

COMPROBANTE DE TRAZABILIDAD

23-03-2026 16:32

Tipo de Proceso Comunicación oficial	Id 4848940	Fecha Creación 23-03-2026 09:55
Estado OPE: Recepción total	Folio OF. 0880 FECHA 23-03-2026	Fecha Folio 23-03-2026 11:23
Tipo de Documento Oficios	Reservado No	Datos Sensibles No
Tema Respuesta SEA - Reclamación Sales de Potasio SLM NX UNO de Peine		
Descripción Emite respuesta a solicitud de informe en el marco de la revisión del recurso de reclamación interpuesto en contra de la resolución exenta N°202502001149/2025		
Institución Remitente Servicio Nacional de Geología y Minería		
Institución Destinataria Servicio de Evaluación Ambiental		
Procedimiento Administrativo No asociado		

RESUMEN DE TRAMITACIÓN**INICIO**

Creador	Fecha Inicio	Fecha Creación
Ana María Urrea Gómez Servicio Nacional de Geología y Minería	23-03-2026 09:19	23-03-2026 09:55

FIRMA

Firmante	Fecha	Motivo Rechazo
Lista 1 de firmantes		
Mauricio Alejandro Lorca Miranda Director Nacional (S) Servicio Nacional de Geología y Minería	23-03-2026 11:13 Firmado	---

FOLIO Y DESPACHO

OPS

OP_Servicio Nacional de Geología y Minería

Folio

OF. 0880 FECHA 23-03-2026

Responsable	Fecha	Motivo Rechazo
Julia Ester Gómez Garín Servicio Nacional de Geología y Minería	23-03-2026 11:23 Despachado	---

DESTINATARIO

Entidad Destinataria
Servicio de Evaluación Ambiental
OPE: OP_Servicio de Evaluación Ambiental

Estado Acuse Recibido	Fecha	Devolución (causal)
Acuse recibido	23-03-2026 16:31	---
Usuarios Derivados		Fecha
Valentina Alejandra Durán Medina		23-03-2026 16:31

OF.ORD.

ANT.: Documento Digital N°2025991021026 de fecha 21/11/2025, Servicio de Evaluación Ambiental

MAT.: Emite respuesta a solicitud de informe en el marco de la revisión del recurso de reclamación interpuesto en contra de la resolución exenta N°202502001149/2025, atingente al EIA del proyecto "Planta de Producción de Sales de Potasio, SLM NX Uno de Peine", cuyo titular es Sociedad Legal Minera Nx Uno De Peine.

Santiago,

**DE: MAURICIO LORCA MIRANDA
DIRECTOR NACIONAL (S)
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

**A: ARTURO FARIÁS ALCAÍNO
DIRECTOR EJECUTIVO (S)
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

De mi consideración,

Junto con saludar a Ud., a través del presente, cumplo con dar respuesta al tenor de lo requerido en los documentos singularizados en ANT., donde se solicita analizar **"si se proporcionaron los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar el cumplimiento del Permiso Ambiental Sectorial contenido en el artículo 88 del decreto supremo N°95, de 2001, del MINSEGPRES (antiguo Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), así como el cumplimiento del requisito para su otorgamiento, en particular, la descripción de la hidrogeología e hidrología del área de influencia, en consideración a que, según la Reclamante, dichos antecedentes los habría presentado en la Adenda N°8"**, en el marco de la revisión de un recurso de reclamación a que se refiere el artículo 20 de la ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en contra de la resolución exenta N° 202502001149, del 05 de agosto de 2025 ("RCA N°202502001149/2025"), de la Comisión de Evaluación de la Región de Antofagasta, que calificó desfavorablemente el EIA del Proyecto, del Proponente.

La revisión técnica consideró los documentos asociados a la modelación hidrogeológica presentados por el Titular en la Adenda N°8. En particular, se revisaron los siguientes componentes de la modelación:

- Anexo 1: Modelo Hidrogeológico Conceptual del Salar de Atacama
- Anexo 2: Informe Modelo Numérico de Flujo del Salar de Atacama
- Anexo 4: Informe Modelo Numérico de Densidad Variable

Los modelos hidrogeológicos desarrollados para la Adenda 8 (conceptual, numérico de flujo y de densidad variable) fueron elaborados conforme a los lineamientos establecidos en la "Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA" (SEA, 2012) y sus indicadores de ajuste se encuentran dentro de los rangos recomendados, por lo que representan de manera



adecuada el comportamiento del sistema acuífero a escala regional. No obstante, al tratarse de un modelo regional con tamaños de celda del orden de 250 a 500 m, presenta limitaciones para representar heterogeneidades hidrogeológicas locales de pequeña escala, por lo que no puede esperarse una precisión centimétrica en los resultados.

Los procesos de calibración y validación arrojan resultados satisfactorios, manteniendo los principales indicadores estadísticos, error medio cuadrático normalizado (nRMSE) y error absoluto medio (MAE), por debajo del 5%, valor consistente con las recomendaciones metodológicas. La fase de validación correspondiente al período 2020 - 2023 se implementó como una prueba ciega, manteniendo nRMSE y nMAE por debajo del 5% tanto para todo el dominio como para la zona Núcleo, en concordancia con la Guía SEA (2012). En los pozos de la red PC y PAT, ubicados en áreas ambientalmente sensibles, el error absoluto medio de los niveles simulados es del orden de 0,1 m, con una precisión global del modelo en estas áreas del orden de 0,5 m. En los sectores de alta sensibilidad hidrogeológica (pozos PC y PAT), el modelo reproduce los niveles observados con errores promedio del orden de decímetros, coherentes con una precisión esperable menor a 1 m para un modelo regional.

Los modelos presentados en la Adenda 8 integran información pública y antecedentes de los distintos operadores del Salar de Atacama (SQM, Albemarle, CMZ y el cese de operaciones de MEL en 2019), incorporando series de niveles y extracciones actualizadas hasta 2023. Esta integración a escala de cuenca permite evaluar el impacto acumulativo de las extracciones y reproducir de manera coherente procesos clave, como el cono de descenso en el núcleo del sistema y la tendencia de recuperación de niveles en el sector Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (MNT) posterior al cese de bombeo en 2019, aunque con mayor incertidumbre local en esta última zona. Adicionalmente, el modelo numérico incorpora un análisis de incertidumbre no lineal mediante la técnica PESTPP-IES, desarrollado a partir de 100 realizaciones de las cuales 90 resultan válidas para el análisis posterior, lo que permite cuantificar la variabilidad de las respuestas del sistema frente a distintos escenarios de extracción y recarga. Los resultados presentados en los Anexos 1 y 2 indican que, si bien persiste una mayor incertidumbre en sectores específicos del núcleo del salar y en MNT, en la zona marginal y en los pozos asociados a áreas protegidas las proyecciones de niveles se acotan dentro de bandas relativamente estrechas (errores medios del orden de decímetros y descensos adicionales milimétricos por el proyecto), lo que respalda un grado de confiabilidad alto para la evaluación de efectos en estos puntos. Este enfoque probabilístico usa múltiples simulaciones del modelo para estimar un rango de posibles niveles y descensos, en lugar de depender de un único resultado. De este modo, ayuda a cuantificar la incertidumbre en las proyecciones y a respaldar la definición y revisión de umbrales y acciones asociadas a los Planes de Contingencia y Planes de Alerta Temprana en las zonas ambientalmente sensibles del Salar de Atacama.

En términos de procesos, se utiliza MODFLOW-USG con correcciones de nivel por densidad y condiciones de dren bajo las lagunas, lo que permite representar de forma simplificada la dinámica de la cuña salina y evaluar que los regímenes de extracción no produzcan desplazamientos significativos de la interfaz que comprometan la disponibilidad de agua dulce. En el Anexo 2 se simularon 8 escenarios predictivos para el período 2024 - 2145, combinando las extracciones de NX Uno de Peine (CP), de terceros (RCA vigentes o proyectos en evaluación) y la presencia o ausencia de cambio climático (CC): SPRCA (SP + RCA vigentes), CPRCA (CP + RCA vigentes), SPRCACC (SP + RCA + CC, con reducciones de recarga del orden de 11,6–21,9% y un aumento de evaporación cercano a 8%), CPRCACC (CP + RCA + CC), SPEval (SP + proyectos en evaluación), CPEval (CP + proyectos en evaluación), SPEvalCC (SP + Eval + CC) y CPEvalCC (CP + Eval + CC).

Los Anexos 1 y 2 reconocen que el modelo regional reproduce de manera satisfactoria las tendencias generales del sistema, pero no representan con precisión ciertas variaciones



locales asociadas a procesos superficiales o a heterogeneidades de pequeña escala. En particular, se identifican discrepancias en la respuesta de algunos sistemas lagunares y en sectores como MNT, donde parte de las variaciones de nivel se atribuyen a cambios locales en la configuración de las lagunas, a condiciones de recarga muy localizadas y a procesos de superficie o de zona no saturada que no pueden ser resueltos por un modelo regional con celdas del orden de 250-500 m.

Asimismo, los sistemas lagunares de la zona marginal muestran una alta sensibilidad a los procesos de evaporación en lámina libre, que generan variaciones estacionales de nivel y un marcado aumento de la salinidad hacia el núcleo del salar. La morfología y composición de las costras salinas, junto con la presencia de obras y cauces artificiales en la cuenca, condicionan los patrones locales de escorrentía y acumulación de agua, de modo que la extensión y ubicación de los espejos de agua responden a controles muy finos que exceden la resolución del modelo regional. A esto se suma la respuesta puntual a eventos de precipitación intensa, en los que la escorrentía superficial y la recarga directa pueden producir aumentos bruscos de nivel en pozos y lagunas, efectos que el modelo numérico solo puede representar de forma agregada en términos de tendencias y no en el detalle de cada evento individual.

En el Anexo 1, el Titular dice:

- *“En la Zona Marginal se conjugan una serie de características geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas, que permiten la formación de sistemas lagunares y objetos de protección ambiental.”*
- *“En este sistema no se aprecia la presencia de canales que alimenten los cuerpos de agua, a diferencia de lo que ocurre en los sistemas de Peine y Soncor. Esto estaría indicando que las surgencias de agua subterránea se producen en las mismas lagunas o muy cerca de ellas.”*
- *“Por otra parte, los datos de CE en pozos (Figura 7-10) indican espesores entre 10 y 20 m. Del registro histórico de los perfiles de CE en el pozo L4-3 se aprecia un rango entre 10 y 18 mS/cm en los primeros 30 m del pozo y variaciones entre 212 y 250 mS/cm bajo los 50 m de profundidad. Estas variaciones podrían estar asociadas a flujos dentro de la interfaz, sin embargo, las limitaciones en la cantidad de registros en profundidad no permiten determinar con certeza la dinámica dentro de esta zona de mezcla.”*
- *“Cuando ocurren precipitaciones importantes, la recarga aumenta, y se observan ascensos en los niveles, que en algunos casos son mayores en pozos de la zona Núcleo Salar respecto a la zona Marginal. Estos ascensos se explicarían en parte por la infiltración directa de las precipitaciones, pero, además, por una recarga por escorrentía superficial a subsuperficial somera proveniente desde fuera del salar.”*
- *“Las extracciones de agua industrial salobre desde la zona Borde Este generan un descenso de los niveles del acuífero en las inmediaciones de los pozos de bombeo, pero no han afectado significativamente los niveles del acuífero en la zona Marginal, en el entorno de las lagunas. Los niveles superficiales de las lagunas se han mantenido estables durante todo el periodo de monitoreo y muestran variaciones estacionales naturales debido a la evaporación (Figura 7-23). No obstante, en algunos de los puntos someros ubicados en el entorno de las lagunas La Punta y La Brava, en particular en el pozo BA-07, se ha observado un descenso sostenido de los niveles, lo que implicaría que pudiese existir una influencia de las extracciones de salmuera en el núcleo del salar con los efectos de las zonas marginales. Estos aspectos deberán ser analizados en detalle con los modelos numéricos a construir para la evaluación del proyecto, a fin de determinar la real conexión entre ambos sistemas.”*
- *“Cabe señalar que estos aspectos deben analizarse en mayor detalle con los modelos numéricos a desarrollar en el presente estudio, para evaluar efectivamente los*



potenciales efectos del proyecto en dichas áreas. No obstante, es importante señalar que, en función de la ubicación del proyecto (en la zona más alejada de los objetos de protección presentes en la cuenca, y en una zona de menores transmisividades que el margen este del salar), así como los caudales de extracción proyectados, correspondientes a una porción muy reducida de la extracción total actual en la cuenca (entre un 12% y 16%), se estima que el proyecto no debiese tener una influencia significativa en los sistemas de protección presentes en la cuenca."

En el Anexo 2, el Titular dice:

- *"Finalmente, es importante mencionar que el modelo de flujo corresponde a una simplificación del modelo conceptual. Es decir, si bien reproduce satisfactoriamente las tendencias y niveles medidos en la cuenca, no considera todos los procesos que ocurren en el sistema, como la mezcla entre el agua dulce y salmuera o la interacción entre el agua superficial y subterránea. Por otro lado, al tratarse de un modelo regional de gran escala, no puede esperarse una precisión centimétrica en los resultados, sobre todo en sectores con presencia de agua dulce en los cuales se ha aplicado la corrección de niveles equivalentes de salmuera. Por ello, en el proceso de calibración se privilegió una mejor representación cualitativa de las tendencias por sobre la minimización del error numérico."*
- *"En particular, para el sector de Monturaqui se presentan las gráficas en términos de niveles (Figura 4-12) y de descensos (Figura 4-13) debido a que en esta zona los niveles medidos corresponden netamente a columna de agua dulce, por lo que la corrección a niveles equivalente de salmuera es menos precisa. Es por esto que, más que representar la magnitud de los niveles, se considera aceptable y satisfactorio representar las tendencias de los niveles simulados. De la Figura 4-12 se observa que hay zonas donde los niveles son subestimados por el modelo (NEP-10) y otras donde son sobrestimados (MEC-1, M-5, M-16, M-14 y M-23). En cuanto a los descensos graficados en la Figura 4-13 se observa que hay pozos donde la tendencia se ajusta satisfactoriamente (M-5), otros donde los descensos son ligeramente sobrestimados (MEC-1, M-16 y M-23) y otros donde los descensos son subestimados (NEP-10 y M-14)."*
- *"En términos del almacenamiento, menores almacenamientos producen descensos mayores que mayores almacenamientos, acentuándose más la variación estacional. Si bien con almacenamientos menores se obtiene un mejor ajuste de niveles y menores estadísticos (nRMSE y nMAE) que con los parámetros calibrados, el modelo no logra reproducir las extracciones históricas que el modelo calibrado sí."*
- *"Finalmente, el análisis de sensibilidad muestra que el sector de Monturaqui es el más sensible a los parámetros de conductividad, almacenamiento y recarga."*

A partir de lo anterior, es posible concluir que:

- La conclusión de "no significancia" de los impactos se basa en estimaciones preliminares y supuestos generales, más que en una verificación detallada y robusta. Aunque se sostiene que el proyecto no debiese influir significativamente en los sistemas de protección por su localización, las menores transmisividades y su baja proporción respecto de las extracciones totales, esa afirmación queda explícitamente supeditada al desarrollo y perfeccionamiento de modelos numéricos futuros que permitan evaluar efectivamente los efectos del proyecto.
- Al mismo tiempo, el propio Titular reconoce limitaciones relevantes del modelo numérico, particularmente en el sector Monturaqui, donde el ajuste entre niveles y descensos simulados y observados es heterogéneo, con sobrestimaciones y subestimaciones según el pozo. En esta zona se privilegia la reproducción de las tendencias generales por sobre la precisión de los valores absolutos, debido a las incertidumbres asociadas a la corrección de los niveles medidos a cotas equivalentes



de salmuera. El análisis de sensibilidad muestra, además, que ciertos valores de almacenamiento mejoran los indicadores estadísticos de ajuste, pero impiden reproducir de manera adecuada la historia de extracciones, poniendo de manifiesto un compromiso entre el ajuste matemático del modelo y su coherencia hidrológica.

- Además, se indica que el sector de Monturaqui es el más sensible del sistema frente a variaciones en conductividad hidráulica, almacenamiento y recarga, lo que aumenta la incertidumbre de las predicciones justamente en una zona crítica. Esta alta sensibilidad, sumada al reconocimiento de que el modelo de flujo es una simplificación del modelo conceptual que no incorpora procesos como la mezcla de agua dulce - salmuera ni la interacción agua superficial - subterránea, lleva a que los propios autores recomienden interpretar los resultados con cautela y priorizar la lectura cualitativa de tendencias por sobre la precisión centimétrica de los valores simulados.
- En conjunto, estas consideraciones conducen a concluir que el Titular admite explícitamente las limitaciones, incertidumbres y simplificaciones del modelo numérico, y que las aseveraciones sobre impactos no significativos constituyen estimaciones preliminares y condicionadas, formuladas a partir de un modelo regional de carácter simplificado que requiere análisis adicionales para sustentar una evaluación definitiva de los efectos del proyecto.

En este contexto, los documentos de la Adenda 8 reconocen que el modelo numérico regional, construido con MODFLOW-USG y densidad constante, es adecuado para reproducir tendencias globales y evaluar escenarios de explotación a escala de cuenca, pero constituye una simplificación del modelo conceptual y no incorpora procesos clave como la mezcla agua dulce - salmuera ni la interacción explícita entre aguas superficiales y subterráneas. Por ello, los propios informes señalan que ciertos aspectos, particularmente la conexión entre el núcleo de salmuera y la zona marginal, así como los efectos locales sobre sistemas lagunares, deben ser analizados con modelos numéricos adicionales y de mayor detalle, lo que abre la necesidad de implementar modelos locales de mejor resolución espacial y temporal, potencialmente con formulaciones de densidad variable y/o transporte de solutos, y de integrar modelos hidrológicos superficiales específicos para las principales subcuencas aportantes.

La zona marginal y los sistemas lagunares Soncor, Aguas de Quelana, Peine y La Punta - La Brava son identificados en los anexos como objetos de protección ambiental y como áreas donde confluyen condiciones hidrogeológicas complejas (surgencias, interfaz salina, variaciones estacionales marcadas en niveles y salinidad), lo que las convierte en candidatas para una modelación local de mayor resolución que complementa el modelo regional. En particular, el sistema Soncor, integrado por las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar y una red de canales naturales y zonas de inundación estacional, requiere, desde el punto de vista técnico, modelos locales capaces de representar explícitamente la interacción acuífero - lagunas, la influencia de los flujos laterales subterráneos y la dinámica de la cuña salina del borde este, así como la respuesta de los ecosistemas a cambios en el régimen de extracción y en las condiciones climáticas. De manera análoga, la alta sensibilidad del acuífero MNT a variaciones en conductividad, almacenamiento y recarga, la relevancia hidrológica del delta del río San Pedro y Vilama, y la complejidad geométrica y estructural del borde oeste y sector suroccidental del Salar, justifican (como necesidad técnica derivada de los propios anexos), el desarrollo de modelos locales específicos que profundicen lo que hoy solo se representa a escala regional.

Adicionalmente, en la Adenda N°8 se presenta el documento "Anexo 4: Informe Modelo Numérico de Densidad Variable" cuyo objetivo es evaluar el comportamiento hidrogeológico del sistema considerando los efectos asociados a la variación de densidad del fluido, característica fundamental en ambientes salinos.



Este tipo de modelación permite representar procesos hidrogeológicos que no pueden ser adecuadamente descritos mediante modelos de flujo de densidad constante, tales como:

- La dinámica de la interfaz entre agua dulce y salmuera
- La migración de salmuera en respuesta a gradientes hidráulicos
- Los procesos de mezcla entre agua de distinta salinidad
- El desplazamiento potencial de la cuña salina producto de las extracciones

De acuerdo con los antecedentes presentados por el Titular, el modelo de densidad variable fue implementado con el objetivo de evaluar la estabilidad de la interfaz salina y estimar la eventual propagación de efectos hidráulicos desde las zonas de extracción hacia sectores periféricos del salar.

No obstante, el análisis de estos antecedentes permite identificar ciertas consideraciones relevantes desde el punto de vista técnico:

- Escala regional del modelo: Al igual que el modelo de flujo, el modelo de densidad variable se implementa sobre una discretización espacial regional, lo que limita su capacidad para representar con detalle procesos hidrogeológicos locales, particularmente en sectores donde existen interacciones complejas entre aguas subterráneas, lagunas superficiales y zonas de descarga.
- Representación simplificada de procesos hidrogeoquímicos: Si bien el modelo incorpora el efecto de densidad asociado a la salinidad, la representación de los procesos de mezcla y transporte de solutos se realiza mediante aproximaciones simplificadas, lo que introduce incertidumbre en la simulación de la evaluación de la interfaz salina y en la estimación de los gradientes de densidad en sectores de transición.
- Limitaciones para evaluar sistemas marginales: Los sistemas lagunares ubicados en la zona marginal del salar, como Soncor, Aguas de Quelana, Peine y La Punta - La Brava, presentan una dinámica hidrogeológica compleja que involucra surgencias de agua subterránea, interacción acuífero-laguna y procesos evaporíticos intensos. La representación adecuada de estos sistemas requiere una resolución espacial y conceptual mayor que la considerada en el modelo regional.
- Sensibilidad del sistema a parámetros hidrogeológicos: Sectores como Monturaqui-Negrillar-Tilopozo presentan una alta sensibilidad frente a variaciones en parámetros hidrogeológicos, tales como conductividad hidráulica, almacenamiento y recarga, lo que incrementa la incertidumbre asociada a las predicciones del modelo en dichas áreas.

Considerando conjuntamente los resultados del modelo de flujo regional y del modelo de densidad variable se observa que:

- Los modelos permiten representar de manera razonable el comportamiento general de sistema hidrogeológico a escala de cuenca, pero presentan limitaciones para evaluar con mayor detalle los procesos hidrogeológicos que controlan la dinámica de los sistemas marginales salar.

En particular, la evaluación de potenciales efectos sobre las lagunas del sistema Soncor, sistemas hidrogeológicos asociados a Peine, lagunas La Punta y La Brava y sector MNT, requieren modelos de mayor resolución espacial y conceptual, capaces de representar de manera explícita:

- La interacción acuífero-laguna
- La dinámica de la interfaz salina
- Los flujos laterales subterráneos hacia zonas marginales
- Los efectos combinados de extracción y variabilidad climática

Conclusión



En virtud del análisis efectuado, se estima que los antecedentes presentados por el Titular en la Adenda N°8 permiten caracterizar de manera general el sistema hidrogeológico del Salar de Atacama a escala regional. No obstante, las limitaciones asociadas a la escala de los modelos numéricos, así como las simplificaciones adoptadas en la representación de procesos hidrogeológicos relevantes restringen su capacidad para evaluar adecuadamente el comportamiento del sistema en sectores sensibles. En particular, persisten incertidumbres significativas respecto a la dinámica de la interfaz salina (tal como el espesor de mezcla y su evolución en el tiempo) y de la conectividad hidráulica entre el núcleo del salar y las zonas marginales, donde se emplazan sistemas lagunares identificados como objetos de protección ambiental. Estas incertidumbres impiden descartar fundadamente potenciales efectos sinérgicos, incluyendo este proyecto, sobre dichos sistemas. En consecuencia, los antecedentes contenidos en los Anexos 1, 2 y 4 no resultan suficientes para acreditar el cumplimiento del Permiso Ambiental Sectorial del artículo 88 del DS N°95/2001, en lo relativo a una descripción hidrogeológica adecuada del área de influencia, estimándose necesario profundizar el análisis mediante modelaciones hidrogeológicas de mayor detalle y resolución.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,



Firmado por:
Mauricio Alejandro Lorca Miranda
Director Nacional (s)
Fecha: 23-03-2026 11:13 CLT
Servicio Nacional de Geología y
Minería

**MAURICIO LORCA MIRANDA
DIRECTOR NACIONAL (S)
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

OCC/SMDP/LBP/NCA/LLV

Distribución

- Destinatario
- Departamento de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras
- Departamento Jurídico, Servicio de Evaluación Ambiental
- Subdirección Nacional de Minería, Sernageomin
- Subdirección Nacional de Geología, Sernageomin
- Departamento Jurídico, Sernageomin
- Oficina de Partes

