

Plan a Largo Plazo de Salton Sea

Anexo C: Uso y Disponibilidad de Agua para la Extracción de Litio

Marzo de 2024



PROGRAMA DE GESTIÓN DE SALTON SEA



CALIFORNIA
NATURAL
RESOURCES
AGENCY



Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

Índice

Anexo C: Uso y Disponibilidad de Agua para la Extracción de Litio.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Posibles Impactos Ambientales	2
1.3. Conclusiones	4
1.4. Referencias.....	5

Lista de Tablas

Tabla 1. Uso anual estimado de agua dulce para la producción de Li en el campo geotérmico de Salton Sea.....	4
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Siglas

CEC	Comisión de Energía de California (California Energy Commission)
DEL	extracción directa de litio (direct extraction of lithium)
GHG	gas de efecto invernadero (greenhouse gas)
Li	litio
MW	megavatios (megawatts)
SSGF	Campo Geotérmico de Salton Sea (Salton Sea Geothermal Field)
SSMP	Programa de Gestión de Salton Sea (Salton Sea Management Program)

Esta página se dejó en blanco intencionalmente.

Anexo C: Uso y Disponibilidad de Agua para la Extracción de Litio

1.1. Introducción

Estados Unidos tiene una gran fuente nacional de litio (Li) en salmueras geotérmicas en el Campo Geotérmico de Salton Sea (SSGF) del sur de California, donde las estimaciones de transferencia de Li en las plantas geotérmicas existentes superan las 24,000 toneladas métricas por año, según las operaciones de plantas geotérmicas en 2019 (~350 MW [megavatios] de capacidad) (Warren, 2021).

De acuerdo con un modelo conceptual geotérmico actualizado recientemente del SSGF (Kaspereit et al., 2016), se ha estimado que el SSGF tiene una reserva total de 2,950 MW de capacidad de generación de electricidad, una reserva potencial de 2,000 kilotonnes métricos de Li, con una tasa de producción anual potencial de ~600,000 toneladas por año de carbonato de litio equivalente (McKibben et al., 2020; Ventura et al., 2020). Esto equivale a ~7.2 mil millones de dólares estadounidenses en ingresos anuales en base a un precio de carbonato de Li de \$12,000/tonelada.

El Estado de California tiene algunos de los objetivos de generación de energía renovable y mitigación de gases de efecto invernadero (GHG) más agresivos a nivel mundial. La producción de energía eléctrica geotérmica del SSGF es una fuente de energía renovable que ayudará a California a cumplir sus objetivos legislados. A diferencia de la energía eólica o solar, la energía geotérmica no tiene problemas de intermitencia y proporciona una capacidad de carga base estable con una emisión mínima de GHG. Sin embargo, los costos iniciales de desarrollar plantas de energía geotérmica son muy altos, con ciclos de construcción mucho más largos en comparación con la energía eólica y solar. Estos costos podrían abordarse en parte mediante la producción de Li a partir de plantas geotérmicas. La concentración de Li relativamente alta en las salmueras geotérmicas de Salton Sea brinda la oportunidad de proporcionar un suministro interno seguro y estable de Li que podría satisfacer todas las necesidades potenciales de EE. UU. El desarrollo económicamente sustentable de la energía geotérmica renovable se puede lograr mediante la integración del desarrollo geotérmico y la producción de Li a partir de salmueras geotérmicas en el SSGF.

La amplia investigación y desarrollo durante varias décadas han demostrado la viabilidad de extraer Li de las salmueras geotérmicas en el SSGF (ver Warren 2021 y referencias). Se han propuesto muchas técnicas y estrategias de proceso para la extracción directa de Li (DEL) de salmueras geotérmicas. Estas se pueden categorizar generalmente en técnicas de adsorción, intercambio iónico y extracción por solvente. De estas tecnologías, las que actualmente avanzan hacia la demostración a escala piloto y casi comercial utilizan técnicas de adsorción/desorción e intercambio de iones. Actualmente, hay tres proyectos de campo planificados y en curso para integrar la extracción geotérmica y de litio en el SSGF (BHER Minerals, 2020, Energy Source Minerals, 2021, Controlled Thermal Resources, 2020a, b). Las tecnologías de DEL también presentan la oportunidad de aumentar la sustentabilidad y reducir los impactos ambientales

generales en comparación con los métodos tradicionales de evaporación y minería } para producir Li.

Este anexo proporciona una breve descripción de los posibles impactos ambientales del desarrollo geotérmico integrado y la producción de Li en la región de Salton Sea, en el contexto de los esfuerzos de restauración que se están implementando como parte del Programa de Gestión de Salton Sea (SSMP).

1.2. Posibles Impactos Ambientales

En general, se espera que el desarrollo geotérmico integrado y la producción de Li en el SSGF tengan bajas emisiones de GHG, y los posibles impactos en la calidad del agua se gestionarán mediante la reinyección de salmueras efluentes y aguas residuales en el embalse de origen. Dos problemas ambientales clave conocidos son (1) la sismicidad inducida debido al bombeo continuo y la inyección de una gran cantidad de salmuera desde/hacia el embalse y (2) el uso para el consumo de agua dulce asociado con los procesos de producción de Li en el área árida de Salton Sea.

SÍSMICA INDUCIDA. Una preocupación sobre impacto ambiental del desarrollo geotérmico integrado futuro y la producción de Li en el SSGF es el potencial de sismicidad inducida debido al aumento del bombeo y la reinyección de salmueras geotérmicas, un fenómeno bien conocido asociado con las operaciones a gran escala de inyección y extracción de fluidos del subsuelo. Esta preocupación es de particular interés en el SSGF ya que se encuentra dentro de una región tectónicamente activa de muchas fallas regionales activas, incluida la Falla de San Andrés, que se encuentra cerca. Según los datos de monitoreo sísmico (Brodsky y Lajoie, 2013; Trugman et al, 2016), la tasa sísmica en el área fue inicialmente baja durante el período de operaciones geotérmicas de bajo nivel antes de 1986. A medida que se expandieron las operaciones, también lo hizo la sismicidad. La tasa sísmica aumentó desde mediados de la década de 1980 hasta principios de la década de 1990, durante la cual la mayoría de las actividades de desarrollo geotérmico tuvieron lugar en el SSGF. Después de eso, la tasa de sismicidad se mantuvo relativamente estable a pesar del desarrollo geotérmico continuo (aunque a una tasa más baja) en el área.

Con base en los eventos de sismicidad mapeados de 1981 a 2012, Brodsky y Lajoie (2013) concluyeron que la sismicidad del SSGF está dominada por pequeños terremotos, y la distribución de magnitud sigue la relación de Gutenberg-Richter: la cantidad de terremotos de magnitud mayor o igual a M es proporcional a $\sim 10^{-0.99M}$. El terremoto de mayor magnitud registrado en el SSGF es de 5.1, que ocurrió en agosto de 2005. Según el análisis de Brodsky y Lajoie (2013), el riesgo de desencadenar un terremoto dañino debido al desarrollo geotérmico en Salton Sea es relativamente bajo.

Históricamente, las salmueras geotérmicas se han producido a partir del embalse a una temperatura de ~ 450 a 480°F , y las salmueras efluentes se reinyectan en el embalse a una temperatura de 205 a 230°F . Cuando se combina con la extracción de Li de las salmueras, las salmueras inyectadas pueden ser más frías que la temperatura normal actual de reinyección de la planta de energía. No está claro en base a los datos disponibles al público cuál sería probablemente el rango de temperatura del inyectado después de la extracción del Li. El inyectado más frío podría promover actividades sísmicas dentro del embalse. El modelado del

embalse teniendo en cuenta los efectos termoelásticos podría aclarar la importancia de los impactos en el estado de estrés del embalse y el potencial de deslizamiento sobre fallas debido a la inyección de salmueras más frías.

USO DE AGUA DULCE PARA EL CONSUMO. Las operaciones de plantas de energía geotérmica en SSGF requieren un uso limitado de agua dulce. La mayor parte del agua dulce se obtiene del agua del canal del Distrito de Riego de Imperial (IID) y se usa principalmente para preparar soluciones ácidas diluidas para controlar la acumulación de sílice, agua de reposición de la torre de enfriamiento suplementaria, acondicionamiento/tratamiento de salmueras durante los ciclos de generación de energía y dilución de salmueras antes de la reinyección y uso portátil (CEC, 2003; CEQA Report-Hell's Kitchen PowerCo 1 and LithiumCo 1 Project, 2022; CEQA Report- Energy Source Mineral ATLAS Project, 2021). Si bien la cantidad exacta de agua dulce utilizada para las operaciones normales de la planta de energía geotérmica en el SSGF no proviene de fuentes públicas, según información muy limitada en solicitudes de permisos y documentos ambientales (CEC, 2003; CEQA Report-Hell's Kitchen PowerCo 1 and LithiumCo 1 Project, 2022), el uso estimado de agua dulce está en el rango de ~1.58 a 4 acres-pies por año por capacidad de generación de MW. Con la capacidad de generación geotérmica actual de ~350MW, el uso anual de agua dulce para las operaciones de la planta de energía geotérmica de Salton Sea está aproximadamente en el rango de 550 a 1,400 acres-pies por año. Aproximadamente al doble de la capacidad de generación (700 MW), el uso de agua dulce sería de ~1,110 a 2,800 acres-pies por año.

Pese a la extensa bibliografía sobre varias tecnologías de extracción directa de Li, hay información limitada disponible en el dominio público sobre el uso del agua dulce asociado con los diversos procesos de extracción de Li basados en sorbentes e intercambiadores de iones que se han propuesto en el SSGF (Harrison, 2014; Ventura et al., 2018; Ventura et al., 2020), en gran parte debido a la naturaleza patentada de estas diversas tecnologías de extracción. El agua dulce se usa principalmente para enfriar el agua de reposición a fin de enfriar las salmueras a las temperaturas óptimas deseadas, las soluciones de reposición para el pretratamiento/acondicionamiento de las salmueras para controlar la precipitación mineral (p. ej., sílice, hierro, etc.), para preparar diversas aguas de proceso, incluidas las soluciones ácidas y alcalinas de composiciones químicas y valores de pH deseados para usar en todas las etapas de los procesos de extracción, purificación, concentración y conversión de Li, y para preparar soluciones para regenerar sorbentes o intercambiadores de iones y soluciones para extraer Li absorbido y otros metales (p. ej., zinc, manganeso, etc.) del agua de lavado. Por ejemplo, Harrison (2014) señaló que se requieren entre 6 y 9 L de agua de lavado por kg de Li_2CO_3 debe lavar los precipitados de Li_2CO_3 antes de las etapas de purificación y concentración corriente abajo. Ventura et al. (2020) informaron sobre el uso de agua desionizada cargada con CO_2 para extraer Li absorbido y regenerar sus sorbentes/intercambiadores de iones patentados, sin ninguna información sobre la cantidad de agua desionizada que se requería para su proceso.

Algunas solicitudes de permisos y documentos ambientales presentados para desarrollar proyectos integrados de energía geotérmica y de extracción de Li en el SSGF indicaron el uso de agua dulce para las operaciones de la planta y la producción de Li dirigida (CEC, 2003; CEQA Report-Hell's Kitchen PowerCo 1 and LithiumCo 1 Project, 2022; CEQA Report-Energy Source Mineral ATLAS Project, 2021). A continuación, se resume el uso de agua para la extracción de Li asociado con estos proyectos, por unidad de producción de Li:

Anexo C: Uso y Disponibilidad de Agua para la Extracción de Litio

- Proyecto de Demostración de BHER Minerals, financiado por la Comisión de Energía de California (CEC)
 - Tecnología: intercambiador de iones
 - Uso de agua dirigido: 0.154 acres-pies/tonelada de Li_2CO_3
- Energy Source Minerals (proyecto ATLiS)
 - Tecnología: adsorción-desorción
 - ~20,000 toneladas/año de LiOH equivalente
 - ~0.18 acres-pies/tonelada de Li_2CO_3
 - ~3,400 acres-pies de uso anual de agua
- Control Thermal Resources: Proyecto Hell's Kitchen
 - Tecnología: intercambiador de iones
 - ~17,000 toneladas/año de Li_2CO_3 equivalente
 - ~0.382 acres-pies/tonelada de Li_2CO_3

Los documentos ambientales citados anteriormente brindan estimaciones razonables del uso general de agua asociado con la producción de Li, como se muestra en la Tabla 1 (usando los límites superior e inferior de las tasas de uso de agua unitarias de los números anteriores). Si la extracción de Li se combinara con los niveles actuales de generación geotérmica (350 MW), el uso de agua estaría en el rango de 13,938 a 34,574 acres-pies por año. Los números aumentarían proporcionalmente a niveles más altos de generación geotérmica y producción de Li, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Uso anual estimado de agua dulce para la producción de Li en el campo geotérmico de Salton Sea.

Capacidad de generación (MW)	Potencial de producción anual de Li proyectado (toneladas métricas) tons**)	Uso anual proyectado de agua dulce en la escala completa de producción de Li (acres-pies por año)
350*	17,000	13,938 – 34,574
700	40,000	32,796 – 81,351
1,000	60,000	48,960 – 121,445

* 350 MW es la generación de energía geotérmica actual en el Campo Geotérmico de Salton Sea

** Para convertir de litio a carbonato de litio se multiplica por 5,324, así 17.000 toneladas de Li corresponden a 90.508 toneladas de carbonato de litio. **

1.3. Conclusiones

En general, el desarrollo geotérmico integrado y la producción de Li en SSGF tendrán descargas directas limitadas. Todas las salmueras efluentes y las aguas residuales de los ciclos de producción se reinyectarán en el embalse profundo, por lo que el riesgo de contaminación del agua es bajo. Las operaciones de la planta emiten poco GHG y tienen un impacto insignificante en la calidad del aire. Después de la construcción de las plantas, el aumento de la cobertura del suelo con edificios y la superficie del suelo pavimentado podría ayudar a reducir las emisiones de polvo. Las posibles repercusiones medioambientales de los proyectos específicos de geotermia y

litio se evaluarán en documentos individuales de conformidad medioambiental, y no forman parte del ámbito de este Plan a Largo Plazo.

Con base en la historia de casi cuatro décadas de desarrollo de plantas de energía geotérmica y registros de mapeo de sismicidad en el área, es probable que el riesgo de terremotos dañinos provocados por el desarrollo continuo de energía geotérmica en el Campo del Embalse de Salton Sea sea bajo. Sin embargo, el enfriamiento adicional de las salmueras geotérmicas durante los procesos de producción de Li antes de la reinyección inducirá cambios en el estado de estrés del embalse profundo alrededor de los pozos de inyección. La temperatura del inyectado después de la extracción de Li de las salmueras es poco clara. El terremoto de mayor magnitud observado en el SSGF fue M5.1, que ocurrió en agosto de 2005. Por lo tanto, se deben tomar precauciones al diseñar y construir edificios y bermas en el área para evitar posibles eventos de licuefacción asociados con terremotos provocados por operaciones de bombeo e inyección.

Con la capacidad de generación de energía geotérmica actual de 350MW en el SSGF, se podría alcanzar una producción anual de 17,000 toneladas métricas de Li mediante el procesamiento de salmueras geotérmicas efluentes después de la generación de energía. A esta tasa de producción anual de Li, se necesitan alrededor de 13,938 a 34,574 acres-pies de agua dulce por año durante varias etapas de los procesos de extracción, purificación, concentración y conversión de Li. Todos los proyectos de producción de Li propuestos actualmente en Salton Sea planean comprar agua dulce del agua del canal del IID para riego. Se espera que el agua se utilice en su totalidad para el consumo, ya que se evapora o se inyecta en formaciones profundas y no se devuelve al entorno cercano a la superficie. La cantidad de agua necesaria para la extracción de Li, además de la necesaria para la producción geotérmica, no es insignificante, particularmente dentro del área árida del Salton Sea, y debe considerarse en el balance hídrico general para la planificación del proyecto de restauración.

1.4. Referencias

Brodsky, E.E. y Lajoie, L.J., 2013. Anthropogenic seismicity rates and operational parameters at the Salton Sea Geothermal Field. *Science*, 341(6145), pp. 543-546.

BHER Minerals. 2020. "Salton Sea Geothermal Lithium Recovery Demonstration Project". California Energy Commission Agreement EPC-019-020. <https://www.energy.ca.gov/filebrowser/download/293>

CEC, 2003. Salton Sea Geothermal Unit #6 Power Project Application For Certification (02-AFC-2), P800.03.021.

CEQA Report, 2021. Environmental Impact Report for The Energy Source Mineral ATLAS Project Imperial County, California.

CEQA Report, 2022. Initial Study & Environmental Analysis for Hell's Kitchen PowerCo 1 and LithiumCo 1 Project, preparado por el Departamento de Servicios de Planificación y Desarrollo del Condado de Imperial.

Controlled Thermal Resources, 2020a. "Hell's Kitchen Geothermal Lithium Extraction Pilot." California Energy Commission Agreement EPC-19-018. <https://www.energy.ca.gov/filebrowser/download/1599>

Controlled Thermal Resources, 2020b. "Improved Silica Removal for Enhanced Geothermal Plant Performance." California Energy Commission Agreement EPC-19-029.
<https://www.energy.ca.gov/filebrowser/download/1799>

Energy Source Minerals, 2021. <https://www.esminerals.com>

Harrison, S., 2014. Technologies for extracting valuable metals and compounds from geothermal fluids. California Energy Commission. Número de publicación: CEC-500-2015-023.

Kaspereit, D., Mann, M., Sanyal, S., Rickard, B., Osborn, W. y Hulen, J., 2016. Updated conceptual model and reserve estimate for the Salton Sea geothermal field, Imperial Valley, California. Geotherm. Res. Council Trans, 40, pp. 57-66.

McKibben, M.A., Elders, W.A. y Raju, A.S., 2020. Lithium and other geothermal mineral and energy resources beneath the Salton Sea. Crisis at the Salton Sea: Research Gaps and Opportunities, pp. 107-122.

Trugman, D. T., P. M. Shearer, A. A. Borsa y Y. Fialko, 2016. A comparison of long-term changes in seismicity at The Geysers, Salton Sea, and Coso geothermal fields, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, doi:10.1002/2015JB012510.

Ventura, S., S. Bhamidi y M. Hornbostel. 2018. Selective recovery of lithium from brines. 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University.

Ventura, S., S. Bhamidi, M. Hornbostel, A. Nagar, 2020. Selective Recovery of Lithium from Geothermal Brines. California Energy Commission. Número de publicación: CEC-500-2020-020.

Warren, Ian, 2021. Techno-Economic Analysis of Lithium Extraction from Geothermal Brines. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5700-79178. Disponible en:
<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/799178.pdf>

©2024



PROGRAMA DE GESTIÓN DE SALTON SEA



CALIFORNIA
NATURAL
RESOURCES
AGENCY

