



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

ENTRE LA SOBERANÍA Y LA SUSTENTABILIDAD: LA EXPLOTACIÓN DEL LITIO EN EL SALAR DE UYUNI FRENTE A LOS DESAFÍOS DE LA HUELLA HÍDRICA

**BETWEEN SOVEREIGNTY AND SUSTAINABILITY: LITHIUM
EXPLOITATION IN THE SALAR DE UYUNI AND THE
CHALLENGES OF THE WATER FOOTPRINT**

Marcela Elizabeth Hoyos López
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

Julio César Mamani Alemán
Universidad de Alicante

Fidel Lenin Ibarra Guerrero
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.18782

Entre la soberanía y la sustentabilidad: La explotación del litio en el Salar de Uyuni frente a los desafíos de la huella hídrica.

Marcela Elizabeth Hoyos López¹marcela.hoyos@uajms.edu.bo<https://orcid.org/0009-0007-0231-6729>Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
Bolivia**Julio César Mamani Alemán**jcma13@alu.ua.esjulio-cesar-ma@hotmail.com<https://orcid.org/0009-0002-2523-9037>Universidad de Alicante
España**Fidel Lenin Ibarra Guerrero**fidel2018.lig@gmail.com<https://orcid.org/0009-0008-1937-6653>Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
Bolivia

RESUMEN

La explotación del litio en el Salar de Uyuni, el mayor desierto de sal del planeta y una de las principales reservas mundiales de litio, representa para Bolivia una oportunidad estratégica de desarrollo económico en el contexto de la transición energética global. No obstante, el modelo técnico aplicado, basado en la evaporación de salmueras, plantea serios desafíos ambientales, particularmente en lo que respecta al uso intensivo de agua en una región de extrema aridez, con ecosistemas frágiles y acuíferos de recarga lenta. Este artículo tiene como objetivo, analizar de forma integral la huella hídrica de la explotación litífera boliviana, examinando la estructura hidrogeológica del salar, la interacción entre acuíferos salinos y dulces, y los impactos ambientales y sociales derivados. A través de una comparación técnica con los salares de Atacama (Chile) y Olaroz-Cauchari (Argentina), se demuestra que Uyuni posee la mayor huella hídrica regional, con un consumo estimado de hasta 1.500.000 litros de agua por tonelada de litio producida. Además, se abordan los efectos de la extracción sobre la salinización de acuíferos, la subsidencia del suelo, y la afectación directa a comunidades indígenas aymaras y quechuas que dependen del agua para su supervivencia. Se concluye que la sostenibilidad de este modelo requiere una reconversión tecnológica urgente hacia métodos de extracción directa, acompañada de una gobernanza hidrosocial que integre ciencia, tecnología, derechos territoriales y principios de justicia ambiental e intergeneracional.

Palabras clave: litio, huella hídrica, salar de Uyuni, aguas subterráneas, minería evaporítica

¹ Autor principal

Correspondencia: marcela.hoyos@uajms.edu.bo

Between sovereignty and sustainability: Lithium exploitation in the Salar de Uyuni and the challenges of the water footprint

ABSTRACT

Lithium exploitation in the Salar de Uyuni, the largest salt desert on the planet and one of the world's main lithium reserves, represents a strategic opportunity for Bolivia for economic development in the context of the global energy transition. However, the applied technical model, based on brine evaporation, poses serious environmental challenges, particularly with regard to intensive water use in an extremely arid region with fragile ecosystems and slow-recharging aquifers. This article comprehensively analyzes the water footprint of Bolivian lithium exploitation, examining the hydrogeological structure of the salt flat, the interaction between saline and freshwater aquifers, and the resulting environmental and social impacts. Through a technical comparison with the Atacama (Chile) and Olaroz-Cauchari (Argentina) salt flats, it is demonstrated that Uyuni has the largest regional water footprint, with an estimated consumption of up to 1,500,000 liters of water per ton of lithium produced. In addition, the study addresses the effects of extraction on aquifer salinization, soil subsidence, and the direct impact on indigenous Aymara and Quechua communities that depend on water for their survival. It concludes that the sustainability of this model requires an urgent technological conversion toward direct extraction methods, accompanied by hydrosocial governance that integrates science, technology, territorial rights, and principles of environmental and intergenerational justice.

Key Words: lithium, water footprint, salar de uyuni, groundwater, evaporite mining

Artículo recibido 27 junio 2025

Aceptado para publicación: 28 julio 2025



INTRODUCCIÓN

Contexto global y regional

En la era de la transición energética, marcada por la descarbonización de las economías y la necesidad de almacenamiento eficiente de energía renovable, el litio se ha posicionado como un mineral estratégico de mucha importancia. Este metal alcalino es fundamental para la fabricación de baterías de iones de litio, las cuales alimentan desde teléfonos móviles hasta eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía solar y eólica (Fornillo, 2019).

Su carácter no sustituible en aplicaciones electroquímicas ha disparado su demanda en más de un 300% en la última década (IEA, 2022).

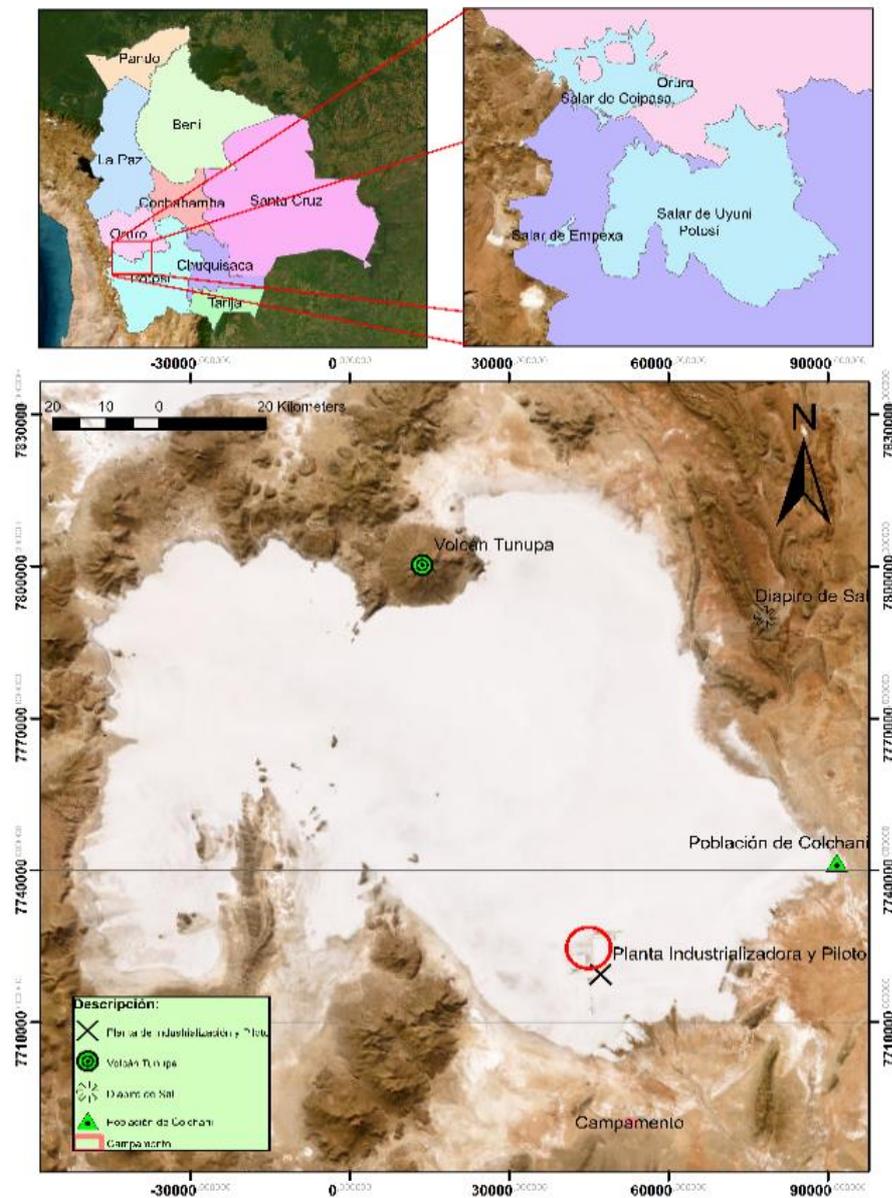
En este contexto, América del Sur se ha convertido en el epicentro de una nueva geopolítica de recursos críticos, ya que concentra más del 60% de las reservas mundiales de litio. El llamado Triángulo del Litio, conformado por Argentina, Chile y Bolivia, no sólo representa una concentración geológica excepcional, sino también una diversidad de modelos institucionales, tecnológicos y territoriales (Obaya et al., 2020). De estos tres países, Bolivia alberga aproximadamente el 21% de las reservas globales del mineral, según estimaciones del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2023), la mayoría ubicadas en el Salar de Uyuni, una formación salina ubicada a 3.653 metros sobre el nivel del mar y con una extensión superior a los 10.582 km² (Ströbele-Gregor, 2012). Bolivia se distingue en el triángulo por su enfoque de soberanía estatal. Desde 2008, el país ha adoptado un modelo extractivo liderado por la empresa pública Yacimientos de Litio Bolivianos, con el objetivo de industrializar el recurso internamente y limitar la intervención extranjera directa. Este modelo fue impulsado como parte de una estrategia de “nacionalismo de los recursos” que prioriza el control estatal sobre las cadenas de valor del litio (Lunasco et al., 2024; Romeo, 2021).

En contraste, Chile ha seguido un esquema concesionado dominado por empresas como SQM y Albemarle, mientras que Argentina ha optado por un modelo abierto, basado en asociaciones público-privadas (Argento & Puente, 2019).



Figura 1. Ubicación espacial del Salar de Uyuni, Fuente: Elaboración propia.

Si bien el modelo boliviano presenta fortalezas en cuanto a soberanía y proyección industrial, enfrenta serios retos tecnológicos, ambientales y sociales, especialmente en torno a la disponibilidad y gestión del recurso hídrico.



Problemática hídrica

El método de extracción de litio empleado en Bolivia es el sistema de evaporación solar de salmueras, el cual consiste en bombear grandes volúmenes de salmuera subterránea hacia la superficie, donde se concentra progresivamente el litio mediante la evaporación natural del agua. Este método, aunque energéticamente eficiente, requiere enormes cantidades de agua dulce para los procesos de purificación, sobre todo debido a la alta presencia de impurezas en la salmuera del Salar de Uyuni, como boro, magnesio y sulfatos (Stroebele-Gregor, 2012; Sticco et al., 2018).

Esta técnica se lleva a cabo en un ecosistema hídrico extremadamente frágil. El altiplano boliviano recibe menos de 200 mm de precipitación anual, y tiene tasas de evaporación superiores a los 2.000 mm, lo que significa que la recarga natural de los acuíferos es mínima y lenta. La extracción masiva sin reinyección está alterando los gradientes naturales de flujo, favoreciendo una migración de agua dulce hacia zonas salinas y produciendo una salinización irreversible de acuíferos que históricamente abastecieron a comunidades indígenas para riego y consumo humano (Romeo, 2021; CONICET, 2021).

A su vez, el descenso de los niveles freáticos ha provocado fenómenos de subsidencia del suelo, afectando la estabilidad del salar y los ecosistemas de humedales altoandinos, esenciales para la biodiversidad local y la economía pastoril. Estos impactos ambientales, sumados a la escasa participación social en la planificación y control de la extracción, han generado conflictos territoriales y demandas de consulta previa por parte de comunidades quechuas y aymaras (Argento & Puente, 2019).

Comparación regional

Para dimensionar la situación de Uyuni en el contexto del Triángulo del Litio, se presenta a continuación la Tabla 1, con parámetros comparativos de los tres salares más importantes de la región:

Tabla 1. Comparación técnica de salares andinos, Fuente: Elaboración propia con datos de Sticco et al. (2018), Argento & Puente (2019), y CONICET (2021).

Parámetro	Uyuni (Bolivia)	Atacama (Chile)	Olaroz-Cauchari (Argentina)
Área (km ²)	10.582	3.000	5.794
Altura (msnm)	3.653	2.300	3.900
Precipitación anual (mm)	150–200	15–30	100–120
Evaporación anual (mm)	>2.000	>2.500	~2.000
Método de extracción	Evaporación solar	Evaporación DLE	+ Evaporación solar
Riesgo de subsidencia	Alto	Medio	Alto
Riesgo de salinización de acuíferos	Muy alto	Alto	Muy alto

Problemática hidrogeológica del Salar de Uyuni

El Salar de Uyuni conforma una de las cuencas hidrogeológicas más singulares y frágiles del altiplano andino. Su estructura se caracteriza por un sistema de acuíferos multicomponentes, que incluye:

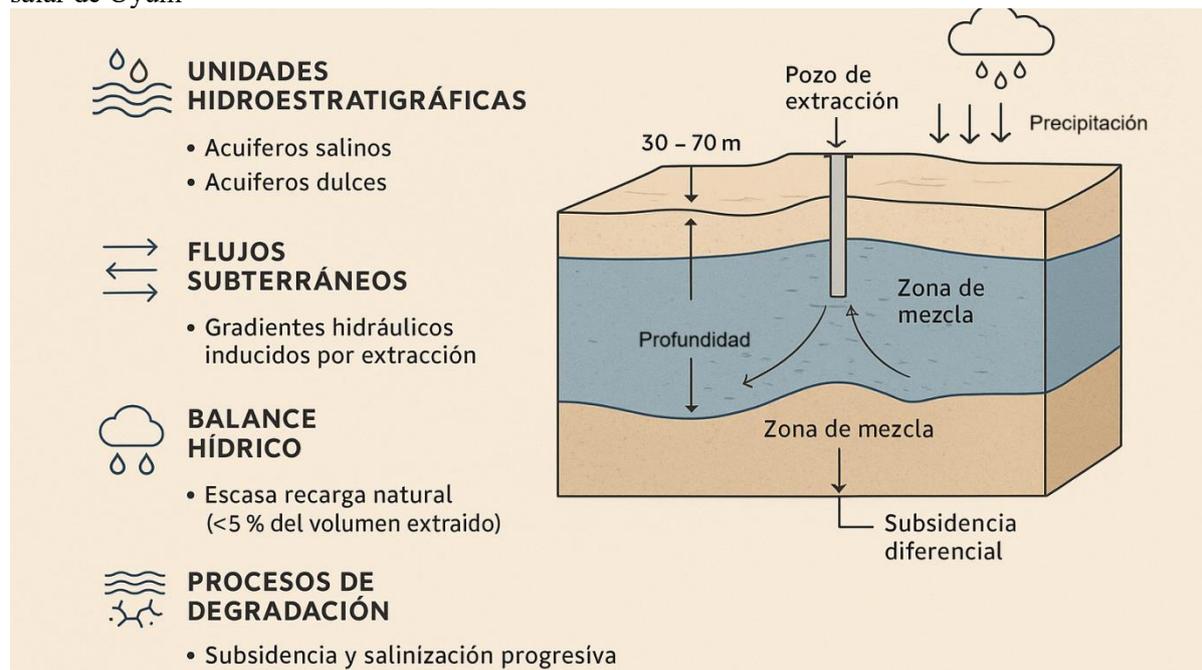
- Acuíferos salinos profundos ricos en litio, ubicados en la cuenca central del salar;
- Acuíferos de agua dulce en los bordes occidentales y orientales (conos aluviales y abanicos fluvioacústres);
- Zonas de mezcla, que actúan como transición entre los cuerpos de agua dulce y las salmueras salinas.

La siguiente tabla sintetiza la configuración hidrogeológica del salar:

Tabla 2. Caracterización hidrogeológica del Salar de Uyuni, Fuente: Adaptado de Sticco et al. (2018); Romeo (2021); CONICET (2021).

Componente hidrogeológico	Descripción	Función ambiental	Estado actual
Acuíferos profundos	Salmueras hipersalinas ricas en litio (350–600 ppm), ubicadas a 30–70 m de profundidad	Fuente principal de litio	Explotación intensiva, sin reinyección
Acuíferos marginales	Cuerpos subterráneos de agua dulce en abanicos aluviales (pH neutro, baja conductividad)	Riego, consumo humano, recarga de humedales	Sobreexplotados, en proceso de salinización
Zona de mezcla (transicional)	Gradiente salino que conecta ambos sistemas. Altamente vulnerable a desequilibrio hidráulico	Amortiguador natural entre masas de agua	Desestabilizada por gradientes inducidos
Recarga superficial	Escorrentía de lluvias estivales, aporte limitado (<200 mm/año)	Recarga lenta y estacional de acuíferos	Altamente variable y escasa

Figura 2. Descripción de la caracterización hidrogeológica del proceso de extracción de litio en el salar de Uyuni



Fuente: Elaboración propia.

Flujos, extracción y gradientes inducidos

El bombeo constante de salmuera desde los acuíferos centrales genera un gradiente hidráulico artificial que provoca el flujo de agua dulce hacia el núcleo del salar, fenómeno que favorece la salinización progresiva e irreversible de los acuíferos marginales. Este desequilibrio rompe el régimen hidrodinámico natural, altera los tiempos de residencia del agua y compromete tanto la calidad como la cantidad del recurso hídrico disponible para las comunidades locales (Sticco et al., 2018).

Adicionalmente, la presencia de materiales lacustres y limosos de baja permeabilidad en la capa superficial impide una recarga efectiva de los acuíferos por precipitación directa. En años secos, este balance negativo se agudiza, aumentando la presión sobre las pocas fuentes de agua dulce restantes.

La Subsistencia y su Impacto geomorfológico

El descenso piezométrico asociado a la sobreexplotación puede generar fenómenos de subsidencia, que no es más que el hundimiento lento y diferencial del terreno, asociado a la compactación de sedimentos finos y la pérdida de presión en el sistema freático. La subsidencia no solo representa un riesgo físico para la integridad del salar, sino que modifica la topografía local, afectando los ecosistemas de humedales y la distribución natural de la salinidad en la superficie (Romeo, 2021).

Vulnerabilidad ecológica y cultural

Los acuíferos periféricos abastecen bofedales, lagunas y ríos que constituyen hábitats para flamencos andinos, vicuñas y especies vegetales adaptadas. Además, son importantes para los sistemas agroganaderos ancestrales de comunidades quechuas y aymaras que viven del pastoreo de camélidos y la salicultura. La pérdida o salinización de estos cuerpos de agua representa un impacto ecológico, social y cultural de alta magnitud, difícilmente reversible a escala humana (Ströbele-Gregor, 2012; Argento, 2019).

Finalmente, se debe entender que, la hidrogeología del Salar de Uyuni configura un sistema altamente complejo, frágil e interdependiente, donde la actividad extractiva actual basada en evaporación solar no es ambientalmente viable en el largo plazo. La ausencia de estrategias de reinyección, el desconocimiento de las zonas de recarga y la desconexión entre ciencia hidrogeológica y política pública agravan un escenario que exige respuestas urgentes basadas en tecnologías de extracción de bajo impacto y en gobernanza territorial con enfoque de cuenca.

La inversión económica del proyecto y lo Recursos Hídricos

Desde el año 2008, el Estado boliviano ha asumido el control directo del proceso de industrialización del litio mediante la creación de la empresa pública Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). Este modelo, fundamentado en el principio de soberanía sobre los recursos naturales, se tradujo en una estrategia de industrialización “desde cero”, que implicaba desarrollar infraestructura, tecnología, conocimiento técnico local y encadenamientos productivos con valor agregado.

Sin embargo, esta apuesta soberanista se enfrentó desde el inicio a desafíos estructurales: falta de experiencia técnica, ausencia de tecnologías de extracción de bajo impacto, dificultades administrativas y un entorno hidrogeológico extremadamente frágil.

La siguiente tabla resume las principales inversiones estatales y extranjeras canalizadas hacia el proyecto de litio entre 2008 y 2024, así como su relación estimada con el impacto ambiental:

Concepto	Periodo / Fecha	Monto aproximado (USD)	Destino declarado	Impacto sobre gestión hídrica
----------	-----------------	------------------------	-------------------	-------------------------------

Presupuesto total aprobado para YLB	2008–2021	1.231,5 millones	Exploración, evaporadores, plantas piloto y semiindustriales	Muy limitado. No incluye planes de reinyección ni soluciones al balance hídrico.
Presupuesto efectivamente ejecutado	Hasta 2021	585,9 millones	Infraestructura parcial en Llipi; construcción de planta semiindustrial; caminos	Parcial y desarticulado. Sin estrategias de conservación de acuíferos ni monitoreo ambiental.
Inversión no ejecutada	2008–2021	645,5 millones	Recursos no movilizados por problemas técnicos y administrativos	Oportunidad no desaprovechada para investigación aplicada en tecnologías limpias.
Contrato YLB–CBC (China)	2023–2025	1.030 millones	Planta industrial de 25.000 t/año de carbonato de litio con EDL	Promesa de menor impacto. Sin garantía de reducción de uso de agua dulce.
Contrato YLB–Uranium One (Rusia)	2023–2025	976 millones	Planta de 14.000 t/año, tecnología EDL (por confirmar)	Riesgo alto: consumo estimado >15 veces la recarga hídrica natural.

Estimación de		Extracción de	Desproporcionado.
consumo	18,5 a 47,5	salmuera y agua	Compromete
hídrico	Proyección 2025 millones m ³ /año	dulce para dos	ecosistemas locales
conjunto		plantas	y acuíferos dulces.

Tabla 3. Inversión en el proyecto de litio y relación con el impacto hídrico Fuente: CEDIB (2024), YLB (2023), ANF (2023), El País (2025), Fornillo (2019), Romero (2021).

Aunque el discurso gubernamental subraya la importancia del litio como “motor del desarrollo nacional”, los recursos financieros canalizados hacia el proyecto muestran una profunda desconexión entre la retórica de sustentabilidad y la realidad ambiental. Buena parte del presupuesto ejecutado entre 2008 y 2021 fue destinado a infraestructura dura: construcción de piscinas de evaporación, caminos de acceso, laboratorios, instalaciones de servicios y una planta semiindustrial. Sin embargo, ninguna inversión significativa fue canalizada hacia la mitigación del impacto hídrico ni al desarrollo de soluciones tecnológicas específicas para el ecosistema del salar.

A pesar de contar con más de mil millones aprobados, solo la mitad se ejecutó en más de una década. Este subejercicio se explica por demoras en contrataciones, cambios políticos, sobrecostos imprevistos y dificultades técnicas. Durante ese tiempo, se mantuvo el sistema de evaporación solar, altamente dependiente del agua dulce, sin implementar planes serios de reinyección, reciclaje ni control hidrodinámico de acuíferos.

La situación se complica con las inversiones recientes de empresas chinas y rusas, que anuncian el uso de tecnología de Extracción Directa de Litio (EDL). Aunque esta tecnología tiene potencial para reducir la evaporación y acelerar el proceso, no existe aún evidencia pública de que el diseño boliviano la aplique con criterios de eficiencia hídrica. Al contrario, informes técnicos (CEDIB, 2024) indican que el consumo proyectado de agua podría ser hasta 15 veces superior a la precipitación anual que recibe el salar, lo que representa un riesgo ecológico extremo para un ecosistema de recarga lenta y vulnerable a la salinización.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología adoptada en esta investigación es de carácter mixto, multiescalar e interdisciplinario, estructurada en torno a tres ejes metodológicos complementarios: análisis documental, evaluación

hidrogeológica y comparación cuantitativa de la huella hídrica. Esta estrategia metodológica permite abordar la complejidad del impacto hídrico en el Salar de Uyuni desde una perspectiva sistémica, considerando no sólo las variables fisicoquímicas y ecológicas del entorno, sino también las implicancias socioterritoriales, políticas y geoeconómicas del modelo extractivo de litio boliviano.

Revisión bibliográfica y documental

Se aplicó una revisión sistemática cualitativa, orientada a consolidar un marco conceptual e informativo robusto para la comprensión integral del caso Uyuni. La selección de fuentes se estructuró con base en tres criterios principales:

- **Relevancia temática:** textos especializados en hidrogeología de salares, gobernanza hídrica, extracción de litio, justicia hídrica y conflictos socioambientales.
- **Validez científica:** preferencia por estudios revisados por pares, informes de organismos oficiales, publicaciones de centros de investigación regionales (como CONICET o CLACSO).
- **Actualidad:** énfasis en fuentes publicadas a partir de 2012, periodo en el que se consolidó el modelo boliviano de litio bajo control estatal.

Tabla 3. Fuentes bibliográficas consultadas

Documento	Autor / Institución	Tipo de fuente	Aporte principal
Estudios hidrogeológicos de Uyuni	Sticco et al. (2018)	Informe académico	Morfología acuífera, subsidencia y flujos
Diagnóstico hídrico CONICET	CONICET (2021)	Informe técnico binacional	Dinámica hidrosalina regional
La amenaza de la subsidencia	Romeo (2021)	Artículo científico	Riesgos geomorfológicos y equilibrio hídrico
Geopolítica del litio	Fornillo (2019)	Libro académico	Análisis crítico del modelo extractivo
YLB y modelo estatal del litio	Lunasco et al. (2024)	Informe institucional	Procesos técnicos y consumo hídrico
Socioambientalismo y litio	Argento & Puente (2019)	Publicación CLACSO	Conflictos sociales e indígenas
Triángulo del Litio y reservas	USGS (2023)	Reporte geológico	Estadísticas de reservas y producción

Fuente: Elaboración propia.



Esta revisión permitió identificar vacíos estructurales de información pública en Bolivia, particularmente en cuanto a la disponibilidad de datos hidrogeológicos de alta resolución. Esta opacidad limita las capacidades de monitoreo ambiental independiente y compromete la posibilidad de una gobernanza hídrica basada en evidencia.

Análisis hidrogeológico del Salar de Uyuni

Se realizó una evaluación interpretativa y comparativa de la estructura hidrogeológica del Salar de Uyuni, apoyada en estudios previos, imágenes satelitales, modelos conceptuales y parámetros fisicoquímicos extraídos de la literatura científica. Se abordaron los siguientes componentes:

- **Caracterización estratigráfica del sistema:** diferenciación entre acuíferos superficiales de salmuera y acuíferos subyacentes de agua dulce.
- **Dinámica de flujos subterráneos:** análisis del comportamiento de los gradientes hidráulicos en función del bombeo, y su implicancia en la migración salina.
- **Balance hídrico regional:** identificación de fuentes de recarga (lluvias, escorrentía, infiltración), cuantificación del déficit y análisis de resiliencia hídrica.
- **Procesos de subsidencia:** documentación de deformaciones diferenciales del terreno asociadas al descenso del nivel freático y colapso estructural de los sedimentos.
- **Zonas de mezcla y degradación:** delimitación de áreas de interacción entre aguas dulces y salmueras, con especial énfasis en bordes del salar y zonas perisalarinas.

Tabla 4. Parámetros hidrogeológicos críticos en Uyuni, Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Estimación o condición	Fuente
Profundidad de salmueras	30–70 m	Sticco et al. (2018)
Conductividad de acuíferos dulces	< 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	CONICET (2021)
Tiempo de residencia del agua	> 50 años (baja renovabilidad)	Romeo (2021)
Capacidad de recarga anual	< 5% del volumen extraído	Lunasco et al. (2024)
Zona de mezcla	Expansión hacia bordes del salar	Sticco et al. (2018)
Subsidencia detectada	Hundimientos y fracturación diferenciales	Romeo (2021)

Este análisis concluye que el sistema hídrico de Uyuni es extremadamente frágil, con acuíferos de recarga muy lenta, severamente expuestos a procesos de salinización inducida. El bombeo ininterrumpido rompe los gradientes naturales, generando un flujo centrípeto de agua dulce hacia los pozos, con el consecuente deterioro irreversible de los acuíferos.

Comparación de huella hídrica entre salares

Para cuantificar y contextualizar el impacto de la extracción de litio en Uyuni, se elaboró una comparación técnica regional de la huella hídrica, expresada en litros de agua consumida por tonelada de carbonato de litio (Li_2CO_3) producida. Esta comparación tomó como base valores promedios verificados en publicaciones académicas y reportes oficiales.

Tabla 5. Comparación de huella hídrica por tonelada de litio

Salar	Método de extracción	Huella hídrica estimada	Fuente
Uyuni (Bolivia)	Evaporación solar	1.500.000 L	Lunasco et al. (2024)
Atacama (Chile)	Evaporación + extracción directa	500.000 L	Fornillo (2019); USGS (2023)
Olaroz-Cauchari (Argentina)	Evaporación solar semi-industrial	800.000 L	Argento & Puente (2019)

Elaboración propia con datos de Sticco et al. (2018), Argento & Puente (2019), y CONICET (2021).

El caso boliviano representa la mayor huella hídrica del Triángulo del Litio, atribuida a:

- La baja concentración de litio en las salmueras bolivianas, que requiere evaporar volúmenes mayores.
- La alta presencia de impurezas (magnesio, sulfatos, calcio) que demandan procesos adicionales de lavado y purificación con agua dulce.
- La ausencia de tecnologías de Extracción Directa de Litio (DLE), utilizadas parcialmente en Chile, que reducen el consumo hídrico y aceleran el ciclo productivo.

Este abordaje metodológico integral permitió construir una visión ecosistémica del conflicto hídrico en Uyuni, reconociendo la interdependencia entre los sistemas biofísicos y los entramados sociales que los habitan. No obstante, también emergieron importantes limitaciones estructurales:

- Escasa transparencia y acceso limitado a datos hidrogeológicos oficiales en Bolivia, lo que dificulta la validación de modelos independientes.
- Desequilibrios epistemológicos: predominio de enfoques tecnocráticos estatales frente a saberes comunitarios, lo que invisibiliza las experiencias y diagnósticos de las comunidades quechuas y aymaras.
- Necesidad de monitoreo participativo y ciencia ciudadana: se hace urgente implementar redes de observación comunitaria, junto a modelos hidrológicos abiertos y accesibles.

En suma, la metodología adoptada no solo permitió sistematizar información crítica dispersa, sino también problematizar la ausencia de condiciones estructurales para una evaluación ambiental justa, plural y técnicamente robusta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis revela que el Salar de Uyuni, pese a su reconocimiento como una de las mayores reservas de litio del planeta, constituye también uno de los sistemas hidrogeológicos más frágiles del altiplano andino. Su vasta extensión, su altitud superior a los 3.600 metros sobre el nivel del mar y su clima extremadamente árido, con una recarga hídrica natural casi inexistente, lo convierten en un entorno altamente vulnerable. Esta fragilidad se ve intensificada por el modelo extractivo intensivo implementado desde 2008, basado en la evaporación solar de salmueras y sin aplicación de técnicas de reinyección o compensación hidráulica.

A diferencia de sus vecinos regionales, Bolivia ha priorizado un enfoque centrado en la soberanía estatal, gestionado a través de la empresa pública Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). Sin embargo, este modelo ha mostrado severas limitaciones tecnológicas. Mientras Chile y Argentina incorporan tecnologías de Extracción Directa de Litio (DLE), que permiten reducir significativamente el consumo hídrico y acortar los ciclos de producción, Uyuni continúa utilizando un método tradicional intensivo en agua. Esta decisión técnica tiene consecuencias directas: producir una

tonelada de carbonato de litio en Uyuni requiere en promedio 1.500.000 litros de agua dulce, lo que equivale al triple del consumo registrado en el Salar de Atacama (500.000 L).

Este elevado consumo no es una cifra abstracta. El impacto se refleja directamente en los acuíferos marginales, cuyas aguas dulces fluyen naturalmente hacia el núcleo del salar debido al bombeo intensivo de salmueras. Este flujo inverso está provocando un proceso de salinización progresiva e irreversible de fuentes que tradicionalmente abastecieron a comunidades aymaras y quechuas. Estas comunidades dependen de dichos acuíferos para el riego de bofedales, el abastecimiento humano y la ganadería de camélidos, por lo que la pérdida de agua no representa solamente un desequilibrio técnico, sino una amenaza directa a modos de vida ancestrales, con profundos efectos culturales y sociales.

A esto se suma la aparición de subsidencia, un fenómeno geológico que ocurre por el descenso del nivel freático. La compactación de sedimentos provoca hundimientos diferenciales del terreno, afectando la estabilidad física del salar, alterando la topografía, y modificando los gradientes de salinidad y los patrones de escurrimiento superficial. Esto compromete no solo la dinámica ecológica de los humedales altoandinos, sino también la capacidad de regeneración del ecosistema.

Los resultados también ponen de manifiesto una contradicción estructural entre el discurso estatal sobre la soberanía del litio y la gestión real del recurso hídrico. Aunque Bolivia ha invertido más de 500 millones de dólares en infraestructura industrial entre 2008 y 2021, no se ha destinado una parte proporcional de estos recursos a restauración ecológica, investigación hidrogeológica o innovación en tecnologías de bajo impacto. Esta omisión revela un modelo centrado exclusivamente en la extracción, sin una estrategia clara de sostenibilidad ambiental.

En términos de gobernanza, la centralización de la toma de decisiones en manos de YLB ha derivado en una gestión tecnocrática, con escasa transparencia y nula participación comunitaria. Las denuncias por la falta de consulta previa y por la exclusión sistemática de las comunidades del monitoreo y planificación ambiental confirman que la lógica extractivista permanece intacta, a pesar de un cambio en los actores institucionales.

La comparación con los salares de Atacama (Chile) y Olaroz-Cauchari (Argentina) ilustra estas desventajas. Bolivia no solo enfrenta un mayor costo hídrico y ambiental, sino que además exhibe



rezagos en eficiencia tecnológica y gobernanza participativa. La sostenibilidad a largo plazo del modelo boliviano se ve así seriamente comprometida, tanto desde un punto de vista ecológico como económico y social.

Un ejercicio numérico ayuda a dimensionar el problema. Si Bolivia cumple su objetivo de producir 20.000 toneladas anuales de carbonato de litio, necesitará 30 millones de metros cúbicos de agua dulce por año. Esto equivale al consumo anual de 513.700 personas (usando como referencia 160 litros por día) o a 12.000 piscinas olímpicas. Aunque este volumen representa solo el 1,42% de la recarga máxima teórica del salar (2.116 millones de m³ por año), esta cifra es engañosa: la baja infiltración debido a los sedimentos salinos impide que esa recarga llegue efectivamente a los acuíferos explotados. En consecuencia, el estrés hídrico es mucho más severo en los puntos específicos de extracción.

En términos económicos, los costos de mitigar el impacto hídrico son elevados:

- Costo bajo (2 USD/m³): 60 millones USD/año.
- Costo promedio (3 USD/m³): 90 millones USD/año.
- Costo alto (6 USD/m³): 180 millones USD/año.

Dado que el ingreso bruto estimado por la venta de litio sería de 300 millones USD anuales (20.000 ton × 15.000 USD/ton), el costo de mitigación representa entre el 20% y el 60% de esos ingresos. Este análisis evidencia una paradoja estructural: internalizar los costos ambientales reales comprometería la rentabilidad económica del modelo boliviano, poniendo en duda su viabilidad a largo plazo.

Más preocupante aún es el hecho de que el litio, mineral de mucho valor para enfrentar el cambio climático global, esté siendo extraído en Uyuni mediante prácticas que agravan la degradación ambiental local. Así, el discurso de desarrollo sostenible corre el riesgo de convertirse en una narrativa vacía si no se incorporan principios de justicia hídrica, respeto ecológico y participación territorial en la política de industrialización.

La sostenibilidad del litio en Bolivia no puede evaluarse exclusivamente por toneladas exportadas o divisas generadas. Debe contemplar también el equilibrio entre rentabilidad económica y conservación ecológica, el derecho de las comunidades a participar en la gobernanza de los recursos y la necesidad urgente de adoptar tecnologías que reduzcan el impacto sobre los acuíferos. Solo así



Bolivia podrá construir un modelo de desarrollo que no reproduzca el extractivismo histórico, sino que inaugure una nueva forma de relación entre el Estado, la naturaleza y los pueblos que habitan su territorio.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de una metodología mixta, multiescalar e interdisciplinaria, permiten establecer un conjunto de conclusiones críticas sobre la sostenibilidad hídrica del modelo extractivo de litio en el Salar de Uyuni. En primer lugar, se confirma que el sistema hidrogeológico del salar es extremadamente frágil, con acuíferos de baja recarga, largos tiempos de residencia del agua y una alta vulnerabilidad frente a procesos de salinización inducida. Esta condición estructural contradice profundamente la lógica intensiva del modelo de evaporación solar, que requiere grandes volúmenes de agua dulce en un ecosistema que apenas puede reponerse.

En segundo lugar, la comparación regional de la huella hídrica sitúa a Uyuni como el caso más crítico del Triángulo del Litio, con un consumo promedio de 1.500.000 litros de agua por tonelada de litio, superando significativamente a sus pares de Atacama y Olaroz-Cauchari. Esta desventaja no sólo obedece a factores naturales como la menor concentración de litio, sino también a la ausencia de tecnologías modernas como la extracción directa (DLE), que permitirían reducir la presión sobre los acuíferos.

Desde una perspectiva socioambiental, el estudio evidencia que los efectos del bombeo no se limitan a una reducción cuantitativa del agua disponible. La degradación progresiva de los acuíferos marginales compromete directamente los modos de vida de comunidades quechuas y aymaras, quienes dependen históricamente de estos sistemas para la agricultura, la ganadería y el abastecimiento doméstico. Asimismo, la subsidencia detectada en distintas zonas del salar pone en riesgo la estabilidad geomorfológica del ecosistema, afectando tanto su topografía como su funcionalidad ecológica.

En el plano institucional, se identifican severas limitaciones en la gobernanza del agua en torno al litio. La concentración del poder de decisión en la empresa estatal YLB, la opacidad en la información hidrogeológica y la ausencia de consulta y monitoreo participativo, reproducen una lógica tecnocrática extractivista. Esto es especialmente preocupante dado que el modelo boliviano se

presenta discursivamente como una alternativa soberana y sostenible frente a las prácticas históricas de explotación de recursos naturales.

Desde una mirada económica, los datos disponibles permiten calcular que el costo de mitigar adecuadamente el impacto hídrico mediante reinyección, compensación o restauración podría oscilar entre los 60 y 180 millones de dólares anuales, lo cual representa entre el 20% y el 60% de los ingresos brutos por ventas de litio. Esto plantea una disyuntiva clave: sin internalizar estos costos, la rentabilidad del modelo es artificial; al asumirlos, la viabilidad económica del proyecto se vuelve incierta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Noticias Fides (ANF). (2023).

YLB sólo ejecutó el 47% del presupuesto asignado al litio en los últimos 13 años.

Recuperado de: <https://anf.bo>

Argento, B., & Puente, C. (2019). Entre el boom del litio y los derechos de la naturaleza. CLACSO.

Argento, L., & Puente, C. (2019). Entre el boom del litio y la disputa por el agua: tensiones socioambientales en los salares del altiplano sur. CLACSO. <https://www.clacso.org.ar/libreria-latinoamericana>

Centro de Documentación e Información Bolivia (CEDIB). (2020). Litio y soberanía: Tensiones socioambientales en el altiplano boliviano. CEDIB. <https://cedib.org>

CONICET. (2021). Diagnóstico hidrológico y ambiental de los salares altoandinos y su relación con la minería de litio. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

CONICET. (2021). Informe binacional sobre la dinámica hídrica en salares andinos. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina).

El País. (2025). Bolivia proyecta dos megaplantas de litio con inversión extranjera. Edición digital. Recuperado de <https://elpais.com/america/bolivia>

Fornillo, B. (2019). Geopolítica del litio: Industria, ciencia y energía en Argentina. Editorial El Colectivo.

International Energy Agency (IEA). (2022). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.



<https://www.ica.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

Lunasco, E., Chacón, D., & YLB. (2024). Evaluación del modelo estatal del litio en Bolivia: Producción, consumo de agua y retos tecnológicos. Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB).

Lunasco, L., Carvajal, G., & Villavicencio, J. (2024). Informe técnico sobre la cadena productiva del litio en Bolivia y su sostenibilidad hídrica. Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) / RECITES.

Obaya, M., Rotondo, D., & Vázquez, P. (2020). Litio y desarrollo en el Cono Sur: oportunidades y desafíos para una inserción sustentable en la transición energética global. Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT) / Fundación Friedrich Ebert. Disponible en: <https://www.fes.de/de/publikationen/litio-y-desarrollo-en-el-cono-sur>

Romeo, F. (2021). La amenaza invisible: subsidencia en salares altoandinos. Revista Latinoamericana de Geomorfología, 12(2), 45–64.

Romeo, N. (2021). La minería de litio y la amenaza de la subsidencia en los salares altoandinos. Instituto de Investigaciones Geológicas Ambientales.

Sticco, I., Vargas, V., & Farfán, J. (2018). Estudios hidrogeológicos del Salar de Uyuni y riesgos de sobreexplotación de acuíferos. Departamento de Geociencias, Universidad Mayor de San Andrés – Bolivia.

Sticco, M., Lutz, A., & Medina, R. (2018). Evaluación hidrogeológica del Salar de Uyuni. Universidad Nacional de Salta / ISES-CONICET.

Ströbele-Gregor, J. (2012). El mito de la industrialización del litio en Bolivia: actores, discursos y contradicciones. Heinrich Böll Stiftung. <https://boell.org/es/2012/10/15/mito-industrializacion-litio>

United States Geological Survey (USGS). (2023). Lithium Commodity Summary 2023. U.S. Department of the Interior.

United States Geological Survey (USGS). (2023). Mineral Commodity Summaries: Lithium. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov>

