de las condiciones meteorológicas	Alto consumo de energía
	Se adapta a la composición de la salmuera	Pocas experiencias similares aplicadas a escala industrial
	Alta eficiencia en la recuperación de litio (mayor al 80%)	Insumos químicos complejos
	Sin pérdida de agua por evaporación	Residuos de alta toxicidad (materiales en desuso, insumos y salmueras residuales)
	Reduce el tiempo de explotación (de meses a horas)	Ninguna experiencia a gran escala de reinyección de salmueras residuales
		Alto costo de inversión y mantenimiento
		Alto consumo de agua dulce
Tecnologías de cristalización fraccionada (evaporación)		Alto riesgo de alterar el sistema hidrogeológico
		Dependencia de las condiciones meteorológicas (precipitación, temperatura, radiación solar)
		Baja eficiencia de recuperación de litio (en Bolivia, 12-30%) y alta demanda de salmueras
	Bajo costo de operación	Generación de salmueras residuales con altos contenidos de litio
	Insumos químicos básicos	Grandes volúmenes de residuos sólidos industriales
	Bajo consumo de energía	Grandes pérdidas de agua dulce, por evaporación
		Procesos lentos (12 a 36 meses en Uyuni)
		Alto consumo de agua dulce

Fuente: Con base en Mondaca (2024).

Las tecnologías de EDL se presentan como respuesta a los antiguos problemas relacionados con el procesamiento de las salmueras con alto contenido de impurezas. Existen experiencias en el caso de los salares con altos contenidos de magnesio en China, entre 2016 y 2020, y otra que inició, en 1998, en Argentina (Grant, 2020). En Estados Unidos y Alemania, se desarrollaron métodos de EDL para el procesamiento de las salmueras geotérmicas (Early, 2020).

Suele destacarse que las tecnologías de EDL tienen como ventajas una mayor eficiencia en la recuperación del litio, gran velocidad de procesamiento e independencia de las condiciones meteorológicas. Mientras que se minimizan las desventajas críticas relacionadas con las alteraciones significativas en los sistemas hidrogeológicos de los salares por la intensidad de la explotación del agua dulce y de las salmueras naturales, además de los riesgos de la reinyección de las salmueras residuales o empobrecidas (Tabla 4).

Uranium construiría una planta que utilizará salmuera de pozo o cruda y CBC también impulsa un proyecto del mismo tipo. Adicionalmente, en el contrato con el consorcio chino, se considera un proyecto que usará las salmueras preprocesadas en las piscinas de evaporación de YLB. En los dos primeros casos, se evitarán las pérdidas de agua dulce por evaporación. Al desconocerse el tipo de tecnologías de EDL a ser aplicadas, no se tienen antecedentes de verificación de otras posibles ventajas.

En la cláusula 5 del contrato con CBC, se establece que, "en caso de que por causa del suministro de Salmuera Residual, no se pueda garantizar que el proyecto funcione económicamente para CBC, YLB deberá proporcionar financiamiento a CBC para transformar la Planta de Salmuera Residual a una planta de extracción de salmuera de pozo de la misma capacidad productiva" (YLB y Hong Kong CBC Investment Limited, 2025).

La empresa estatal no ofrece ninguna garantía de gestión empresarial adecuada porque aún no ha resuelto el "daño económico" denunciado, en marzo de 2024, en relación con la deficiente construcción y operación de las piscinas de la tecnología evaporítica (ANF, 2024). Por tanto, la posibilidad de correr con los costos de un cambio en los diseños de CBC es alto.

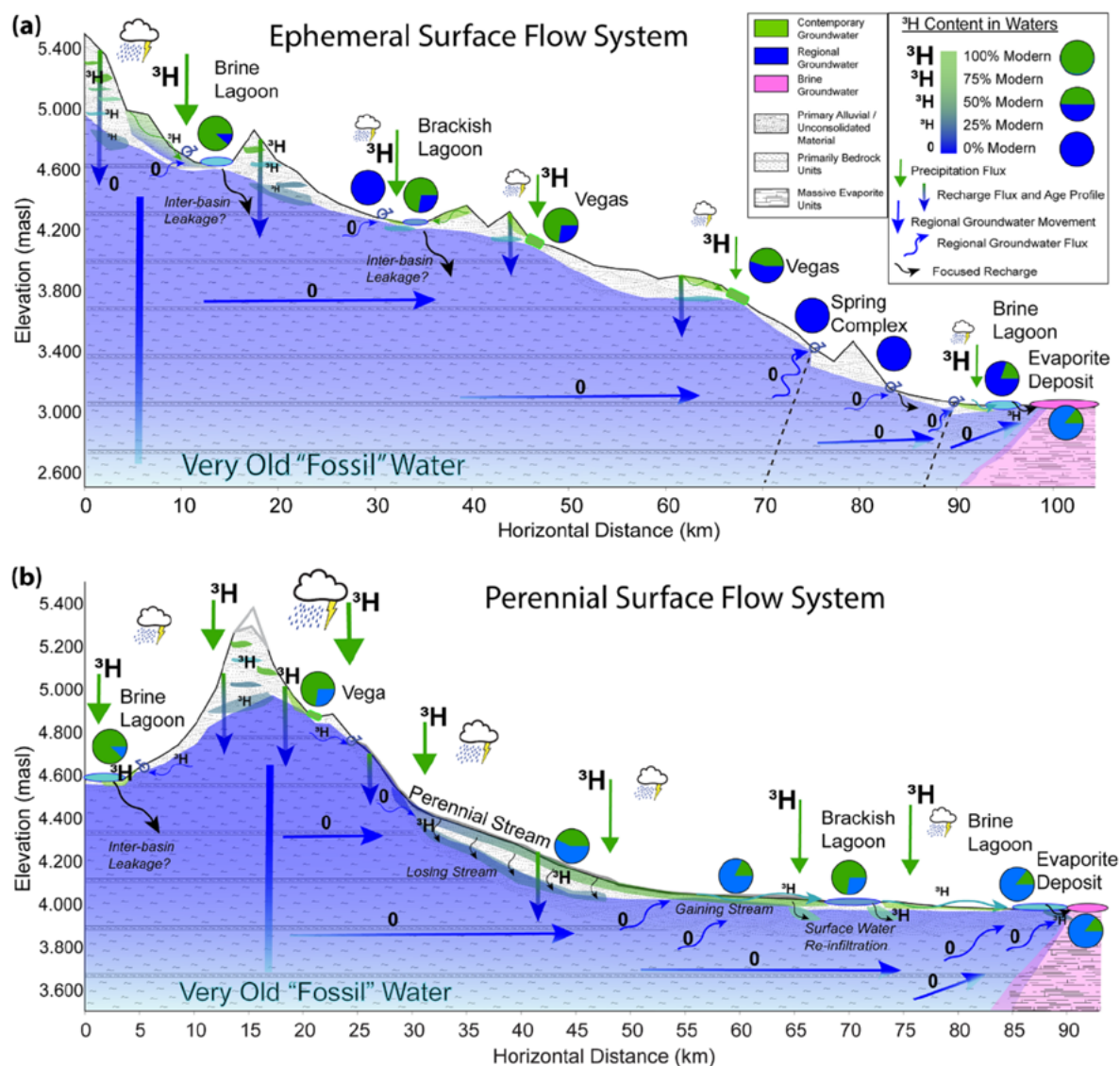
A ello se añade que, aunque, en la cláusula 3 del contrato YLB-CBC, se hace referencia a

una planta que procesará salmuera residual, definida como la "proveniente del proceso de concentración de litio operado por YLB", en el anexo técnico correspondiente, se incorpora el término de salmuera residual fresca, que es la "Salmuera Residual posterior a la etapa de sulfato de litio recién extraída" (apartado 8, materia prima). Esto significa que se entregará salmuera directamente de las piscinas, ¿quedará suficiente salmuera concentrada para la planta de carbonato de litio de YLB inaugurada en diciembre de 2023?

En los contratos de YLB con Uranium y CBC, las desventajas son absolutamente minimizadas o, inclusive, ignoradas, tanto en los documentos legales como en los técnicos. Por ejemplo, no se cuenta con estimaciones de los volúmenes y la composición de las salmueras residuales y no se mencionan cuáles serían las características de su tratamiento, mientras que Uranium reconoce que habría un proceso de reinyección. Además, no se desconocen las características específicas de las tecnologías de EDL a ser aplicadas y de los materiales y sustancias químicas que serán utilizados, por tanto, no es posible evaluar su verdadera peligrosidad. Apenas se sabe que Uranium utilizará un sorbente de alta eficiencia (Agencia Boliviana de Información, 2025). Sin embargo, no se conoce su reactividad química con otras sustancias presentes en las salmueras o si permanecerá o no en las salmueras residuales resultantes del proceso de extracción del litio.

La complejidad y la fragilidad del sistema hidrogeológico en el Altiplano Sur

El problema del uso intensivo de los recursos hídricos está vinculado a la complejidad y la fragilidad de los sistemas hidrogeológicos de los salares. En gran medida, las limitaciones para el desarrollo de la minería del litio en el Altiplano Sur y la Puna Andina —compartida entre Argentina, Chile y Bolivia— están relacionadas con la complejidad del sistema hidrogeológico que formó los salares y con los cambios contemporáneos producidos por el cambio climático. Moran y otros investigadores (2024) encontraron una vinculación importante entre los flujos del agua de lluvia y los del agua subterránea relictas (fósil). En la Figura 2, los primeros están en círculos de color verde y los segundos, en círculos verde y azul.

Figura 2**Modelo conceptual de los regímenes de flujo arqueotípicos en los Andes Secos**

Nota: El tamaño del símbolo ^3H y los gráficos circulares muestran el contenido relativo de agua moderna en los principales cuerpos de agua y a lo largo de las trayectorias del flujo. Las flechas indican las trayectorias generales del flujo desde la precipitación hasta la recarga y el agua subterránea, coloreadas por el contenido relativo de agua moderna de verde y azul con la presencia prevista de agua "fósil" muy antigua en verde azulado. Las flechas rectas señalan las entradas generales de precipitación moderna y las aguas subterráneas regionales y las en zig-zag representan los flujos de agua hacia y desde la superficie escalados por la magnitud relativa del flujo. Los tipos generales de cuerpos de agua y la geología están coloreados y texturizados, representando: (a) el arquetipo dominado por arroyos efímeros y flujos regionales de agua subterránea y (b) el arquetipo dominado por arroyos perennes que actúan como conductos eficientes para el agua moderna.

Fuente: Moran y otros autores (2024, p. 13).

La precipitación moderna comprende solo una pequeña parte del agua que circula en los salares del Altiplano Sur y la Puna Andina; sin embargo, es fundamental para dinamizar el movimiento de las aguas subterráneas fósiles y para el mantenimiento de las masas de agua superficiales y de los humedales, incluidos los salares (Figura 2). En consecuencia, las alteraciones previstas en el informe de la sexta evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC),

sobre el aumento de la extensión y severidad de la sequía en la zona, representan una amenaza significativa para el delicado equilibrio de estos entornos y sistemas hidrológicos (Moran et al., 2024).

De acuerdo con el Balance Hídrico Nacional (1980-2020), en la cuenca endorreica del altiplano, la precipitación media disminuyó respecto de la evaluación presentada en 2018: es la más baja a nivel nacional (197 mm). En el

caso de la cuenca río Grande-salar de Uyuni, se reporta la menor escorrentía (0,2 L/s/km²) o cantidad de agua que fluye por unidad de superficie de todo el país. La relación entre la evapotranspiración real (ETR) y la precipitación (PCP) está entre el 97% y el 98%, casi todo lo que llueve se evapora; al tiempo que, apenas el 3% de la lluvia fluye por la superficie, cuando el promedio en el altiplano es del 12% (Ministerio de Medio Ambiente y Agua e Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo, 2024).

Lamentablemente, pese al esfuerzo de sistematización de información, el último Balance Hídrico Nacional no presenta datos sobre las condiciones hidrogeológicas en la cuenca río Grande-salar de Uyuni. Jorge Molina Carpio, investigador del Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés, considera que, "sin un estudio hidrológico, no podemos determinar la cantidad de agua dulce necesaria y de dónde proviene esa agua" (Ruas, 2025). Así, el desconocimiento de las características de los reservorios de salmuera y de agua dulce existentes en los salares y sus alrededores aumenta la incertidumbre sobre su agotamiento.

Estas condiciones confirman que se trata de un ecosistema semidesértico altamente dependiente del agua subterránea fósil que aflora en vertientes —"ojos de agua"— y, además, revelan la compleja y aún poco estudiada relación entre laguna y vega o bofedal y salar. Los bofedales también retienen agua, desarrollan vegetación, reducen las pérdidas por evaporación y luego liberan agua lentamente convirtiéndose en importantes fuentes de agua dulce. Muchos de los bofedales se formaron entorno a los "ojos de agua" de las comunidades que circundan a los salares y a las lagunas saladas de Bolivia.

En consecuencia, es fundamental comprender la interacción actual entre las aguas premodernas y las modernas para definir cómo el uso humano, el cambio de temperatura y las precipitaciones en la región podrían alterar la integridad de estos sistemas (Figura 2). Para esto, se debe tener presente la prevalencia de las aguas subterráneas relictas y la alta vulnerabilidad ante los rápidos cambios en las aguas superficiales, debido a las perturbaciones naturales y antropogénicas. Esto lleva a recomendar una planificación minuciosa basada en información detallada que garantice los servicios ecosistémicos de los humedales, el agua para

las actividades agropecuarias de subsistencia de las comunidades y la demanda creciente de proyectos de minería convencional y minería en los salares (Moran et al., 2024).

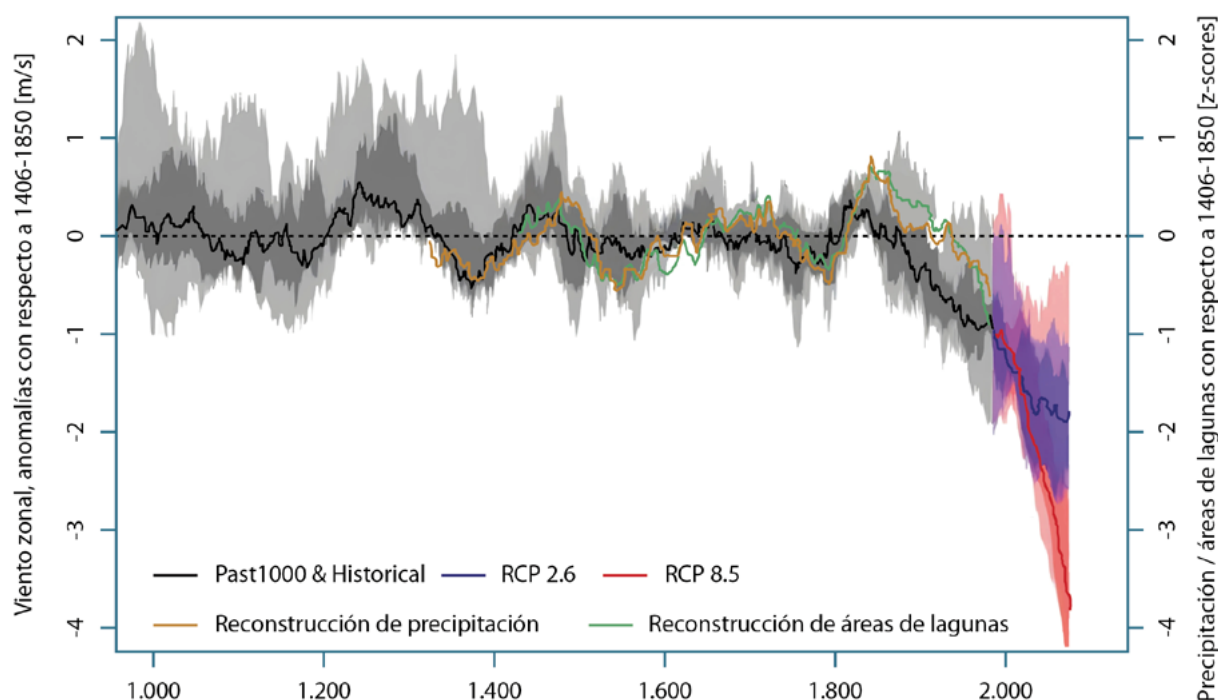
La observación de Moran, Boutt, Munk y Fisher (2024) sobre la influencia del cambio climático fue investigada previamente por Morales, Chistie, Newkom, Rojas y Villalba (2018). Su conclusión es lapidaria respecto de las proyecciones de disminución de las precipitaciones, en el presente siglo, en el Altiplano Sur y la Puna Andina (Figura 3):

El escenario RCP 8.5 [altas emisiones] muestra que las precipitaciones disminuirán de manera sostenida durante todo el siglo XXI, alcanzando condiciones de sequías extremas sin precedentes y totalmente fuera del rango de la variabilidad natural del sistema climático en la región [...] Las lluvias disminuirán en un rango entre 49 y 86% (mediana 71%). (p. 86)

Tomando en cuenta tanto un escenario de calentamiento global optimista (RCP 2.6) como uno pesimista (RCP 8.5)⁸, las disminuciones de las precipitaciones en el Altiplano Sur y la Puna Andina, en este siglo, serán significativas (Figura 3). Las conclusiones y recomendaciones de Morales, Chistie, Newkom, Rojas y Villalba (2018) están escritas con una mirada de largo plazo:

La disminución de lluvias proyectada para el siglo XXI junto con la creciente demanda por agua incrementarán la presión sobre los recursos hídricos del Altiplano y deberán ser consideradas prioritarias por los tomadores de decisión para evitar conflictos sociales tanto a nivel local como regional. Bajo este escenario, es sumamente relevante anticipar la posible ocurrencia de estos cambios hidroclimáticos a los administradores de los recursos hídricos con el fin de planificar y aplicar estrategias adaptativas para reducir estas vulnerabilidades de manera de garantizar un suministro suficiente y equitativo de agua ante su futura escasez. (pp. 87-88)

Los cambios son cada vez más impredecibles y pueden existir resultados menos pesimistas, pero todos coinciden en que disminuirán las precipitaciones en el Altiplano Sur. Por ejemplo, Agudelo, Espinoza, Junquas y Arias (2025), utilizando los datos del escenario SSP3-7.0⁹, estiman disminuciones entre el 26% y el 36%.

Figura 3**Variación de las precipitaciones y proyecciones al 2100 en el Altiplano Sur**

Nota: Comparación entre la simulación del viento zonal basada en el ensamble de ocho modelos (línea gruesa negra), con la reconstrucción de precipitación (línea gruesa naranja) y del área de lagunas (línea gruesa verde), durante el periodo 1000-2100 d.C. A las tres series se les aplicó un ajuste polinómico de 51 años para resaltar las variaciones multidecenales. La línea negra representa la mediana del ensamble de los modelos del viento zonal. La línea azul gruesa corresponde al escenario RCP 2.6 y la línea roja gruesa al RCP 8.5. El área sombreada gris clara representa el rango mínimo-máximo y la gris oscura el rango percentil 15-85%.

Fuente: Morales y otros (2018, p. 86).

En 2025, las temperaturas globales continúan en aumento, a pesar de estar en un periodo de La Niña en la Oscilación del Sur, por tanto, existe una creciente tendencia a cambios climáticos más drásticos (More, 2025). A medida que se aplican nuevos métodos de modelación climática, se verifica que estamos a menos de tres décadas de alcanzar el umbral de los escenarios más pesimistas (Barnes et al., 2024).

Esto puede afectar a todo el sistema hidrológico, que se caracteriza por una estrecha relación entre las vertientes, las lagunas, los bofedales y los salares. Sin embargo, no es algo nuevo. Molina Carpio (2007) puntualiza que “es la presencia misma de manantiales y vertientes de flujo permanente la que ha dado origen a los bofedales del sudoeste de Potosí” (p. 50). En un estudio de 2001, el Servicio Geológico Minero (SERGEOMIN) concluye: “El sistema de aguas subterráneas constituye un tejido interno regulador, que sostiene la humedad en el suelo externo con la manifestación de manantiales, vertientes, ríos, cuencas, lagunas y formación de humedales, que sirven de hábitat de poblaciones

de avifauna y poblaciones humanas asentadas en la región” (p. 15).

La toma de decisiones que correspondan con la realidad y preparen a Bolivia para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático debiera ser parte de una nueva forma de construir la política pública sobre el agua. La explotación del litio con la tecnología evaporítica y, más aún, con la EDL compromete la última alternativa de sostenimiento de la vida: el agua subterránea fósil y su compleja dinámica.

La demanda de agua de los proyectos de explotación del litio: “hidro-fantasia”

En los contratos, se verifica que las demandas de agua dulce son similares o superiores a las del proyecto evaporítico estatal; la mayor parte de la información se encuentra en los anexos técnicos y en los apartados de descripción específica. En los cálculos, se incluye la totalidad de la demanda de agua tanto de la salmuera como del agua dulce, en esta última se toma en cuenta el agua de pozo y la tratada o desalinizada (Tabla 5).

Tabla 5***Demanda de recursos hídricos para la extracción del litio: detalle de fuentes***

Empresa	Tecnología de explotación	Procesamiento proyectado (t LCE/año)	Demanda de agua dulce (m³/año)	Demanda de salmuera (agua salada) (m³/año)	Demanda total de agua (m³/año)	Observaciones	Fuentes
CBC-PSC (*)	EDL	25.000,00	4.452.250,00	9.292.929,00	13.745.179,00	Agua dulce: 4.452.250,00 2.449.750 (pozo) 2.002.500 (desalada)	Contrato YLB-CBC, cláusula 4. Anexo Técnico PSC, numerales 10 - Tablas 6 y 7 (2024).
CBC-PSR (*)	EDL	10.000,00	781.500,00	400.477,00	1.181.977,00	Agua dulce: 781477,00 (agua tratada)	Contrato YLB-CBC, cláusula 4. Anexo Técnico PSR, numerales 8.2, 10 - Tablas 2 y 3 (2024).
Uranium One Group	EDL	14.000,00	1.184.471,00	9.176.471,00	10.360.942,00		Contrato YLB-Uranium, Anexo Técnico, numerales 4, 8.2, 10 - Tabla 4 (2024).
YLB	Evaporítica	15.000,00	1.213.234,02	20.976.840,00	22.190.074,02		EEIA Planta de KCl (COMIBOL, 2012) y EEIA Planta de Li2CO3 (YLB, 2020)
	Total general	64.000,00	7.631.455,02	39.846.717,00	47.478.172,02		

LCE, carbonato de litio equivalente; EEIA, Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental; EDL, Extracción Directa de Litio. (*) Datos hasta la Fase I de los proyectos de CBC (CATL-BRUNP & CMOC); PSC, planta de salmuera cruda o de pozo; PSR, planta de salmuera residual proporcionada por YLB.

Fuentes: Con base en Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL, 2012), YLB (2020), YLB y Uranium One Group/Rosatom (2024) y YLB y Hong Kong CBC Investment Limited (2025).

En el caso del consorcio chino, el factor de consumo de agua dulce por tonelada procesada es cuatro veces mayor que el de la tecnología evaporítica (Tabla 6). Si la producción de carbonato de litio de YLB lograra producir a máxima capacidad y se consolidaran los proyectos de los contratos, se alcanzarían las 64.000 t y se utilizarían 7,6 Mm³/año de agua dulce o 242 L/s (Tabla 6). En consecuencia, no se cumple la promesa del ministro de Hidrocarburos y Energía, Alejandro Gallardo, sobre una menor demanda de agua dulce (Zenteno, 2025).

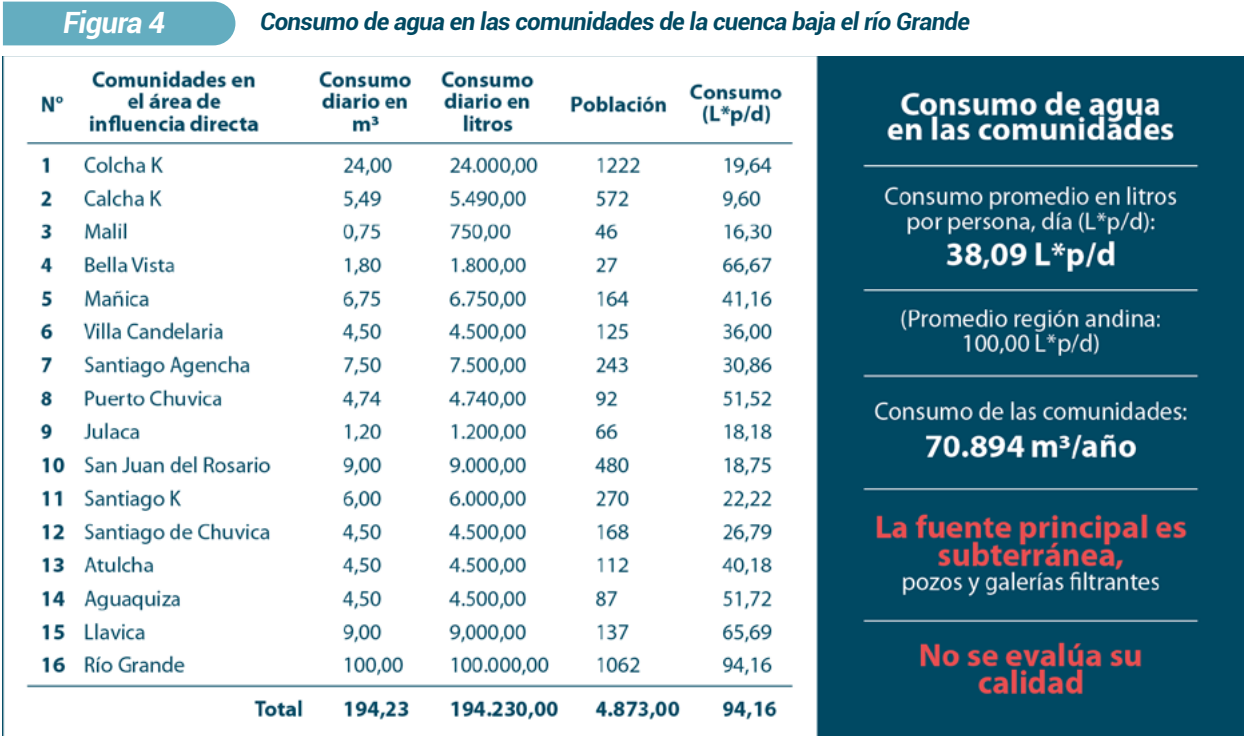
Tabla 6***Demanda de recursos hídricos para la extracción del litio en Bolivia***

Empresa	Tecnología	Procesamiento proyectado (t LCE ¹⁰ /año)	Demanda de agua dulce (m³/año)	Demanda de salmuera (m³/año)	Total agua (m³/año)	Factor de consumo de agua (m³/t)
CBC-PSC	EDL	25.000,00	4.452.250,00	9.292.929,00	13.745.179,00	549,81
CBC-PSR	EDL	10.000,00	781.500,00	400.477,00	1.181.977,00	118,20
Uranium	EDL	14.000,00	1.184.471,00	9.176.471,00	10.360.942,00	740,07
YLB	Evaporítica	15.000,00	1.213.234,02	20.976.840,00	22.190.074,02	1.479,34
	Total general	64.000,00	7.631.455,02	39.846.717,00	47.478.172,02	741,85

Fuentes: Con base en COMIBOL (2012), YLB (2020), YLB y Uranium One Group/Rosatom (2024) y YLB y Hong Kong CBC Investment Limited (2025).

El estudio realizado por el Colectivo de Derechos Humanos Empodérate y el CEDIB en 16 comunidades ubicadas en la cuenca del río Grande, en los alrededores de las instalaciones de YLB en Lliphi, evaluó los sistemas de agua para consumo humano (Figura 4).

Si la demanda anual de agua dulce es de 7,63 Mm³, la diaria sería de 20.908,10 m³ (Tabla 6). En menos de cuatro días, se utilizaría la misma cantidad de agua dulce que las comunidades de la cuenca baja del río Grande consumen en un año (Figura 4). Las tecnologías de EDL no son amigables con el medioambiente y su demanda de agua dulce representa una "hidro-fantasia" para el contexto local. Se utiliza el término usado por el viceministro Raúl Mayta (ANF, 2025b).



Fuente: Mondaca (2024).

También es importante destacar que YLB no hizo cambios significativos para el desarrollo local de ninguno de los municipios de la región. Por ejemplo, ni uno de los sistemas de agua potable de las comunidades mencionadas en la Figura 4 recibió mantenimiento o renovación en los últimos años y, como en gran parte del país, tampoco se evaluó la calidad del agua que distribuyen. Considerando que la propia empresa estatal se desempeña como un proyecto extractivo de enclave, es poco probable que sus socios extranjeros asuman una actitud más “amigable”.

El ritmo de explotación de salmueras de los proyectos previstos en el salar de Uyuni sería de 1.263,53 L/s, ello permitiría procesar un total de 64.000 t/año de carbonato de litio (Tabla 7). En el caso de Atacama, SQM y Albemarle explotan a un ritmo de 1.500 L/s (Zelandes & Summit Nanotech, 2024) (47.304.000 m³/año),

logrando procesar 271.000 t/año (Ruta 2050, 2024). El factor de consumo de salmueras en el salar de Uyuni sería de 622,6 m³/t LCE; en Atacama, en cambio, es de 65,6 m³/t LCE, es decir, 9,5 veces menos que en Uyuni. Gran parte de este fracaso de competitividad puede atribuirse al proyecto YLB-Evaporítica.

Sin embargo, si se considera solamente la demanda de salmueras de los proyectos de EDL, 18.869.877 m³/año, para un procesamiento de 49.000 t LCE/año (Tabla 5), el factor de consumo sería de 385,1 m³/t LCE, casi seis veces más que los proyectos del salar de Atacama. Ello puede asociarse con las concentraciones de litio que en Uyuni son cinco veces menores que en Atacama, lo que pone en duda la competitividad de la explotación del litio en Bolivia, ¿es el aumento de la escala una alternativa? ¿Cuál sería el impacto ambiental de esa opción?

Tabla 7

Demanda por tipo de agua en diferentes unidades de medición

Unidad	Demanda de agua dulce	Demanda de salmueras	Demanda total de agua
m³/año	7.631.455,02	39.846.717,00	47.478.172,02
m³/mes	635.954,59	3.320.559,75	3.956.514,34
m³/día	20.908,10	109.169,09	130.077,18
m³/hora	871,17	4.548,71	5.419,88
m³/min	14,52	75,81	90,33
m³/s	0,24	1,26	1,51
L/s	241,99	1.263,53	1.505,52

El agua como parte del ecosistema

Las aguas tienen diferentes características y usos, sin embargo, todas son parte de los sistemas hidrológicos y, por tanto, son importantes para su equilibrio. En el ciclo hídrico, el agua se transforma y sus propiedades cambian, sin que, por ello, dejemos de considerarla como “agua”. Existe una estrecha interconexión entre las aguas dulces y las salmueras almacenadas en los salares. Las primeras fluyen hacia el salar —el punto más bajo—, mientras que las segundas reciben a las primeras y concentran los minerales que arrastran. Las salmueras son aguas mineralizadas.

Así como no se excluye al agua de mar del ciclo hídrico global, por ser agua salada, tampoco es posible separar a las salmueras de los ciclos de circulación del agua en los ecosistemas de lagunas saladas, bofedales y salares. Su frágil y compleja interconexión crea las condiciones que sustentan la vida de las comunidades indígenas y campesinas del Altiplano Sur y la Puna Andina sudamericana.

A partir del análisis químico de las estructuras moleculares y la composición de las salmueras, se concluye que estas pueden compararse con agua sometida a presión. También se destaca que, a pesar de no ser potables o aptas para el consumo humano, son parte del ciclo hídrico. En tal sentido, los proyectos de explotación del litio de salmueras continentales debieran profundizar en la investigación y desarrollo de alternativas respecto de sus impactos ambientales (Ejeian et al., 2021).

Por ello, en los cálculos se incluyen todas las aguas que los contratos reportan en sus anexos técnicos. Se consideran las aguas dulces o “aguas de proceso” y, dentro de ellas, a las aguas de pozo y aquellas que, sin mencionar su origen, se reportan como “aguas desaladas”. También se toma en cuenta a las salmueras —llamadas “materia prima”—, porque todas son parte fundamental en los sistemas de vida en la región más árida del país.

Las aguas, también llamadas “recursos hídricos”, son reconocidas en su diversidad en la Constitución Política del Estado Plurinacional: “Las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras son prioritarias para el Estado, que deberá garantizar su conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral; son inalienables, inembargables e imprescriptibles” (artículo 374, parágrafo III).

La Ley 535 de Minería y Metalurgia (2014) conceptualiza a las salmueras como “recursos minerales” (artículo 3). A partir de esta definición, se tiende a considerar a las salmueras como separadas de los sistemas hidrogeológicos que las contienen. Ello se refuerza con la insuficiente investigación hidrogeológica desarrollada por el Estado, en más de 17 años de intervención en los salares; es decir, la normativa no se basa en el conocimiento científico.

En tal sentido, se contabiliza el agua sin las distinciones artificiales que suelen aplicarse en la minería. Para el ecosistema, agua es agua y debe ser protegida en todos sus estados y en todas las formas en las que se presenta en la naturaleza o, como dirían algunos, tal como nos la regala la Madre Tierra. La demanda total de agua de los proyectos de explotación del litio debe contrastarse con un estudio hidrogeológico integral y la modelación del mismo.



En el ciclo hídrico, el agua se transforma y sus propiedades cambian, sin que, por ello, dejemos de considerarla como “agua”. Existe una estrecha interconexión entre las aguas dulces y las salmueras almacenadas en los salares.

Si se considera la demanda de agua de otras operaciones mineras en la región, se tiene a la emblemática Minera San Cristóbal, que, en 2008, fue responsable de una de las mayores inversiones mineras de la historia de Bolivia (Ferrufino et al., 2024). La empresa declaró que, en 2016, “utilizó un total de 11,4 millones de metros cúbicos (m^3)” de agua subterránea (La Razón, 2018). Con las operaciones de explotación del litio en marcha y las de los contratos con Uranium y CBC, la demanda total de recursos hídricos puede alcanzar los 47,48 Mm^3 anuales (Tabla 5), cuatro veces más que la minera más grande del país y la cuarta mina de zinc más grande del mundo.

Otro aspecto que permite comprender mejor las dimensiones de la “hidro-fantasia” del litio en Bolivia es comparar los factores de consumo de agua (salmueras y agua dulce) de los proyectos de explotación del litio con los de empresas del mismo rubro. Por ejemplo, en el caso de la tecnología evaporítica, el factor de consumo de recursos hídricos previsto por YLB —si operara a máxima capacidad— sería de 1.479,34 m^3/t por tonelada de carbonato de litio (Tabla 5). Es decir, duplicaría el factor de consumo del Proyecto Sales de Jujuy (Salar de Olaroz, en Argentina), que es de 584,12 m^3/t (Arias Alvarado et al., 2022), y sería ocho veces superior al de la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), que opera en el salar de Atacama con un factor de consumo de 181,68 m^3/t (SQM, 2024).

Si se comparan los proyectos de EDL de Uranium y CBC, la situación no mejora significativamente. El único en operación de América del Sur que aplica la EDL es Fénix, en el salar del Hombre Muerto, Catamarca, Argentina, y está a cargo de Arcadium Lithium (fusión de Allkem Limited y Livent Corporation, en 2024). En este, el factor de consumo es de 69,00 m^3 de agua por tonelada de carbonato de litio (Arcadium Lithium, 2024), que al parecer es un valor minimizado¹¹. Pese a ello, y sin considerar la planta de salmuera residual (PSR) de CBC, que trabajaría con salmuera preprocesada, los factores de consumo del proyecto de Uranium y los de la planta de salmuera cruda (PSC) de CBC serían entre ocho y once veces mayores que los de Fénix.

De acuerdo con los datos presentados, las demandas de los recursos hídricos tanto de la tecnología evaporítica como de la EDL de los proyectos que se pretenden consolidar en Bolivia son mucho mayores respecto de proyectos similares en Chile y Argentina. Ello pone en duda la calidad del proceso de preselección

desarrollado por YLB en la primera y segunda convocatoria.

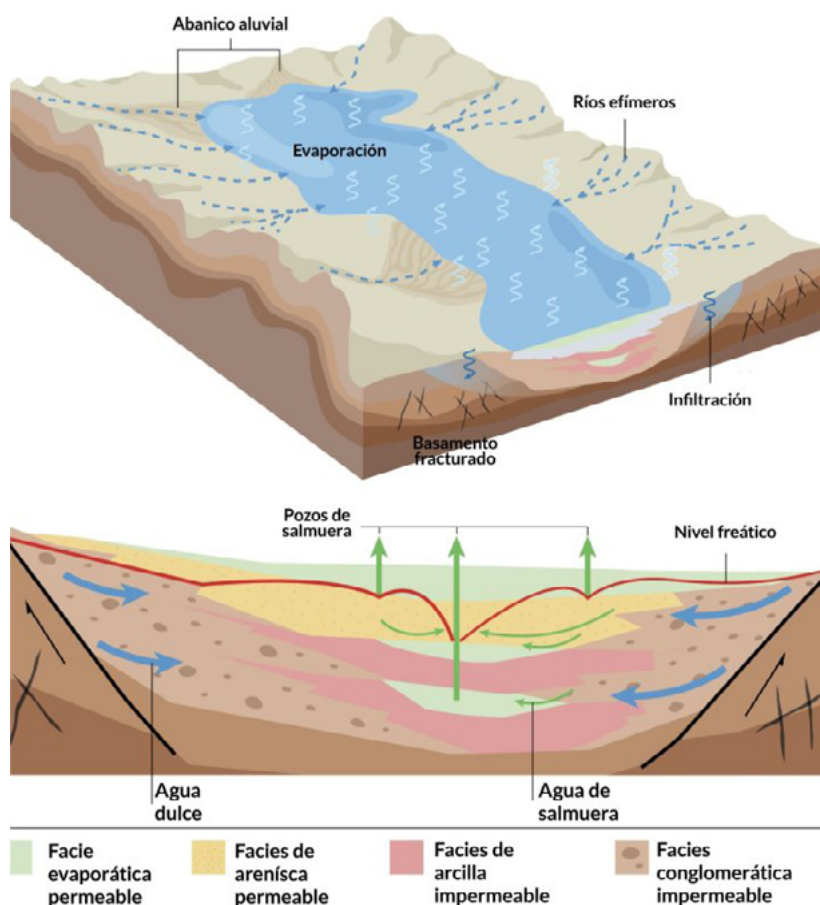
El problema central con la EDL proviene, precisamente, de una sus principales ventajas: su alta velocidad de procesamiento. Esta representa un avance importante para los ambiciosos objetivos del *boom* minero relacionado con la transición energética mundial; sin embargo, la intensiva explotación de las aguas subterráneas, saladas y dulces puede alterar significativamente el frágil sistema hidrológico de los salares y sus cuencas (Figura 5). Por ello, la minería del litio es denominada “minería del agua”.

La descripción conceptual del sistema hidrogeológico, en la Figura 5, sugiere que el bombeo intensivo de salmuera podría provocar un aumento del ingreso de agua dulce subterránea (recarga) a los depósitos de salmuera (salar), zona más baja de las cuencas endorreicas. Si esta recarga llega a ser significativa, afectaría el nivel de las lagunas, ríos y arroyos de agua dulce en los alrededores del salar (Arias Alvarado et al., 2022). Esta es la razón por la que grandes volúmenes de salmuera extraídas rápidamente del subsuelo ponen en riesgo las fuentes de agua dulce de las comunidades circundantes, debido a que sus principales fuentes de abastecimiento son subterráneas (vertientes, pozos y galerías filtrantes).

Los impactos de la explotación de volúmenes de aguas subterráneas superiores a la recarga natural de los acuíferos ya han sido identificados en el caso de la tecnología evaporítica (Ruch et al., 2012). En el salar de Atacama, Chile, se verificó un fenómeno de subsidencia o hundimiento de la costra salina, a un ritmo de 1 a 2 cm/año, y el aumento del nivel freático o profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, de 10 m en 15 años (Departamento de Geología de la Universidad de Chile, 2024).

El exministro de Hidrocarburos y Energía, Franklin Molina, afirmó que la EDL “ya no es la tecnología tradicional de las famosas piscinas que necesitan dos años y medio para la extracción de la materia prima”, prometía, además, que, mediante este método, se podría extraer litio en cuestión de horas (Salinas, 2023). La potencial sobreexplotación de las aguas subterráneas es un gran riesgo ambiental, porque, con las tecnologías de EDL, se pretende procesar grandes volúmenes en muy poco tiempo.

Otra de las razones para calificar a la explotación del litio como “minería del agua” son los porcentajes de agua dulce a ser empleados. De

Figura 5**Hidrogeología, las características sedimentarias de los salares y el efecto del bombeo de la salmuera**

Fuente: Duarte (2023).

acuerdo con la Tabla 5, la demanda de agua dulce del proyecto evaporítico de YLB representa solamente el 5,47% del total. El proyecto de Uranium demandaría 11,43% de agua dulce; la PSC de CBC, 32,39%, y la PSR de CBC, 67,26%. Ya en 2021, la demanda de agua dulce del Proyecto Fénix superaba los 2 Mm³ anuales; del total del agua utilizada, el 66% era agua dulce (Machado Aráoz, 2021). ¿Significa esto que los grandes proyectos de explotación del litio con la EDL tienden a explotar más agua dulce que salmueras?

La historia del Proyecto Fénix no es ajena para Bolivia, porque la empresa que lo inició fue precisamente FMC Corporation, la misma que, en 1992, ganó una licitación internacional para explotar litio en el salar de Uyuni y a la que renunció, en 1993, al considerar que no se garantizaba la estabilidad fiscal (Olivera Andrade, 2017). Dicha compañía cambió el nombre de sus operaciones relacionadas con el litio y, en 2018, pasó a llamarse Livent Corporation (FMC Corporation, 2018). Esta empezó pruebas piloto, en 1998, y escaló al procesamiento de salmueras con tecnologías de EDL de adsorción (Grant, 2020). En 2022, procesó 20.000 t/año de carbonato de litio (Livent Corporation, 2023). Esta experiencia muestra que la consolidación de los proyectos de EDL es compleja y puede tomar muchos más años de los previstos en los contratos.



La demanda de agua dulce del proyecto evaporítico de YLB representa solamente el 5,47% del total. El proyecto de Uranium demandaría 11,43% de agua dulce; la PSC de CBC, 32,39%, y la PSR de CBC, 67,26%. Ya en 2021, la demanda de agua dulce del Proyecto Fénix superaba los 2 Mm³ anuales; del total del agua utilizada, el 66% era agua dulce (Machado Aráoz, 2021).

La reinyección de salmueras residuales o empobrecidas

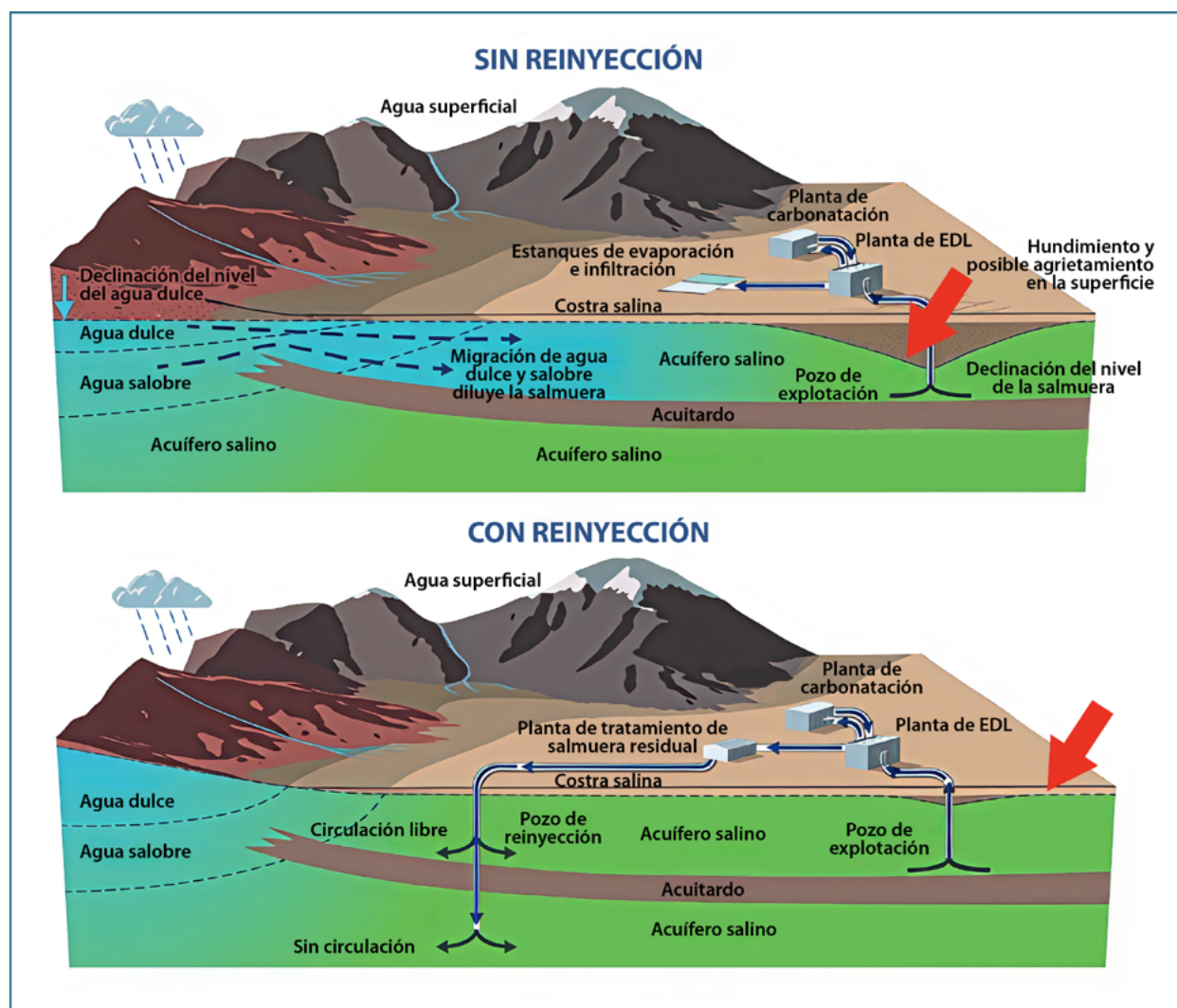
Un aspecto apenas mencionado en los contratos es la reinyección de salmueras residuales de los procesos de la EDL. Para la International Lithium Association and Fastmarkets, organismo que congrega a operadores de la minería del litio, la gestión de “grandes volúmenes de salmueras empobrecidas en litio” es un reto ineludible vinculado a una de las principales ventajas de las nuevas tecnologías de explotación: la velocidad de procesamiento de la materia prima y la consiguiente generación intensiva de salmueras residuales (Figura 6) (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

En el numeral 9 del anexo técnico del contrato YLB-Uranium, se menciona la reinyección como un componente de la infraestructura, mientras que en el contrato YLB-CBC no se lo hace. A pesar de dar datos de la demanda estimada

de salmueras y agua dulce, en ninguno se proporciona información de la cantidad de salmueras empobrecidas que se generarían en el desarrollo de los proyectos.

Como se muestra en la Figura 6, el tratamiento y la reinyección de salmueras, entendida como una forma de reciclaje (volver al ciclo), tiene como principal objetivo evitar un desequilibrio hidrogeológico que podría provocar hundimientos, debido a la profundización del nivel freático o nivel superior del agua subterránea, tanto en el salar como en sus alrededores. Este riesgo aumenta significativamente por la intensificación —en velocidad— de la explotación que proponen las tecnologías de EDL. YLB cuenta con instalaciones construidas dentro del salar y el ritmo de explotación previsto en los contratos es intensivo, por lo que el riesgo de inestabilidad estructural no sería un problema menor.

Figura 6 Reinyección y el equilibrio hidrogeológico



Fuente: Adaptado de Zelandes & Summit Nanotech (2024, p. 24).

El riesgo de inestabilidad estructural o asentamientos diferenciales por la sobreexplotación de salmueras fue estudiado en la cuenca hídrica Salinas Grandes, la laguna Guayatayoc y la cuenca hídrica del salar de Olaroz-Cauchari, en Argentina. Como alternativa para evitarla, se sugirieron procesos de explotación con tecnologías de EDL acompañadas de la reinyección de salmueras empobrecidas, para compensar los efectos de la extracción (Sticco et al., 2018). Sin embargo, aún es necesaria más investigación para comprender el sistema hidrogeológico y lograr el mantenimiento de su equilibrio, la viabilidad operacional y la sostenibilidad de la explotación con la EDL (Guillou, 2023).

El ministro de Hidrocarburos y Energía afirmó: "En todo el proceso productivo se utiliza la misma agua, la cual es reciclada y reinyectada una vez completado el ciclo, permitiendo un aprovechamiento altamente eficiente gracias a la tecnología implementada" (Zenteno, 2025). La autoridad gubernamental, aparentemente, se refiere a las salmueras residuales, sin embargo, no fue explícito al respecto. Reconoció que se trata de un ciclo en el que es necesario reciclar y reinyectar, pero en ninguno de los anexos técnicos de los contratos se menciona el término "reciclaje" o similares. YLB hace énfasis en la diferencia entre el agua dulce —"de proceso"— y las salmueras —"materia prima"—, sin considerar la integralidad del sistema hidrogeológico; es decir, la estrecha relación existente entre las aguas saladas del salar y las aguas dulces que lo circundan y fluyen hacia el mismo.

Varias instituciones y organizaciones de la sociedad civil manifestaron su preocupación por los riesgos de la sobreexplotación del agua, el agotamiento de los acuíferos, el riesgo de desequilibrio ambiental e información insuficiente sobre los aspectos operativos y financieros de los proyectos que aplicarían la EDL (Fortún, 2025; Erbol, 2025). El tratamiento, el reciclaje y la reinyección de salmueras empobrecidas debieran recibir una atención especial y multidisciplinaria por no haber precedentes en Bolivia ni existir suficiente información científica acerca de las características hidrogeológicas de la región de los salares bolivianos.

La reinyección de salmueras empobrecidas tiene una complejidad que aún no ha sido resuelta en los proyectos que aplican la EDL, debido a que son imprescindibles estudios científicos minuciosos y elaborados sistemas de monitoreo (Vera et al., 2023a). Dependiendo de la tecnología de EDL, se

puede requerir la incorporación de sistemas de tratamiento previos a la reinyección (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

Otros aspectos importantes que todavía son parte del debate científico sobre la reinyección de salmueras empobrecidas en la explotación de litios son la ubicación de los pozos, su profundidad y el ritmo de bombeo. Todo ello depende de las condiciones ambientales locales, las características geológicas y la dinámica hidrogeológica específica de cada salar. Por tanto, se necesitan estudios previos y rigurosas pruebas de funcionamiento y monitoreo. Es probable que, por esta razón, en el contrato YLB-Uranium, se establece una construcción en diferentes fases (cláusula 5), mientras que, en el de YLB-CBC, se prevé un "periodo de estabilización" (cláusula 7). Lamentablemente, ello implica que el Estado boliviano está evadiendo su responsabilidad con la protección de los ecosistemas de los salares.

Los estudios previos que YLB no publicó deben responder, entre otras, las siguientes preguntas para caracterizar el sistema hidrogeológico y el entorno ambiental del salar: ¿cuáles son las condiciones climáticas y los indicadores meteorológicos específicos del área de explotación? ¿Cuál es el volumen total de los recursos hídricos, subterráneos y superficiales? ¿Cuál es el volumen de salmueras que pueden ser extraídas del salar? ¿Cuál es la oferta de agua dulce subterránea y superficial en la región circundante al salar? ¿Cuál es la dinámica de flujo de las aguas subterráneas (dulces y saladas) hacia el salar y dentro del mismo? ¿Cuál es la hidroquímica de las salmueras y las estructuras geológicas que las almacenan?

La Environmental Protection Agency (EPA, 2024) define la utilidad de un pozo de inyección de la siguiente forma: "An injection well is used to place fluid underground into porous geologic formations. These underground formations may range from deep sandstone or limestone, to a shallow soil layer. Injected fluids may include water, wastewater, brine (salt water), or water mixed with chemicals". [Un pozo de inyección se utiliza para colocar fluido bajo tierra en formaciones geológicas porosas. Estas formaciones subterráneas pueden variar desde arenisca o piedra caliza profunda, hasta una capa de suelo poco profunda. Los fluidos inyectados pueden incluir agua, aguas residuales, salmuera (agua salada) o agua mezclada con productos químicos].

En la normativa de Estados Unidos, se hace énfasis en evitar poner en riesgo una fuente subterránea de agua potable y se incluye una clasificación de los pozos de inyección en función del tipo y la profundidad del diseño (EPA, 2024). En la industria del litio, se usa el término reinyección, porque las salmueras empobrecidas idealmente regresan al salar, con el objetivo de mantener el equilibrio hidrogeológico en la zona de explotación (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

Para evaluar la factibilidad de la reinyección, se deben tener presentes las siguientes condiciones fundamentales (Ramos Gonzalez, s. f.):

- Saber que hay espacio bajo tierra. Que exista una formación permeable capaz de admitir el residuo (permeable y transmisivo).
- Saber que estará aislado. Que exista una formación impermeable que mantiene el residuo confinado el tiempo suficiente hasta su inocuidad.
- Saber que la química es estable. Que las condiciones del residuo y de la formación geológica receptora no cambian con el desarrollo de la operación.
- Saber que no representa peligro de contaminación. Que la operación no pone en riesgo otros recursos más importantes, por ejemplo, el agua dulce y las salmueras crudas mineralizadas.

En la investigación científica que se desarrolla en Chile para la aplicación de tecnologías de EDL, se evalúa la ubicación de los pozos y las condiciones de la reinyección en los salares. Emilio Bunel, experto en investigación aplicada para la explotación del litio, afirma:

El asunto más interesante es tratar de evitar que estas salmueras, que ahora ya no tienen litio, se mezclen con las que sí tienen porque sino se empieza a diluir la materia prima. Por eso, es que la reinyección debe hacerse a presión y a profundidad, de tal manera que no se mezclen. (Guillou, 2023)

Por lo expuesto, otros aspectos críticos a considerar para la reinyección de salmueras empobrecidas en los salares (Ramos Gonzalez, s. f.) son:

- La velocidad de la reinyección y la aptitud que tenga la formación geológica seleccionada, para recibir fluidos inyectados (inyectividad).
- El comportamiento y la compatibilidad geoquímica con el fluido reinyectado (inyectabilidad), para evitar una saturación o bloqueo del proceso.
- La presión de la reinyección, para evitar daños en los límites de las formaciones geológicas seleccionadas como receptoras adecuadas.
- La incorporación de medidas preventivas y de monitoreo en la perforación de los pozos, durante su operación y luego de su cierre.

Estas observaciones son corroboradas en la investigación sobre la mezcla de salmueras en lagos y salares con la explotación



El asunto más interesante es tratar de evitar que estas salmueras, que ahora ya no tienen litio, se mezclen con las que sí tienen porque sino se empieza a diluir la materia prima. Por eso, es que la reinyección debe hacerse a presión y a profundidad, de tal manera que no se mezclen' (Guillou, 2023).

minera, en la que se evidenció que “el estudio de la dinámica hidroquímica de la salmuera y su ley de evolución tiene una significativa importancia científica para la extracción industrial de salmuera, así como para el cálculo y la evaluación de las reservas de recursos” (Kong et al., 2024). En tal sentido, la reinyección no puede ser tomada a la ligera en la perspectiva de su sostenibilidad.

Las salmueras en el salar de Uyuni no son homogéneas en su composición, presentan variaciones en su densidad y su viscosidad está influenciada por los cambios de temperatura. También se debe considerar que existen capas de salmueras separadas por delgadas y densas capas de yeso o arcillas, que limitan los flujos verticales y favorecen los flujos horizontales (Sieland, 2014). Estos y otros aspectos son fundamentales al momento de planificar la reinyección de salmueras empobrecidas.

En la investigación titulada *Quality of wastewater from lithium-bine mining* [Calidad de las aguas residuales de la minería de litio en salares], de la Universidad de Duke de Estados Unidos, se presentan los resultados del análisis químico de las aguas residuales de la extracción de la salmuera de litio en el salar de Uyuni. Las muestras del sitio de explotación incluyeron salmuera natural bombeada desde el subsuelo, salmuera de ocho estanques de evaporación y aguas residuales de la planta de procesamiento de litio. Se detectaron concentraciones de arsénico de 1 a 9 ppm en la salmuera natural y, en el último estanque de la planta piloto de YLB, valores de hasta 50 ppm (Williams y Vengosh, 2025).

¿Qué sucederá con las salmueras residuales en la planta de salmuera residual incluida en el contrato YLB-CBC? ¿Qué precauciones especiales serán adoptadas durante su procesamiento? ¿Qué medidas de tratamiento serán aplicadas para el tratamiento de las salmueras residuales resultantes de los procesos de EDL? Responder estas preguntas es fundamental, si se considera que el valor de referencia para el arsénico en agua potable es de 0,01 ppm (0,01 mg/L) (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, 2004), mientras que el de la sensibilidad de pequeños crustáceos de los que se alimentan los flamencos está alrededor de 8 ppm (Rocha et al., 2021).

Para Williams y Vengosh (2025), el riesgo de bioacumulación en el ecosistema es alto. Esto quiere decir que las piscinas de evaporación son potenciales pasivos ambientales peligrosos que requieren una gestión ambiental especial.

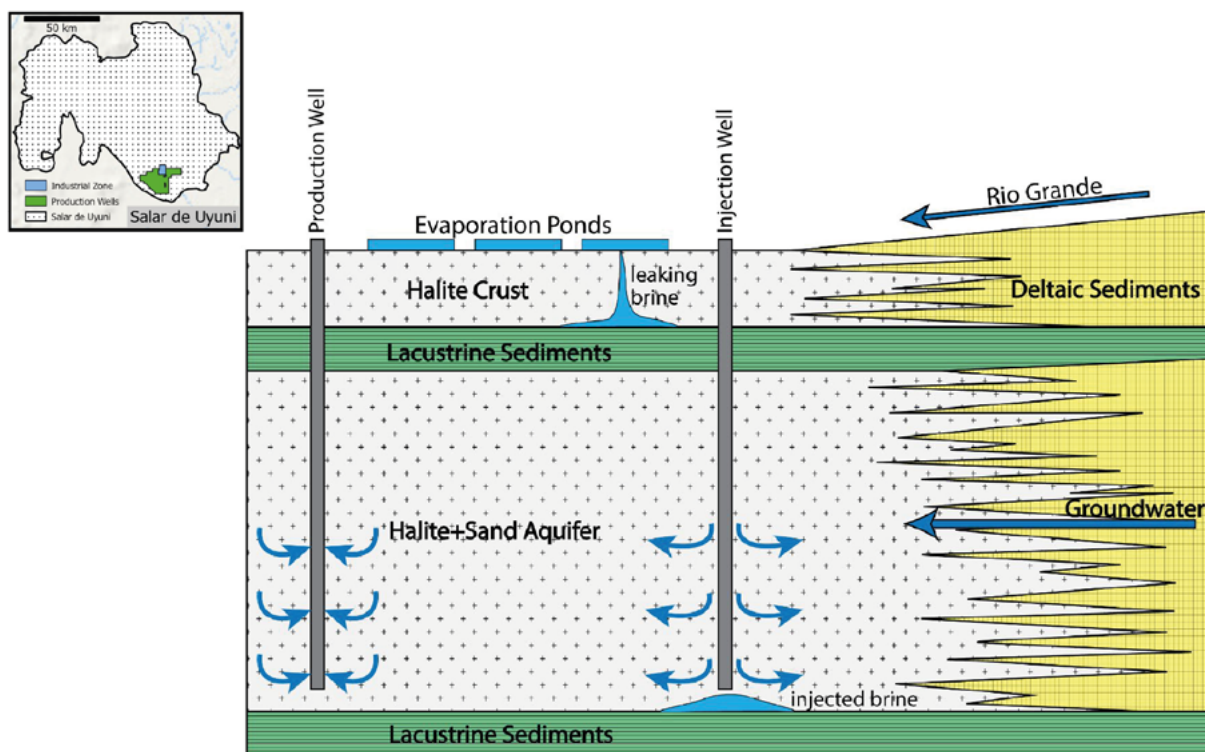
En los apartados 8.1 y 8.2 del anexo técnico para la planta de salmuera residual del contrato YLB-CBC, se presentan datos de la composición de la “salmuera residual fresca”, proveniente de la “última línea de producción” de materia prima de YLB; sin embargo, no se incluyen datos de la concentración de arsénico. Esta omisión es un riesgo que debe tomar en cuenta CBC en la planificación del trabajo con las salmueras residuales. El riesgo puede ser mayor si se llegara a aplicar procesos de reinyección de las salmueras empobrecidas generadas en el proceso de EDL.

Williams y Vengosh (2025) también identificaron los riesgos de la existencia de piscinas de evaporación con altos contenidos de arsénico y su combinación con procesos intensivos de explotación de las salmueras crudas y reinyección de salmueras empobrecidas (Figura 7). Algunos de los riesgos probables son los siguientes:

- El bombeo intensivo (extracción) de salmueras naturales puede aumentar la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, generando inestabilidad estructural en la costra salina y los alrededores.
- Existe el riesgo de fuga de salmueras con altas concentraciones de arsénico de las piscinas de YLB-Evaporítica.
- Si los procesos de reinyección de salmueras empobrecidas se desarrollan cerca de los pozos de explotación, pueden diluir las salmueras naturales y disminuir las concentraciones de litio, como sugiere Bunel haciendo referencia a la experiencia en el salar de Atacama (Guillou, 2023).
- La presión, la concentración y la composición química de las salmueras empobrecidas reinyectadas pueden causar diferentes reacciones físico-químicas con las salmueras naturales y las estructuras salinas existentes a diferentes profundidades en el salar. Ello puede dar lugar a:
 - Pérdida de permeabilidad y saturación de sales de halita, sulfato de calcio (yeso) y calcita, que reduciría las posibilidades de explotación posterior de las salmueras mezcladas.
 - Dilución de materiales de sustento estructural en la profundidad del salar, que aumentaría el riesgo de hundimientos.

Figura 7

Esquema general de la hidrogeología en el área de explotación de salmueras, en el extremo sur del salar de Uyuni



Fuente: Williams y Vengosh (2025).

- La reinyección de salmueras en el contorno del salar puede provocar la contaminación de los acuíferos de agua dulce que se encuentran cerca.

Lo expuesto muestra que en los proyectos de EDL se deberá realizar una investigación detallada de la geología y la hidrogeología de los salares y sus cuencas. Se requiere procesos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) analíticos, integrales y multisectoriales. También

será necesaria una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), por la concentración de varios proyectos. Y, adicionalmente, será indispensable la adopción de medidas preventivas y la aplicación del principio precautorio, para otorgar la mayor cantidad de respaldos científicos que demuestren si es posible evitar daños irreversibles que pongan en riesgo el acceso al agua dulce de las comunidades alrededor de los salares.

Flexibilización de la normativa ambiental

Pese a la significativa importancia del contexto ambiental para evaluar la viabilidad de los proyectos de explotación del litio, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua tuvo un rol circunstancial y poco protagónico, durante los 17 años de intervención estatal en uno de los ecosistemas más frágiles y particulares de la gran diversidad existente en Bolivia. Dicha repartición estatal se caracteriza por un profundo desconocimiento de la complejidad descrita y la falta de iniciativa para elaborar investigaciones a profundidad sobre las características ambientales de la región y las particularidades de cada uno de los salares y las lagunas saladas donde se pretende explotar litio, lo cual demuestra desidia e incumplimiento de sus funciones y atribuciones específicas.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua se asigna varias funciones y atribuciones exclusivas en su Manual de Organización y Funciones. Las primeras 15 fueron establecidas en el artículo 15 del Decreto Supremo 29894 de Estructura Organizativa del Poder Ejecutivo del Estado Plurinacional, de 7 de febrero de 2009, cuando el proyecto piloto de explotación de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni ya estaba en ejecución. Ninguna de esas funciones y atribuciones fue cumplida para el caso del Altiplano Sur y la Puna Andina, y tampoco para el sector de los recursos evaporíticos en los salares y las lagunas saladas. Tomemos como ejemplo la primera:

- a) Formular conjuntamente el Ministerio de Planificación del Desarrollo, el Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Rural y Tierras las políticas de planificación estratégica para el uso sustentable de los recursos naturales, y conservación del medio ambiente articulándolas con los procesos productivos y el desarrollo social y tecnológico, en coordinación con el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, el Ministerio de Minería y Metalurgia y otros que correspondan (artículo 95).

La entidad estatal no elaboró ningún documento oficial de investigación acerca de la complejidad de los sistemas hidrogeológicos de los salares y las lagunas existentes en el Altiplano Sur y la Puna Andina. Tampoco fue parte de alguna publicación, coordinada con los ministerios de Hidrocarburos y Energía o Minería y Metalurgia, respecto del uso sustentable de los recursos naturales o la conservación del medioambiente en relación con los procesos de explotación e industrialización de los recursos evaporíticos. Además, no hizo seguimiento al desarrollo de la EAE en el sudoeste de Potosí (Figura 9), elaborada, en 2011, por el Servicio Nacional de Información Ambiental (SNIA, 2021):

La Evaluación Ambiental Estratégica del "Sudoeste Potosino" es realizada para identificar y evaluar las implicancias socioambientales significativas, los riesgos, las oportunidades y tendencias

por la generación o adopción de Políticas, Planes y Programas (PPP) en la región, así como, suministrar información estratégica preliminar para sustentar la toma de decisiones a partir de escenarios de desarrollo sustentables, en el marco de la equidad de las dimensiones social, económica y ambiental.

En su página web está el informe preliminar: Elaboración de la Evaluación Ambiental Estratégica en el Sudoeste potosino (primera fase), en el que la consultora Ecoviana SRL (2011) —por encargo del Ministerio de Medio Ambiente y Agua— describe una propuesta de planificación para la EAE. En los artículos 7 y 20 del Reglamento de Prevención y Calidad Ambiental (RPCA) (1995), se dispone su realización como un proceso de "evaluación ambiental preventiva de una acción estratégica: una política, un plan o programa".

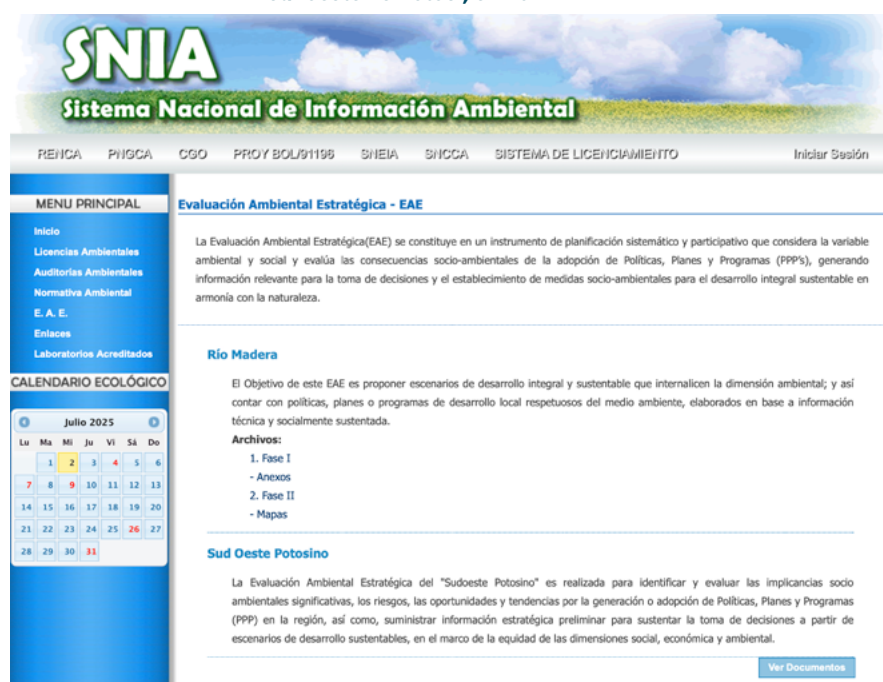
La EAE debió ser solicitada por la Autoridad Ambiental Competente (AAC), cuando en 2010 se presentó la Estrategia Nacional de Industrialización de Recursos Evaporíticos, puesto que "busca garantizar que las consideraciones ambientales se traten en las fases más tempranas del proceso de toma de decisiones, otorgándoles el mismo nivel de relevancia que las otras consideraciones (económicas-sociales-políticas-técnicas)" (subrayado original) (Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente, 2007).

En su momento, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, que conocía del requisito de la EAE, inició su elaboración con Ecoviana SRL. El proceso no tuvo continuidad por razones desconocidas, pero está reportado en el SNIA¹².

En el marco de la poca atención que recibía la estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el 1 de julio de 2024, el Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal

Figura 8

Reporte sobre la Evaluación Ambiental Estratégica en el sudoeste de Potosí, en 2011



Fuente: Página web de SNIA (2021)

emitió la Resolución Administrativa 046/2024. En esta, se aprueba que los procesos de reinyección de salmueras empobrecidas (residuales) sean considerados en la categoría 3 de la Evaluación de Impacto Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2024).

Sin embargo, en la Ley 1333 (1994), en el Reglamento de Prevención y Control Ambiental, artículo 15, el nivel de categoría 3 corresponde a “aquellos que requieran solamente del planteamiento de Medidas de Mitigación y del Plan de Aplicación y Seguimiento Ambiental. Nivel que, por las características ya estudiadas y conocidas de proyectos, obras o actividades, permita definir acciones precisas para evitar o mitigar efectos adversos” (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2021). Además, en el artículo 17 del reglamento, se añade que la categoría 3 corresponde a aquellas actividades, obras o proyectos para las cuales “se determine que sus impactos no sean considerados significativos y requieran de medidas de mitigación precisas, conocidas y fáciles de implementar”.

Figura 9 Resolución Administrativa Viceministerial 046/2024 del Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal



DESARROLLO INTEGRAL DE PLANTAS TRATAMIENTO O APROVECHAMIENTO DE SALMUERA RESIDUAL O EMPOBRECIDA, REMANENTES DE SALES DE PROCESO Y OTROS	PRODUCCIÓN MENOR O IGUAL A 300 TONELADAS/MES	3
REINYECCIÓN DE SALMUERA EMPOBRECIDA AL SALAR	QUE NO CONTENGAN AGENTES QUIMICOS AJENOS A LA COMPOSICION INICIAL DE LA SALMUERA	3

SEGUNDO: Quedan encargadas del cumplimiento de la presente Resolución, las Instancias Ambientales correspondientes: Ministerio de Minería y Metalurgia - Organismo Sectorial Competente (OSC) y la Dirección General de Medio Ambiente y Cambios Climáticos, como brazo operativo del Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal.

TERCERO: La presente Resolución Administrativa entrará en vigencia a partir de su publicación en la página oficial del Sistema Nacional de Información Ambiental – SNIA, pudiendo disponerse además y sin perjuicio de lo anterior su publicación en un medio de prensa de circulación nacional.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2024).

En sí, en la Resolución Administrativa Viceministerial 046/2024, se exige a los operadores de presentar el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EEIA) para desarrollar procesos de reinyección de salmueras, con la excepción de "aquellas que contengan agentes químicos ajenos a la composición inicial de la salmuera" (Figura 8). Estas modificaciones en el marco legal ambiental boliviano revelan un profundo desconocimiento y un mínimo interés por comprender en profundidad la complejidad y la fragilidad de los ecosistemas de los salares. También se ignora que la investigación y protección de las aguas fósiles está establecida como un mandato constitucional:

Art. 374, párrafo III. Las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras son prioritarias para el Estado, que deberá garantizar su conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral; son inalienables, inembargables e imprescriptibles.

Art. 375, párrafo III. Es deber del Estado realizar los estudios para la identificación de aguas fósiles y su consiguiente protección, manejo y aprovechamiento sustentable. (Constitución Política del Estado)

En cambio, la explotación de las aguas subterráneas (saladas y dulces) será intenso (Tabla 5). Los volúmenes y la composición de las salmueras empobrecidas generadas no se reportan en los documentos técnicos de los contratos para aplicar tecnologías de EDL y tampoco se proporcionan detalles sobre la planificación de su gestión como residuos. En la Resolución Administrativa 046/2024, se libera a los operadores de hacer una investigación minuciosa sobre el impacto ambiental de los procesos de tratamiento y reinyección geológica que acompañan a la aplicación de la EDL.

Dada la complejidad de las observaciones a la reinyección de salmueras, las investigaciones no podrán limitarse al entorno de cada uno de los proyectos de explotación, sino que deberán considerar "la sinergia de los impactos ambientales ocasionados en una misma cuenca por el consumo de agua de diferentes proyectos mineros" (Arias Alvarado et al., 2022, p. 224). La sustentabilidad de la minería del litio no puede ser determinada considerando únicamente los aspectos técnicos y operativos, es necesario incluir una visión holística, interdisciplinaria e integrada (Díaz Paz et al., 2021). Ello resalta la importancia de la EAE, cuando se pretende que el proyecto evaporí-

tico de YLB, el de YLB-Uranium y los de YLB-CBC se emplacen en menos de 220 km² o el 1,8% de la superficie del salar de Uyuni, como declaran las autoridades del gobierno (El Diario, 2025).

Por último, la elaboración de legislación específica, como la esperada ley del litio, es un pendiente, desde la primera propuesta realizada en 2023. Ese año, también se presentaron otras, en las que se mencionan temas ambientales más allá de la formalidad y se hace énfasis en la participación de los actores locales en la toma de decisiones estratégicas (Centro de Documentación e Información Bolivia, 2023). También existe un proyecto de ley socializado por el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, en 2024; sin embargo, en la actual legislatura, son pocas las posibilidades de desarrollar procesos de consulta para lograr una versión consensuada.

¿Cuál es la experiencia con tecnologías de Extracción Directa de Litio en América del Sur?

La empresa Livent anunció ampliaciones de su capacidad productiva en el salar del Hombre Muerto, en Catamarca, Argentina, pero también reconoció que "el proceso de extracción directa de litio de Livent en el salar del Hombre Muerto utiliza más agua dulce que los procesos convencionales basados en estanques de evaporación utilizados por SQM, Allkem y otros" (Rebossio, 2024).

Las comunidades aledañas demandaron, en 2021, a la compañía por la pérdida de las fuentes de agua dulce de las que se abastecían y con las que se regaban los bofedales de los ríos Trapiche y Los Patos. Los peritajes ordenados por la Corte Suprema de Justicia de la Provincia de Catamarca mostraron que el impacto ambiental era severo y ameritaba una investigación y una evaluación especializadas. Así, en marzo de 2024, dictaminó la paralización de nuevas autorizaciones de uso de agua para proyectos mineros hasta que se haga un estudio del impacto ambiental acumulativo e integral en toda la cuenca (Página 12, 2024).

Adicionalmente, en América del Sur aún no se tiene experiencia en la reinyección a gran escala de salmueras residuales producidas en los procesos de la EDL. Este es un aspecto crítico, puesto que, al considerar la intensidad de la explotación y el procesamiento acelerado, la reinyección se convierte en un componente obligatorio para evitar alteraciones significativas en la dinámica hidrogeológica local (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

En el salar de Hombre Muerto no se aplicó la reinyección directa, sino más bien se instaló una laguna de evaporación e infiltración. No existe aún experiencia de la reinyección de salmueras, y ello, muy probablemente, está relacionado con la complejidad de su planificación. El estudio de impacto ambiental acumulativo e integral, ordenado por la Corte Suprema de Catamarca, será un verdadero reto interdisciplinario y proporcionará información valiosa sobre la viabilidad de la EDL, desde el punto de vista de su impacto ambiental y el grado de alteración del sistema hidrogeológico.

En Chile, las dos empresas con mayor experiencia en la explotación del litio de salmueras en el mundo afirmaron que llevan varios años "trabajando en el desarrollo de tecnologías de extracción directa" (Montoya, 2024). SQM tiene previsto desarrollar experiencias de escala industrial, entre 2025 y 2029, "dependiendo del éxito relativo que logren las pruebas piloto, la evaluación de factibilidad y un responsable y exhaustivo análisis medioambiental" (Guillou, 2023).

Por su parte, Albemarle, que cuenta con un plan para la aplicación de tecnologías de EDL, denominado Nueva Era del Litio, no proporcionó las fechas objetivo, pero admitió que "entre los desafíos está no solo la efectividad y factibilidad técnica, sino también la sostenibilidad del yacimiento" (Guillou, 2023). La compañía también sostuvo que es la pionera en la investigación para la reinyección de salmueras, sin embargo, "el proceso se encuentra en una fase piloto, explorando la viabilidad operacional y ambiental de la reinyección en un ambiente salino" (Recabarren Ortiz, 2023).

Zelandes & Summit Nanotech (2024), en sus investigaciones, destacan la importancia de la permeabilidad¹³ de las salmueras en los procesos de reinyección. Pruebas de reinyección en los salares de Atacama y Maricunga, en Chile, muestran que las condiciones para este proceso son más complejas en el segundo caso, que tiene características similares a varios salares de Argentina y Bolivia.

Las empresas también plantean un conjunto de "buenas prácticas" que revelan la complejidad de los procesos de reinyección de salmueras (Figura 9). Según su propuesta, en la que consideran que la reinyección es un "reciclaje", un primer paso es el conocimiento profundo e integral del salar y la elaboración de un modelo hidrogeológico. Aspectos como la descripción detallada de los

acuíferos para determinar su extensión lateral y las barreras de permeabilidad vertical, además de la definición de las variaciones geoquímicas, son esenciales para la planificación.

Un segundo paso implica conocer la conformación de la cuenca, identificando las áreas de recarga, las fuentes de agua, las fuentes de sedimentos, los márgenes y las zonas de encuentro entre agua dulce, salobre y salmuera. Todo esto debe completarse con un modelo basado en los datos de los pozos de exploración (muestras y análisis de laboratorio) y pruebas de bombeo, o modelo numérico, de allí su complejidad y alto costo. Con la modelación de las formaciones subterráneas y los flujos de agua en el sistema, se pretende determinar las interacciones e interconexiones existentes entre los componentes de la cuenca y las condiciones meteorológicas.

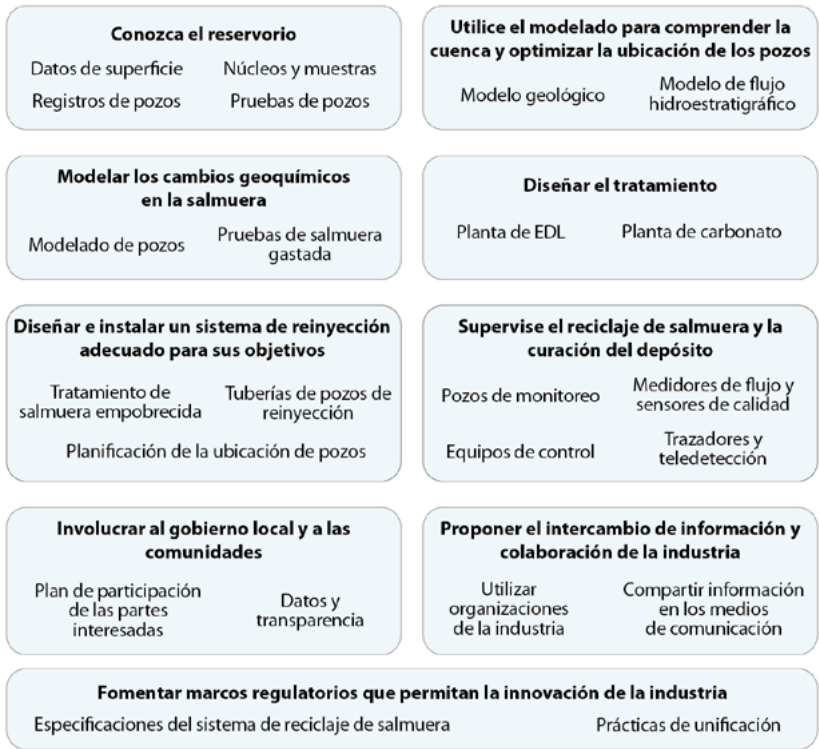
Tomando en cuenta que cada salar, en sus diferentes partes y niveles de profundidad, posee características particulares en la composición de las salmueras, es preciso identificar las reacciones químicas posibles con las salmueras empobrecidas. Ello requiere observaciones detalladas, toma de muestras y pruebas de laboratorio para buscar la compatibilidad y así evitar interacciones no deseadas durante la reinyección (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

Zelandes & Summit Nanotech (2024) también afirman que la interacción entre las instalaciones de la EDL y las de procesamiento y purificación del producto final (carbonatación), el diseño de los procesos y el tipo de tecnología de EDL determinarán los volúmenes, la composición y otras características químicas de las salmueras empobrecidas. Además, definirán el tipo de tratamiento necesario para lograr la compatibilidad con las salmueras naturales.

La planificación de las perforaciones, la adecuada instalación de las tuberías y los pozos requieren una evaluación exhaustiva y una minuciosa selección de materiales y equipos de alta resistencia. Los modelos hidrogeológicos son fundamentales para definir las ubicaciones de los pozos de reinyección respecto de los de explotación. Los cuidados de planificación y la evaluación de los impactos deberán observarse de forma permanente si se tienen varios proyectos concentrados en una misma área de explotación/reinyección, como es el caso de los proyectos que pretende iniciar YLB en el salar de Uyuni (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

Figura 9

Recomendaciones para la reinyección de salmueras



Fuente: Adaptado de Zelandes & Summit Nanotech (2024).

Según Zelandes & Summit Nanotech (2024), la reinyección puede producir interacciones químicas no previstas y, por tanto, es preciso monitorear el estado del salar, mediante pozos de observación equipados con sensores para la recopilación de datos del flujo y la calidad, para guiar ajustes, emitir alertas y elaborar informes de seguimiento. Paralelamente, equipos de control deben permitir la respuesta inmediata para la regulación de acuerdo con los objetivos.

Los modelos hidrogeológicos muestran los flujos naturales de las aguas dentro del salar y son importantes para monitorear que los mismos no sean alterados significativamente. Para ello, se prevé el uso de “trazadores inertes” o sustancias que envíen señales para verificar los movimientos de los fluidos, las condiciones de permeabilidad y otros indicadores del sistema hidrogeológico. Todas las actividades de monitoreo deben estar garantizadas a largo plazo, a través de un plan de mantenimiento, un sistema de registro de riesgos y un conjunto de medidas de emergencia que eviten impactos ambientales negativos (Zelandes & Summit Nanotech, 2024).

Con el objetivo de garantizar la viabilidad y la sostenibilidad de un proyecto de explotación del litio, Zelandes & Summit Nanotech (2024) consideran fundamental el desarrollo de una planificación integral que viabilice la participación de las partes interesadas en el entorno de los salares. Proponen identificar las preocupaciones locales, establecer mecanismos de información efectivos y comunicar de forma transparente los planes de los proyectos, proporcionando información sobre la gestión de los acuíferos y los resultados de los procesos de reinyección.



Los modelos hidrogeológicos muestran los flujos naturales de las aguas dentro del salar y son importantes para monitorear que los mismos no sean alterados significativamente. Para ello, se prevé el uso de “trazadores inertes” o sustancias que envíen señales para verificar los movimientos de los fluidos, las condiciones de permeabilidad y otros indicadores del sistema hidrogeológico.

Estas actividades tienen el fin de evitar que la reinyección de salmueras empobrecidas sea vista como una amenaza. Para ello, las compañías sostienen que es esencial el apoyo entre empresas para mejorar las prácticas de reinyección y la interacción proactiva con los medios de comunicación y las partes interesadas. Un aspecto fundamental en su propuesta es ser transparentes desde el principio de la intervención.

Lamentablemente, YLB no conocía las recomendaciones de Zelandes & Summit Nanotech y pretendió iniciar un proceso de socialización, cuando ya estaban firmados los contratos con Uranium One Group y Hong Kong CBC. La empresa estatal heredó y acumuló 17 años de mucha propaganda y poca transparencia, al tiempo que aún se empeña en evitar la consulta previa libre e informada a los pueblos indígenas que circundan los salares bolivianos.

Zelandes & Summit Nanotech (2024), además, hacen sugerencias relacionadas con el desarrollo de una normativa técnica "práctica y flexible" específica para la reinyección de salmueras, tomando en cuenta parámetros clave, por ejemplo, el espacio vacío de reemplazo, la ubicación de pozos, la limitación de tasas de extracción/reinyección, el establecimiento de barreras, la compatibilidad geoquímica y el monitoreo de la presión y el flujo. También recomiendan tener presentes temas como el cruce de impactos limítrofes de la reinyección en

salares en los que existen varias operaciones de explotación del litio, considerando la unificación de las actividades de modelación periódica del flujo de salmueras y las conciliaciones periódicas sobre la base de los registros de bombeo.

Conociendo la laxitud con la que YLB y otras instituciones estatales bolivianas abordan los aspectos técnico-científicos relacionados con la explotación del litio, no se puede esperar que apliquen en Bolivia las recomendaciones de Zelandes & Summit Nanotech sobre la reinyección de salmueras. Prueba de ello es la absurda simplificación que se hizo en la Resolución 046/2024 respecto de un tema tan complejo.

Como puede constatarse, la experiencia en la explotación del litio, a partir de las salmueras con tecnologías de EDL en América del Sur, tiene aún un largo camino por recorrer. Mientras la información y el conocimiento científico estén en manos de las empresas, todas las dudas de las comunidades y las preguntas de las organizaciones de la sociedad civil serán consideradas "tergiversaciones maliciosas". Mientras los Estados no tomen en serio su rol de regulación, control y vigilancia de los procesos de explotación minera y prioricen la protección de las poblaciones en sus territorios, no serán capaces de generar las condiciones para la investigación científica que permita evaluar con objetividad la conveniencia o no de la explotación del litio de salmueras.

Pruebas y modelación de los procesos de reinyección de salmueras

En el salar de Atacama, en 25 años, el nivel de las salmueras bajó 1 m en el bloque oriental y 10 m en el occidental, como resultado de la actividad de varios pozos de explotación en un área de 25 km². Las modelaciones realizadas en Atacama muestran que las partículas pueden desplazarse hasta 2,5 km, desde su posición inicial hasta los pozos de explotación, y alejarse 3,5 km, desde los pozos de reinyección, debido, fundamentalmente, a una permeabilidad poco usual en los salares andinos. También se verificó que la disminución de los niveles freáticos en al menos 5 cm puede extenderse hasta 28 km y que los pozos de reinyección pueden aumentar los niveles de la salmuera y actuar como barrera que limita el efecto del incremento de la profundidad del agua subterránea (abatimiento) (Zelandes & Summit Nanotech, 2024, p. 65-66).

Zelandes & Summit Nanotech (2024) reportan que el salar de Maricunga tiene características representativas de otros salares sudamericanos, por ser un sistema que incluye reservorios de salmueras y una laguna salobre contigua, además de valores de menor permeabilidad que las existentes en el salar de Atacama. En este caso, una menor permeabilidad obliga a la perforación de mayor número de pozos de reinyección. Las modelaciones muestran que las partículas pueden desplazarse hasta 330 m, desde su posición inicial hasta los pozos de explotación, y alejarse 250 m, desde los pozos de reinyección; todo se desplaza más lentamente.

La experiencia colectiva de la defensa de las aguas fósiles

La identificación de la necesidad de proteger las aguas fósiles en el sudoeste de Potosí no es nueva. El gobierno boliviano no consideró los riesgos y las recomendaciones que la Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Altiplano Sud (FRUTCAS) planteó, en 2011, cuando el proyecto estatal de industrialización del litio ya estaba en marcha.

Riesgos y recomendaciones relacionados con la defensa de las aguas fósiles en el Altiplano Sur de Bolivia	
Riesgos	Recomendaciones
– Alto riesgo de sobreexplotación al tratarse de sistemas hidrogeológicos fósiles, formados hace miles de años y donde la recarga por las lluvias y nevadas “es casi nula”. – La conexión hidrogeológica entre aguas superficiales y los acuíferos superficiales y profundos genera una dinámica que puede ser alterada significativamente por la explotación intensiva en cualquiera de sus componentes. – La poca información básica sobre el sistema hidrogeológico es una limitación importante para el dimensionamiento correcto de los riesgos. – El seguimiento de los impactos es limitado al no existir sistemas de monitoreo de los niveles piezométricos (profundidad a la que se encuentra el agua subterránea) y la producción de pozos y vertientes. – Explotaciones intensivas de largo plazo afectarán a todo el sistema hidrogeológico regional. – La calidad de la información de los Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental es fundamental para el monitoreo de la calidad del agua.	– Establecer un grupo de apoyo técnico independiente que ayude a integrar e interpretar la información hidrogeológica disponible. – Recolectar información sobre los volúmenes disponibles y la calidad del agua (subterránea y superficial) en toda la región y, particularmente, en los salares y lagunas saladas. – Desarrollar una extensa red de monitoreo de pozos y piezómetros para determinar la disminución real de la extensión vertical y lateral de los niveles de agua. – Desarrollar una base de datos de los niveles del agua (preoperacionales), las ubicaciones de las fuentes y la química de las aguas usando datos confiables. – Monitoreo de pozos ubicados pendiente debajo de las áreas de almacenamiento de desechos. – Hacer cumplir la Constitución con respecto a la protección de los recursos hídricos, estableciendo límites a la extracción y garantizando su sostenibilidad a largo plazo. – Elaborar regulación específica para el seguimiento, la verificación y la transparencia con relación a los datos sobre los usos del agua en la región.

Fuente: Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Altiplano Sud y otros autores (2012).

Pese a las recomendaciones de las comunidades del sudoeste de Potosí, la información hidrogeológica y las herramientas de monitoreo necesarios para comprender con mayor precisión el sistema y sus vulnerabilidades no es pública o no fue desarrollada de forma suficiente como para descartar científicamente los riesgos.

Conclusiones

Los tres gobiernos de Evo Morales Ayma establecieron en Bolivia la ilusión de la “industrialización de los recursos evaporíticos”, tomando al litio como el mineral que iluminaría el camino hacia la abundancia económica. Entre 2008 y 2019, se lo explotó, a través del método evaporítico, en el icónico salar de Uyuni, el más grande y vigilante silencioso de la mayor cantidad de recursos de litio del mundo (21 millones de toneladas).

Intentando emular el ritmo de explotación del litio en el salar de Atacama, en Chile, el gobierno boliviano, consciente de las diferencias entre los salares mencionados, decidió “meterle nomás”. Desoyó las recomendaciones del Comité Científico, que colaboró en el inicio del proyecto y no logró impulsar la investigación científica, consolidar la infraestructura, articular a los actores locales e institucionales y formar capacidades humanas suficientes. Mucha propaganda, poca transparencia y una arraigada ilusión dejaron pasar el tiempo hasta que confluyeron las evidencias de una anunciada crisis económica y política, y una pandemia mundial, logrando exactamente lo contrario de lo esperado: mendigar la aprobación de contratos para que las empresas extranjeras pongan el capital, la investigación científica, la tecnología y el personal especializado para controlar los yacimientos de litio bolivianos.

Sin orientación científica —en un sector de la minería moderna que está en pleno desarrollo tecnológico—, se hizo evidente que la tecnología evaporítica es absolutamente ineficiente y poco competitiva en el salar de Uyuni. En 2021, el gobierno del presidente Arce Catacora lo sabía y guardó silencio. Decidió apostar por las tecnologías de EDL y, por ello, convocó de manera internacional a empresas que puedan desarrollar proyectos de explotación de litio con las salmueras bolivianas. Mientras utilizaba una efectiva propaganda para mantener el espejismo y organizaba la inauguración de la “planta industrial” que coronaría la infraestructura evaporítica, las piscinas de evaporación se deterioraban silenciosa e irremediablemente.

Luego sucedió lo de los convenios del litio, acuerdos no públicos que destilaban promesas a cuenta gotas: inversiones directas, menor consumo de agua dulce, mayor velocidad de procesamiento —de meses a horas—, mayor eficiencia en el uso de la materia prima, más de 100.000 toneladas de producción inmediata y, por supuesto, el edulcorante del “modelo soberano”. Lo cierto es que estaban haciendo prospección y evaluaciones de factibilidad técnica. La honestidad se la debemos a la ingeniera Karla Calderón. Qué difícil debe ser diseñar un proyecto de EDL en salares únicos, sin información hidrogeológica detallada, sin reservas certificadas y sin un marco legal claro; eran comprensibles las demoras.

Para 2024, se lanzó una convocatoria más amplia, más salares, todos los recursos evaporíticos y una gira promocional, aprovechando la afección mundial por el litio y otros minerales críticos. Después se confirmó el fracaso del sistema evaporítico y se reveló la existencia de un grave daño económico al Estado, por la deficiente construcción y gestión de las piscinas de evaporación. La baja producción de materia prima llevó a la recién inaugurada Planta de Carbonato de Litio de capacidad industrial a trabajar con apenas el 9,8% de su capacidad.

Era necesario inventar una salida creativa y “meterle nomás”... Otra vez. Como, según la normativa boliviana, las empresas extranjeras no pueden participar de la explotación y el procesamiento de materia prima, inventaron contratos poco usuales que escondían: inversión que también es deuda, servicios de operación y mantenimiento, estudios complementarios, tecnologías de EDL no especificadas, periodo de estabilización, costos recuperables, licencia de servicios técnicos,

estudios de factibilidad y evaluación del impacto ambiental posteriores, derecho preferente de compra, salmuera residual fresca, pago en especie, precios del carbonato de litio doblados o triplicados, falta de estándares técnicos, omisión de responsabilidades constitucionales y ausencia de la consulta previa libre e informada a los pueblos indígenas.

Como los contratos se hicieron públicos al ser entregados a los diputados y a los senadores, para su aprobación en la Asamblea Legislativa, estos se difundieron y más de uno se manifestó en contra, multiplicando rápidamente las preguntas y los argumentos de rechazo. El gobierno respondió promoviendo un improvisado proceso de socialización; sin embargo, no fue difícil identificar las siguientes certezas: una abrumadora demanda de agua, un sistemático desconocimiento de los derechos de los pueblos indígenas, falta de información técnica completa y un evidente abandono del “modelo soberano”.

La demanda de agua de los proyectos de litio que pretende desarrollar YLB en el extremo sur del salar de Uyuni es de 47,5 Mm³/año (1.505,5 L/s). Esta zona se caracteriza por ser la cuenca con los menores valores de precipitación en el país (197 mm): el 98% del agua de lluvia se evapora y la cantidad de agua por unidad de superficie es de apenas 0,2 L/s/km²; es decir, es la cuenca más seca de todo Bolivia. Además, la empresa estatal reconoció que los estudios hidrogeológicos se completarían luego de la aprobación de los contratos, mostrando abiertamente que no cuenta con información propia, se destaca, particularmente, la falta de un estudio hidrogeológico integral.

Aspectos menos visibles y otros que surgieron de las respuestas de las autoridades bolivianas llevaron a considerar el contexto geográfico ambiental en el que se pretenden concentrar tres proyectos de explotación del litio. Son menos de 220 km² y no se tomó la previsión de realizar una EAE, en la que se aborde el riesgo de acumulación y sinergia de los impactos ambientales y las interferencias mutuas en las operaciones de extracción de las salmueras naturales y la reinyección de las salmueras empobrecidas.

Es importante hacer notar que la región del Altiplano Sur y la Puna Andina Sudamericana tienden a perder entre el 36 y el 71% de las precipitaciones en este siglo. El calentamiento global está acelerando los procesos de desertización, precisamente en la región en la que se encuentran los yacimientos de litio

de salmueras más grandes del mundo. La recomendación es clara: antes que pensar en explotar el litio, habría que definir estrategias adaptativas que garanticen el acceso suficiente y equitativo al agua en un futuro de escasez.

En el mismo sentido, la preocupación por el agua permite profundizar en la complejidad del ciclo hídrico en los alrededores de los salares. La estrecha relación entre las lagunas, los bofedales y los salares revela que las aguas subterráneas, incluyendo las salmueras del salar, mantienen un equilibrio que regula la humedad en ecosistemas extremos, en los que existe una biodiversidad importante y de valor endémico. Ello refuerza la necesidad de mayor investigación que posibilite identificar la viabilidad de la explotación del litio, desde la perspectiva de la sobrevivencia de las comunidades que rodean los salares.

Los altos valores de demanda de agua de los proyectos del litio llaman poderosamente la atención, porque fueron calculados con base en la perspectiva de que tanto las salmueras como las aguas dulces y las aguas tratadas son parte del sistema hidrológico o ciclo hídrico. Así como el agua de mar se incluye en los balances hídricos, pese a que no es potable, las salmueras y las aguas desaladas deben ser consideradas parte de los complejos flujos del agua subterránea de los salares. Este aspecto

tiene implicaciones que deberán ser abordadas cuando se debata seriamente una ley del litio.

En medio de la búsqueda de respuestas acerca de los riesgos de la explotación del litio, surgieron datos importantes relacionados con las ventajas y las desventajas de las tecnologías de EDL. Por ejemplo, se confirmó que el costo de inversión inicial es tan alto como el de la tecnología evaporítica y que su consumo de energía y los costos operativos son mayores. También que, al no contar con tecnologías propias, Bolivia es vulnerable a tener que pagar altos costos por su uso: "Licencia de Servicios Técnicos". Las inversiones en investigación, desarrollo científico e innovación tecnológica suelen demandar décadas para lograr resultados importantes. El país perdió 17 años en decisiones políticas erradas, improvisación y abundante propaganda entorno al litio.

Igualmente, en el análisis de la demanda de agua registrada en los contratos firmados por YLB, se confirmó que las tecnologías de EDL, no reducen los requerimientos de agua dulce respecto de la tecnología evaporítica. Uranium declaró volúmenes similares a YLB-Evaporítica y CBC los cuadruplicó. Todos los proyectos necesitarían 7,6 Mm³/año o 250 L/s. Se verificó, además, que los criterios de selección de las empresas que propusieron tecnologías de EDL



no fueron estrictos con el aspecto de mayor relevancia para las comunidades que podrían ser afectadas por la explotación del litio.

Los datos de la demanda de salmueras relacionados con la eficiencia de recuperación del litio de las tecnologías de EDL constatan que el método evaporítico aplicado por YLB utiliza 20,9 Mm³/año, el 46,7% del total, para producir el 23% del carbonato de litio esperado. Por ello, cuando se consideran las demandas de los proyectos que pretenden desarrollarse en el salar de Uyuni, se superan todas las proyecciones. Ello confirma que el asesoramiento científico oportuno y libre de distorsiones políticas es fundamental para evitar fracasos tan estrepitosos como la experiencia evaporítica boliviana. YLB-Evaporítica consume, entre aguas dulces y salmueras, el doble que el proyecto Sales de Jujuy (salar de Olaroz, Argentina) y ocho veces más que SQM (salar de Atacama, Chile), por tonelada de carbonato de litio producida.

Otro aspecto que llama la atención es que la demanda de salmueras de las tecnologías de EDL por tonelada de carbonato de litio procesada, propuestas en los contratos, es de 285,1 m³ casi seis veces más que el factor de consumo de los proyectos evaporíticos del salar de Atacama (65,6 m³/t LCE). Esto a pesar de que, con la EDL, se prometen mejores rendimientos en la recuperación del litio de salmueras. Entonces, ¿estamos dispuestos a aplicar una estrategia de aumento de escala aprovechando que tenemos el salar más extenso? Otra vez la falta de reservas certificadas sería una limitante para considerar el caso, pero ¿estamos dispuestos a extender el impacto ambiental de la explotación del litio en medio de tanta incertidumbre?

Si se comparan los factores de consumo total de agua de los proyectos de EDL de CBC (planta de salmuera cruda), 549,81 m³/t LCE, y Uranium, 740,07 m³/t LCE, con el Proyecto Fénix, 69 m³/t LCE, que opera en el salar del Hombre Muerto, Catamarca, Argentina, se verifica que las diferencias son significativas. Esto demuestra que hay tecnologías de EDL que utilizan menos agua. Pese a ello, Fénix es responsable de un importante daño ambiental por haber secado el humedal El Trapiche y perjudicado a varias comunidades indígenas que lo aprovechaban como fuente de agua y zona de pastoreo.

Al comparar la minería del litio con la convencional, en su versión más intensiva —cielo abierto, caso Minera San Cristóbal—, se constata que la demanda total de agua de la primera,

47,5 Mm³/año, cuadruplica la de la segunda, 11,4 Mm³/año. YLB-Evaporítica, Uranium y CBC, de consolidar sus respectivos proyectos de explotación del litio, representarán un cambio significativo en el ciclo hídrico de la región más árida de Bolivia, ya que demandan más agua que la Minera San Cristóbal, la cuarta mina a cielo abierto de zinc más grande del mundo.

La explotación del litio en los países vecinos tiene algunos aspectos en común. El primero es el limitado desarrollo normativo y la aplicación de legislaciones de minería convencional a una forma de explotación diferente, como es la del litio. El segundo es que, en Chile y Argentina, también se están planificando proyectos de EDL; sus experiencias muestran que se trata de un tema de alta complejidad y que requiere de la participación de varias instituciones. Quizás parte del fracaso de YLB, en este sentido, se explica porque desempeñó un rol solitario impulsando la “industrialización del litio”, sin articular de forma efectiva, al menos, a otras instancias del gobierno.

Un aspecto que representa un reto regional es el impacto de la explotación intensiva de salmueras en los sistemas hidrogeológicos y la complejidad de aplicar la reinyección de salmueras residuales o empobrecidas en los mismos salares, sin generar impactos negativos significativos. En Chile, las empresas siguen estudiando los procesos de reinyección de salmueras, desde 2022, con cierta vigilancia de las autoridades. En Argentina, aún se habla de las ventajas de las tecnologías de EDL, su eficiencia y velocidad, pero no así de las implicaciones de la rápida generación de las salmueras empobrecidas, cuya gestión aún es un reto pendiente.

Ya se conocen los efectos de la minería del litio en el acceso al agua dulce por parte de las comunidades que circundan el salar de Atacama: el agua subterránea se fue 10 m al fondo en 15 años. Además, el salar se hunde 2 cm por año, por la explotación continua de sus salmueras. Ahora, con las promesas de pasar de meses a horas en la explotación, la incertidumbre sobre la EDL en la región aumenta, mientras que los gobiernos nacionales y subnacionales no parecen tener información suficiente ni conciencia de los graves riesgos que implica.

En Bolivia, solamente el 5,5% de la demanda total de agua de YLB-Evaporítica fue agua dulce. Los proyectos de EDL planificaron porcentajes altos de consumo de agua dulce respecto del total: Uranium, 11,4%; CBC de pozo, 32,4%, y

CBC residual, 67,3%. Mientras que el Proyecto Fénix reportó que, en 2021, su demanda de agua dulce en relación con el total fue del 66%. La EDL muestra ser efectiva y eficaz para recuperar el litio, pero su demanda de agua dulce para purificarlo en alguna de las formas de carbonato de litio equivalente es excesiva para los contextos semidesérticos del Altiplano Sur y la Puna Andina.

El rápido procesamiento que promete la EDL es solamente eso: una promesa. Fénix demoró 24 años desde que empezó con una planta piloto, en 1998. En 2022, procesó 22.000 t/año de carbonato de litio. Para ello también hubo varios cambios en la organización empresarial, iniciado con FMC, luego con Livent y, por último, con Arcadium Lithium. En Bolivia, en el contrato con Uranium, se prevén varias fases para alcanzar una capacidad de 14.000 t/año, tres años al menos. Mientras que CBC fue menos optimista, puesto que ha considerado seis años para lograr los máximos objetivos de procesamiento, entre diseño, construcción y un “periodo de estabilización”. Aunque la prisa por aprobar los contratos motivaba las declaraciones de las autoridades bolivianas, terminó quedando claro que los tiempos del litio no son los tiempos de la política.

En este sentido, la experiencia boliviana acerca del litio contribuye a la sudamericana al mostrar qué es lo que se debe evitar, desde la perspectiva de las instituciones responsables de la protección ambiental. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua es modelo de un sistema perverso de gestión ambiental que facilita los permisos ambientales, a través de evaluaciones ambientales sobre las que no existe un control de calidad independiente, y que, además, son encargadas a consultoras contratadas por los promotores de los proyectos de explotación.

El rol servil del gobierno boliviano ante el capital extranjero llegó al punto de paralizar el proceso de la EAE de alcance regional. El Estado boliviano también se convierte así en instrumento para limitar los procesos de la consulta previa libre e informada a los pueblos indígenas que habitan las zonas en las que se encuentra gran parte de los salares de Bolivia. Como corolario,

actúa de oficio para flexibilizar la normativa ambiental y facilitar, sin criterio científico alguno, la reinyección de salmueras empobrecidas sin necesidad de estudios de EIA.

Gracias a esta reseña de la experiencia boliviana con la extracción directa del litio, queda en la mesa del debate, y especialmente en la de la investigación científica, la complejidad de la planificación y los riesgos ambientales de la reinyección de salmueras empobrecidas. El tema es actualmente central para International Lithium Association and Fastmarkets y, al mismo tiempo, es el centro de la investigación hidrogeológica aplicada a la minería del litio en salmueras. Cabe resaltar que ya se reconoce que la reinyección de salmueras empobrecidas es un procedimiento que proporciona sostenibilidad a las expectativas de la explotación intensiva que proponen las tecnologías de EDL. Sin embargo, implica riesgos muy propios que van más allá de una buena investigación y planificación de la gestión hidrogeológica.

El estudio de Williams y Vengosh (2025), realizado en el salar de Uyuni, reveló que los procesos de concentración de salmueras en las piscinas de evaporación pueden concentrar otros elementos además del litio; en el caso boliviano, arsénico. De esa manera, parte de las infraestructuras se convertirían en potenciales pasivos ambientales peligrosos. Los autores también profundizaron en la geoquímica de la reinyección de salmueras y verificaron que los mayores temores y previsiones sobre la misma son absolutamente comprensibles. La reinyección de salmueras empobrecidas en los salares y su mezcla con salmueras naturales pueden desencadenar un conjunto complejo de reacciones químicas aún imprevisibles, capaces de desestabilizar todo el sistema de los acuíferos de salmueras o inclusive inviabilizar su posterior explotación minera. Las recomendaciones de Zelandes & Summit Nanotech (2024) sobre los estudios, los equipos y las metodologías que permitirían su aplicación efectiva quedan como tímidas sugerencias respecto de los procesos geoquímicos, cuya complejidad apenas se está vislumbrando.

Notas

- 1 Tecnología evaporítica. El primer paso es el bombeo de salmuera desde depósitos subterráneos. Las salmueras se vierten en grandes piletas poco profundas al aire libre, donde más del 90% del contenido de agua original se pierde por la evaporación acelerada, la radiación solar y el viento (Vera et al., 2023b). En el caso boliviano, se añade hidróxido de calcio en las primeras piscinas, obteniendo, al final del paso por una serie de piscinas, una salmuera con altas concentraciones de sulfato de litio y otros elementos químicos. El sulfato de litio se procesa para obtener carbonato de litio.
- 2 Daño económico al Estado. En términos jurídicos, se define como la lesión o el perjuicio económico que sufre el Estado por la acción u omisión de una persona, que produce una disminución en el patrimonio del Estado o en la riqueza pública. La Ley 1390 de Fortalecimiento para la Lucha Contra la Corrupción (2021), artículo 4, inciso 5, define: "Grave Daño Económico. Es la afectación económica ocasionada al Estado, cuyo detrimento sea igual o superior a Bs. 7.000.000.- (Siete Millones 00/100 Bolivianos), o cuando la afectación sea producida por la Máxima Autoridad Ejecutiva o ex Máxima Autoridad Ejecutiva de una Entidad o Empresa Pública".
- 3 Revisar la cláusula 2, antecedentes y marco normativo del Contrato de Servicios para la Producción de Carbonato de Litio en el Salar de Uyuni (YLB y Hong Kong CBC).
- 4 Revisar la cláusula 5 y plazo del Contrato de Servicios para la Producción de Carbonato de Litio en el Salar de Uyuni (YLB y Hong Kong CBC).
- 5 En la cláusula segunda (antecedentes y marco normativo) del contrato YLB-Uranium, los costos recuperables están definidos de la siguiente forma: "Significa todos los costos incurridos y reportados por Uranium, incluyendo Actividades, Equipos, Materiales, Estudios Complementarios, Estudios de Factibilidad y Obras, en el marco del presupuesto de la construcción de la Planta".
- 6 Czaplicki (2025), Fundación Solón (2025) y Zaratti (2025a).
- 7 En este documento, se considera a los recursos hídricos como el conjunto de aguas superficiales y subterráneas disponibles, incluyendo a las salmueras, un componente fundamental de los sistemas hidrológicos de cuencas endorreicas del Altiplano Sur. La normativa boliviana no establece una diferenciación clara para las salmueras, por lo que el Estado debe regular su aprovechamiento como de las aguas dulces.

GONZALO MONDACA es investigador del Centro de Documentación e Información Bolivia, CEDIB.

 /gonzalo.mondaca.96
 @MondacaWaliki
 gonzalo.mondaca@gmail.com



- 8 Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014). Escenarios de "Trayectoria de Concentración Representativa" (RCP siglas en inglés) (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2014).
- 9 Sexto Informe de Evaluación del IPCC (2022). Escenarios de "Vías Socioeconómicas Compartidas" (SSP por sus siglas en inglés) IPCC, 2022.
- 10 LCE: Lithium Carbonate Equivalent [Ecuivalente de carbonato de litio]. LCE es la sal ya sometida a los procesos de purificación y representa la unidad más usada para medir la oferta y la demanda (Sustainable Lithium, s. f.).
- 11 En su Informe de Sostenibilidad 2023, Arcadium Lithium no especifica el volumen total de carbonato de litio equivalente procesado; sin embargo, para el Proyecto Fénix (salar del Hombre Muerto), el portal especializado Bloomberg (2022) reporta 20.000 t para 2022. Para un consumo de 3.422.624,00 m³ de recursos hídricos, el factor de consumo debiera ser 171,13 m³/t LCE.
- 12 Sistema Nacional de Información Ambiental-Evaluación Ambiental Estratégica: <http://snia.mmaya.gob.bo/web/licenciamiento.php> (ingresar a "EAE" en "Menú Principal").
- 13 Permeabilidad: la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, en este caso, el desplazamiento de salmueras dentro del acuífero salino debajo del salar.

Referencias bibliográficas

- Agencia Boliviana de Información. (26 de febrero de 2025). Uranium One Group cuenta con tecnología rusa de extracción de litio con alta eficiencia demostrada en Potosí. <https://abi.bo/index.php/economia/2/61045-uranium-one-group-cuenta-con-tecnologia-rusa-de-extraccion-de-litio-con-alta-eficiencia-demostrada-en-potosi>
- Agudelo, J., Espinoza, J.-C., Junquas, C., Arias, P. A. (2025). Future projections of summer precipitation-driving mechanisms over the South American Altiplano. *Climate Dynamics*, 63(3). <https://doi.org/10.1007/s00382-025-07656-1>
- Ahora El Pueblo. (13 de enero de 2025). YLB destaca múltiples ventajas para el país que generarán las plantas de carbonato de litio. <https://ahoraelpueblo.bo/index.php/nacional/economia/ylb-destaca-multiples-ventajas-para-el-pais-que-generaran-las-plantas-de-carbonato-de-litio>
- Agencia de Noticias Fides. (18 de abril de 2024). YLB denuncia a 11 exfuncionarios por presunto daño económico de Bs. 425,2 MM en planta de litio. <https://www.noticiasfides.com/economia/ylb-denuncia-a-11-exfuncionarios-por-presunto-dano-economico-de-bs-425-2-mm-en-planta-de-litio#:~:text=Yacimientos%20de%20Litio%20Bolivianos%20%28YLB%29%20denunci%C3%B3%20ante%20la,Estado%20de%20m%C3%A1s%20de%20425%20C1%20millones%20de%20bolivianos>
 — (11 de febrero de 2025a). Si planta de salmuera residual falla, YLB deberá financiar a CBC una fábrica de salmuera de pozo. <https://www.noticiasfides.com/economia/si-la-planta-de-salmuera-residual-falla-ylb-debera-financiar-a-cbc-una-fabrica-de-salmuera-de-pozo>
 — (14 de febrero de 2025b). Viceministro, sobre el agua para el litio: "Es una hidrofantasía afirmar que se destruirán 7 comunidades". <https://www.noticiasfides.com/economia/viceminiistro-sobre-el-agua-para-el-litio-es-una-hidrofantasia-afirmar-que-se-destruiran-7-comunidades>
- Arcadium Lithium. (2024). Informe de 2023. *Informe correspondiente al año de transición posterior a la fusión*. <https://arcadiumlithium.com/es/informes-de-sostenibilidad/>
- Arias Alvarado, P. V., Díaz Paz, W. F., Salas Barboza, A. G. J., Seguezzo, L., Iribarnegaray, M. (2022). Huella Hídrica como indicador del consumo de agua en la minería del litio en la puna argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 26, 223-234.
- Azevedo, M., Baczynska, M., Hoffman, K., Krause, A. (2022). La minería del litio: Cómo las nuevas tecnologías de producción podrían impulsar la revolución mundial de los vehículos eléctricos. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/destacados/la-mineria-del-litio-como-las-nuevas-tecnologias-de-produccion-podrian-impulsar-la-revolucion-mundial-de-los-vehiculos-electricos/es>
- Barnes, E. A., Diffenbaugh, N. S., Seneviratne, S. I. (2024). Combining climate models and observations to predict the time remaining until regional warming thresholds are reached. *Environmental Research Letters*, 20(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad91ca>
- Belmonte, M. A. (28 de febrero de 2025). Producción de carbonato de litio en 2024 llegó a 9,8% de la capacidad de planta industrial. *Visión 360*. <https://www.vision360.bo/noticias/2025/02/28/20875-produccion-de-carbonato-de-litio-en-2024-llego-a-9-8por-ciento-de-la-capacidad-de-planta-industrial>
- Bloomberg. (19 de abril de 2022). El litio en Argentina: Estas son las empresas líderes en la fiebre del oro blanco. <https://www.bloomberglinea.com/2022/04/19/el-litio-en-argentina-estas-son-las-empresas-lideres-en-la-fiebre-del-oro-blanco/>
- Brújula Digital. (23 de enero de 2025). Comisión de Diputados rechaza contratos del litio por falta de información. <https://brujuladigital.net/economia/2025/01/23/comision-de-diputados-rechaza-contratos-del-litio-por-falta-de-informacion-42301>
- Campanini, J. (28 de noviembre de 2024). *Análisis de los principales componentes ambientales que están vinculados al contrato YLB-Uranium* [Diapositivas de Power Point]. <https://www.cedib.org/evento/conversatorio-acceso-a-la-informacion-en-el-proceso-de-extraccion-industrializacion-del-litio-contrato-uranium-one/>
- Centro de Documentación e Información Bolivia. (27 de marzo de 2023). Cinco proyectos de ley sobre el litio en Bolivia. <https://www.cedib.org/recursos-naturales/litio-edl/cinco-proyectos-de-ley-sobre-el-litio-en-bolivia/>
- Comisión Europea. (18 de febrero de 2025). *Ley Europea de Materias Primas Fundamentales*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_es
- Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia [Const.]. 7 de febrero de 2019 (Bolivia). <http://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/app/webroot/archivos/CONSTITUCION.pdf>
- Corporación Minera de Bolivia. (2012). *Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental-Análisis Integral (EEIA-AI) del Proyecto Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni-Planta Modular y Planta Industrial de Cloruro de Potasio*. Servicios Integrales en Medio Ambiente (SIMBIOSIS).
- Decreto Supremo 29894 de 2009. Por medio del cual se establece la estructura organizativa del Poder Ejecutivo del Estado Plurinacional de Bolivia. 7 de febrero de 2019. https://www.economiafinanzas.gob.bo/sites/default/files/2021-08/Decreto_Supremo_N_29894.pdf
- Deheza, P. (13 de octubre de 2023). Litio: Ingresos en 2023 serán de Bs 300 millones. *La Razón*. <https://www.la-razon.com/energias-negocios/2023/10/13/ingresos-litio/>
 — (26 de abril de 2024). Cómo y por qué fallaron 18 piscinas de litio de YLB. *La Razón*. <https://hemeroteca.larazon.bo/energias-negocios/2024/04/26/piscinas-de-litio/>
- Departamento de Geología de la Universidad de Chile. (21 de agosto de 2024). *Investigadores Uchile descubren que el Salar de Atacama se hunde entre 1 y 2 cm por año debido a la extracción de salmuera*. Universidad de Chile. <https://uchile.cl/noticias/219568/salar-de-atacama-se-hunde-por-extraccion-de-salmuera>
- Díaz Paz, W. F., Escosteguy, M. L., Clavijo, A., Seguezzo, L., Iribarnegaray, M. (2021). Transición energética y producción de litio: Principales debates y desafíos para la gestión del agua en Argentina. En C. Brannstrom, L. Seghezzo y A. Gorayeb (Org.), *Descarbonización en América del Sur: Conexiones entre Brasil y Argentina*. Universidad del Estado do Rio Grande do Norte. https://www.researchgate.net/publication/353741591-Transicion_energetica_y_produccion_de_litio_principales_debates_y_desafios_para_la_gestion_del_agua_en_Argentina
- Duarte, J. (27 de junio de 2023). Especial litio. Litio: Los métodos destructivos de extracción y su impacto socioambiental. *La Izquierda Diario*. <https://www.laizquierdadiario.com/Litio-los-metodos-destructivos-de-extraccion-y-su-impacto-socioambiental#nh6>

- Early, C. (10 de diciembre de 2020). Qué es el litio geotérmico y por qué puede revolucionar las energías limpias. *BBC*. <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-55223891#:~:text=La%20extracci%C3%B3n%20de%20litio%20de%20las%20aguas%20geot%C3%A9rmicas,ya%20que%20incluye%20muy%20bajas%20emisiones%20de%20carbono.>
- Ecoviana SRL y Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2011). *Elaboración de la evaluación ambiental estratégica en el sudoeste potosino (primera fase)*. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. <http://snia.mmaya.gob.bo/web/infoCT/InfoGral/SOPotosi/EARinformePreliminar.pdf>
- Ejeian, M., Grant, A., Kyong Shon, H., Razmjou, A. (2021). Is lithium brine water? *Elsevier B.V.*, 518(115169). <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115169>
- El Diario. (24 de febrero de 2025). Oficial: Empresas china y rusa operarían una extensión mínima del 1,8% del Salar de Uyuni. <https://www.eldiario.net/portal/2025/02/24/oficial-empresas-china-y-rusa-operarian-una-extension-minima-del-1-8-del-salar-de-uyuni/>
- Envirotech. (febrero de 2025). *Wastewater analysis at Bolivian lithium deposit explores how to avoid repeating past environmental mistakes*. <https://envirotecmagazine.com/2025/02/18/wastewater-analysis-at-bolivian-lithium-deposit-explores-how-to-avoid-past-environmental-mistakes/>
- Erbol. (17 de febrero de 2025). Universidad de Potosí concluye que contratos del litio son 'inviabiles' e implican alto riesgo financiero. <https://erbol.com.bo/econom%C3%ADa/universidad-de-potos%C3%AD-concluye-que-contratos-del-litio-son-%E2%80%98inviabiles%E2%80%99-e-implican-alto>
- Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Altiplano Sud, Federación Sindical Única de Mujeres Campesinas del Altiplano Sud Bartolina Sisa y Comisión para la Gestión Integral del Agua en Bolivia. (2012). *Minando el Agua: La mina San Cristóbal, Bolivia*. <https://www.calameo.com/read/000068238574e79ce7309>
- Ferrufino, R., Córdova, H., Derpic, C., Aponte, G. (octubre de 2024). *Estudios sobre minería en Bolivia. Serie Análisis N.º 38*. Fundación Milenio. <https://fundacion-milenio.org/analisis-no-38-estudios-sobre-la-mineria-de-bolivia/>
- FMC Corporation. (26 de julio de 2018). *FMC's Lithium Business to be Named Livent Corporation*. <https://investors.fmc.com/news/news-details/2018/FMCs-Lithium-Business-to-be-Named-Livent-Corporation/default.aspx>
- Fortún, J. C. (17 de enero de 2025). Club de Ginebra CDG observa contrato de litio entre el Estado y Uranium One Group. *El Deber*. https://eldeber.com.bo/economia/club-de-ginebra-cdg-observa-contrato-de-litio-entre-el-estado-y-uranium-one-group_500897/
- Grant, A. (abril de 2020). *From Catamarca to Qinghai: The Commercial Scale Direct Lithium Extraction Operations*. Jade Cove Partners. <https://www.jadecove.com/research/fromcatamarcaqinghai>
- Guillou, V. (2 de mayo de 2023). El otro debate sobre el litio: Las dudas sobre extracción directa con reinyección de salmueras. *La Tercera*. <https://www.latercera.com/pulso/noticia/el-otro-debate-sobre-el-litio-las-dudas-sobre-extraccion-directa-con-reinyeccion-de-salmueras/QOPRJBUZGFFHFIIXLA3I4AYYU/>
- Halkes, R. T., Hughes, A., Wall, F., Petavratzi, E., Pell, R., Lindsay, J. J. (2024). Life cycle assessment and water use impacts of lithium production from salar deposits: Challenges and opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, 207, 107554. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107554>
- Ibañez, E. (7 de marzo de 2024). YLB recibe propuestas de 38 empresas internacionales para el desarrollo del litio. *La Razón*. <https://www.la-razon.com/economia/2024/03/07/yib-recebe-propuestas-de-38-empresas-internacionales-para-el-desarrollo-del-litio/>
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. (octubre de 2004). *Agua Potable-Requisitos*. Ministerio de Servicios y Obras Públicas y Viceministerio de Servicios Básicos. http://www.anesapa.org/data/files/NB512-AP_Requisitos.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
— (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change del IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/how-to-cite-this-report>
- Kong, Z., Wang, G., Li, Q., Zhao, Q., Hu, S. (2024). Dynamic characteristics and evolution laws of underground brine in Mahai salt lake of Qaidam Basin during mining process. *Sci Rep*, 14, 10778. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61196-y>
- La Razón. (10 de enero de 2018). MSC posiciona a Bolivia "como el cuarto país más productivo en minas de zinc a cielo abierto en el mundo". <https://www.minerassancristobal.com/v3/es/2018/01/10/msc-posiciona-a-bolivia-como-el-cuarto-pais-mas-productivo-en-minas-de-zinc-a-cielo-abierto-en-el-mundo/>
- Ley 1390 de 2021. Por medio de la cual se pretende fortalecer los mecanismos y procedimientos establecidos en el marco de la Ley 004. 27 de agosto de 2021. https://siip.produccion.gob.bo/repSIIP2/files/normativa_12345_30082021758f.pdf
- Livent Corporation. (2023). *Reimaginar las posibilidades. Informe de Sostenibilidad 2022*. <https://arcadiumlithium.com/es/informes-de-sostenibilidad/>
- Machado Aráoz, H. (23 de abril de 2021). *El agua vale más que el litio*. Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina. <https://www.ocmal.org/el-agua-vale-mas-que-el-litio/#>
- Mamani, J. (13 de diciembre de 2023). YLB y rusa Uranium One Group firman convenio para instalar Planta Piloto EDL en el salar de Uyuni. *Ahora El Pueblo*. <https://ahoraelpueblo.bo/index.php/nacional/economia/yib-y-rusa-Uranium-one-group-firman-convenio-para-instalar-planta-piloto-edl-en-el-salar-de-uyuni>
- Ministerio de Hidrocarburos y Energías. (30 de abril de 2021). YLB lanza convocatoria internacional para la 'Extracción Directa de Litio'. Ministerio de Hidrocarburos y Energías. <https://www.mhe.gob.bo/2021/04/30/yib-lanza-convocatoria-internacional-para-la-extraccion-directa-de-litio/>
— (15 de junio de 2022). *Informe Final de Resultados. Convocatoria Internacional de Extracción Directa de Litio (EDL)*. <https://www.ylb.gob.bo/informefinalresultados>
- Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y Medio Ambiente. (2007). *Manual de Capacitación en Evaluación Ambiental Estratégica-Bolivia*. <https://studylib.es/doc/7638456/manual-de-capacitaci%C3%B3n-en-evaluaci%C3%B3n-ambiental#>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2021). *Compendio Normativo de Gestión Ambiental*. http://snia.mmaya.gob.bo/web/modulos/Biblioteca/ite.ms/03092021-010949-532781_209/03092021-010949-532781_209.pdf
— (2022). *Manual de Organización y Funciones del Ministerio de Medio Ambiente y Agua-2022*. <https://www.mmaya.gob.bo/wp-content/uploads/2023/08/MANUAL-DE-ORGANIZACIONES-Y-FUNCIONES-MOF-2022.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua e Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo. (2024). *Balance hídrico de Bolivia 1980-2020*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10850934>
- Molina Carpio, J. (2007). *Agua y recurso hídrico en el sudoeste de Potosí*. Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo. https://www.researchgate.net/publication/315453822_Agua_y-recurso_hidrico_en_el_Sudoeste_de_Potosi_Water_and_water_resources_in_the_southwestern_Potosi_region
- Mondaca, G. (4 de mayo de 2021). *El litio en Bolivia: Un cambio radical de tecnología y mucha incertidumbre*. Centro de Documentación e Información Bolivia. <https://www.cedib.org/wp-content/uploads/2021/05/ElLitio-un-cambio-radical.pdf>
— (20 de marzo de 2024). *La explotación del litio y el agua en Bolivia. De las piscinas de colores a las máquinas de sorpresas* [Diapositivas de Power Point]. Encuentro Plurinacional de Líderes y Lideresas de Comunidades y Pueblos Indígenas que Viven en los Salares Andinos, Uyuni.
- Morales, M. S., Christie, D. A., Newkom, R., Rojas, F., Villalba, R. (2018). Variabilidad hidroclimática en el sur del Altiplano: Pasado, presente y futuro. En H. R. Grau, M. J. Babot, A. E. Izquierdo y A. Grau (Eds.), *La Puna argentina Naturaleza y cultura*. Fundación Miguel Lillo. <https://www.forestal.uach.cl/manejador/resources/2018moralesvariabilidad-hidroclimatica-en-el-sur-del-altiplano.pdf>
- Moran, B. J., Boutt, D. F., Munk, L. A., Fisher, J. D. (abril de 2024). Contemporary and relic waters strongly decoupled in arid alpine environments. *PLOS Water*, 3(7). <https://journals.plos.org/water/article?id=10.1371/journal.pwat.0000191#sec011>
- More, T. (6 de febrero de 2025). "Dangerous climate breakdown" warning as hottest January on record shocks scientists. *SkyNews*. <https://news.sky.com/story/dangerous-climate-breakdown-warning-as-hottest-january-on-record-shocks-scientists-13303929>
- Olivera Andrade, M. (julio de 2017). *La industrialización del litio en Bolivia. Un proyecto estatal y los retos de la gobernanza, el extractivismo histórico y el capital internacional*. CIDES y Universidad Mayor de San Andrés. https://www.researchgate.net/publication/359270618_La_industrializacion_del_litio_en_Bolivia_un_proyecto_estatal_y_los_retos_de_la_gobernanza_el_extractivismo_historico_y_el_capital_internacional_CIDES-UMSA_Publicacion_auspiciada_por_UNESCO_2017
- Página 12. (14 de marzo de 2024). La Corte ordenó detener la explotación de litio en el Salar del Hombre Muerto. <https://www.pagina12.com.ar/720777-la-corte-de-justicia-ordeno-detener-la-explotacion-de-litio->
- Ramos Gonzalez, G. (s. f.). *Gestión de la salmuera de rechazo de las plantas de ósmosis inversa mediante inyección en sondeos profundos (ISP)*. Instituto Tecnológico Geominero de España. https://www.academia.edu/37404301/GESTI%C3%93N_DE_LA_SALMUERA_DE_RECHAZO_DE_LAS_PLANTAS_DE_%C3%93SMOSIS_INVERSA_MEDIANTE_INYECCI%C3%93N_EN_SONDEOS_PROFUNDOS_ISP
- Rebossio, A. (13 de abril de 2024). Elon Musk en la Argentina: La mina que le provee litio secó tierras fértiles y se descarta que instale una fábrica. *ElDiarioAR*. https://www.eldiarioar.com/economia/elon-musk-argentina-mina-le-provee-litio-seco-tierras-fertiles-descarta-instale-fabrica_1_11286361.html
- Recabarren Ortiz, C. (26 de octubre de 2023). Albemarle y la innovadora reinyección de salmuera en Chile. *REDMIN Revista Digital Minera Chile*. <https://www.redmin.cl/albemarle-y-la-innovadora-reinyeccion-de-salmuera-en-chile/>
- Resolución Administrativa VMABCCGDF N.º46/2024 [Ministerio de Medio Ambiente y Agua]. 1 de julio de 2024. <http://snia.mmaya.gob.bo/web/PDFs/RVMA/RM-N%C2%B0%20RA%20046-2024.pdf>
- Rocha, O., Pacheco, L. F., Ayala, G. R., Varela, F., Arengo, F. (2021). Trace metals and metalloids in Andean flamingos (*Phoenicoparrus andinus*) and Puna flamingos (*P. jamesi*) at two wetlands with different risk of exposure in the Bolivian Altiplano. *Environ Monit Assess*, 193(535). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09340-3>
- Ruch, J., Warren, J. K., Risacher, F., Walter, T. R., Lanari, R. (2012). Salt lake deformation detected from space. *Elsevier-Sciencedirect*, 331-332, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.03.009>

- Ruta 2050. (5 de noviembre de 2024). El 29% de la producción global de litio proviene del Salar de Atacama. *Ruta 2050*. <https://ruta2050.cl/2024/11/05/el-29-de-la-produccion-global-de-litio-proviene-del-salar-de-atacama/>
- Salinas, J. C. (25 de junio de 2023). Franklin Molina: "Nos podemos quedar con el litio bajo el subsuelo". *El Deber*. https://eldeber.com.bo/amp/edicion-impresa/franklin-molina-nos-podemos-quedar-con-el-litio-bajo-el-subsuelo_329979
- Servicio Geológico y Minero (2001). *Estudio de las cuencas hidrográficas de la Cordillera Occidental y Altiplano*.
- Servicio Nacional de Información Ambiental. (2021). *Evaluación Ambiental Estratégica-EAE*. <http://snia.mmaya.gob.bo/web/licenciamiento.php> (ingresar al apartado EAE)
- Sieland, R. (2014). *Hydraulic Investigations of the Salar de Uyuni, Bolivia*. *Freiberg Online Geology*, 37. https://www.researchgate.net/publication/281061345_Hydraulic_Investigations_of_the_Salar_de_Uyuni_Bolivia
- Sociedad Química y Minera de Chile S. A. (julio de 2024). *Reporte de Sostenibilidad 2023*. https://www.sqm.com/wp-content/uploads/2024/07/SQM-Reporte-2023_Final0507.pdf
- Sticco, M., Scravaglieri, P., Damiani, A. (diciembre de 2018). *Estudio de los recursos hídricos y el impacto por explotación minera de litio. Cuenca Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc-Provincia de Jujuy*. Fundación Ambiente y Recursos Naturales. https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/06/FARN-Estudio-de-los-recursos-h%C3%81dricos-y-el-impacto-por-explotacio%C3%81n-minera-de-litio_compressed.pdf
- Solón, J. C. (11 de noviembre de 2024). *El salto al vacío con un socio ruso*. Fundación Solón. <https://fundacionsolon.org/2024/11/11/el-salto-al-vacio-con-un-socio-ruso/>
- Sustainable Lithium. (s. f.). *¿Qué es el litio?* Sustainable Lithium. <https://www.sustainablelithium.com/es/que/>
- United States Environmental Protection Agency. (10 de julio de 2024). *Underground Injection Control (UIC)-General Information About Injection Wells*. <https://www.epa.gov/uic/general-information-about-injection-wells>
- Vera, M. L., Torrez, W. R., Galli, C. I., Chagnes, A., Flexer, V. (2023a). Impacto ambiental de la extracción directa de litio de salmueras. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4, 149-165.
- (23 de febrero de 2023b). Environmental impact of direct lithium extraction from brines. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4, 149-165.
- Williams, G. V. Z., Vengosh, A. (2025). Quality of Wastewater from Lithium-Brine Mining. *Environmental Science & Technology Letters*, 12(2), 151-157. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c01124>
- World Health Organization. (2024). *Guidelines for drinking-water quality. Small water supplies*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/375822/9789240088740-eng.pdf?sequence=1>
- Yacimientos de Litio Bolivianos. (2020). *Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental-Analítico Integral. Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni*. Planta Industrial de Carbonato de Litio. VIVENS Environmental Consulting SRL.
- (17 de enero de 2024a). YLB y CBC firman convenio para desarrollar pilotaje con tecnología EDL en el salar de Uyuni. <https://www.ylb.gob.bo/node/16>
- (24 de febrero de 2024b). Presidenta de YLB viaja a Bélgica y Francia para difundir convocatoria de proyectos en recursos evaporíticos. <https://www.ylb.gob.bo/node/8>
- (mayo de 2024c). *Convocatoria de Expresiones de Interés sobre el Desarrollo de Proyectos y Tecnología para el Aprovechamiento de Recursos Evaporíticos*. https://www.ylb.gob.bo/sites/default/files/2024-05/convocatoria_internacional.pdf
- (14 de mayo de 2024d). *Comunicado: Convocatoria Internacional* <https://www.ylb.gob.bo/sites/default/files/2024-05/ComunicadoConvIntern.pdf>
- (17 de abril de 2025). *El agua es vida... y también impulsa el litio boliviano* [Video adjunto]. Facebook. https://www.facebook.com/watch/?mibextid=wwXlfr&v=9801061429914474&r_did=2hoPxWzO6pVmvzPK
- Yacimientos de Litio Bolivianos y Hong Kong CBC Investment Limited. (enero de 2025). *Contrato de Servicios para la Producción de Carbonato de Litio en el Salar de Uyuni*.
- Yacimientos de Litio Bolivianos y Uranium One Group/Rosatom. (3 de octubre de 2024). *Contrato de Asociación Accidental para el Desarrollo de una Planta de Extracción Directa de Litio-EDL y Carbonatación de Litio en el Salar de Uyuni*.
- Zaratti, F. (7 de febrero de 2025). ¿Son rentables los contratos del litio?. *Francesco Zaratti*. <https://fzaratti.blog/2025/02/07/son-rentables-los-contratos-del-litio/>
- Zelandes & Summit Nanotech. (2024). *Recycling Brine for a Greener Future* (International Lithium Association / Fastmarkets). <https://www.zelandez.com/resources/recycling-brine-for-a-greener-future/>
- Zenteno, D. (11 de febrero de 2025). Gobierno asegura que contratos de litio son amigables con el medio ambiente. *La Razón*. <https://www.la-razon.com/economia/2025/02/11/gobierno-asegura-que-contratos-de-litio-son-amigables-con-el-medio-ambiente/>

CITA: Mondaca, G. (2025). Bolivia no está preparada para la Extracción Directa de Litio. El fracaso del extractivismo estatal. *DeLiberar* 36(2).

Este artículo forma parte de la serie **DELIBERAR**, publicada por el Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB) con el propósito de difundir los resultados de las investigaciones, reflexiones, análisis e información sobre la problemática de los recursos naturales, el extractivismo y el medioambiente con especial atención en Bolivia y América Latina.

Las opiniones expresadas en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las opiniones de la institución.

LOS DERECHOS CORRESPONDEN AL AUTOR DEL ARTÍCULO.

DEPÓSITO LEGAL N° 4 - 3 - 53 -17
DOI: 10.5281/zenodo.16619707
COCHABAMBA - BOLIVIA
CONTACTO CON EDITORES: DIRECCIÓN@CEDIB.ORG



www.cedib.org

Está permitida la reproducción total o parcial siempre y cuando se cite la fuente y que no responda a fines comerciales.