

SANTIAGO, 25 de agosto de 2025

ANT.:

Res. Ex. N°14/ROL F-018-2022, de 11 de diciembre de 2024, que solicita pronunciamiento técnico de la DGA acerca de antecedentes técnicos ingresados por Albemarle Ltda.

Res. Ex. N°17/ROL F-018-2022, de 28 de mayo de 2025, que solicita pronunciamiento técnico de la DGA acerca de nuevos antecedentes técnicos ingresados por Albemarle Ltda.

MAT.:

Envía pronunciamiento técnico solicitado.

**DE: DIEGO SAN MIGUEL CORNEJO
JEFE DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE
RECURSOS HÍDRICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**A: SIGRID SCHEEL VERBAKEL
FISCAL INSTRUCTORA DE LA DIVISIÓN DE SANCIÓN Y
CUMPLIMIENTO
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE**

I. Contexto

En el marco del proceso sancionatorio al titular Albemarle Ltda., rol F-018-022, iniciado a partir de los cargos por extracción de un caudal medio anual sobre el límite anual autorizado en el periodo octubre de 2019 a septiembre de 2020, así como la no activación de medidas comprometidas en el PAT del Sector Alerta Acuífero en marzo de 2021, la SMA solicitó pronunciamiento a este Servicio mediante Res. Ex. N°10/ROL F-018-2022, para pronunciarse técnicamente sobre los antecedentes acompañados por el titular en sus descargos y analizar los posibles efectos derivados de las infracciones. En particular, se solicitó abordar las siguientes materias:

1. *"Se requiere que su Servicio ejecute el modelo numérico para dichos escenarios y verifique la coincidencia en los resultados informados a esta Superintendencia."*
2. *"Respecto al parámetro "Nivel freático" (cota altimétrica) simulado por el titular con los modelos, se solicita informar si la magnitud, extensión y/o duración de los descensos obtenidos como parte del análisis de los posibles efectos derivados*

de la sobreextracción imputada, serían de una entidad tal que represente potenciales efectos adversos significativos sobre el recurso hídrico en la cuenca."

3. *"En caso de que los resultados obtenidos de la revisión de la Dirección General de Aguas no sean coincidentes con lo concluido por el titular, se solicita entregar los respaldos de los archivos ejecutables correspondientes."*

Al respecto, este Servicio se pronunció mediante Of. Ord. DGA N°67/2024, en el cual solicita lo siguiente:

1. *"Se requiere solicitar al titular la construcción del segundo escenario a partir del modelo calibrado como parte de la tercera actualización. Esto es, debería generarse un modelo con las mismas características geométricas, propiedades hidráulicas y condiciones de borde, modificando exclusivamente las series de tiempo de pozos de bombeo de salmuera en los períodos en los cuáles se verificó la sobreexplotación, de manera que el caudal total de salmuera sea igual al límite ambientalmente autorizado, a escala anual y mensual según se indica en la Tabla 1).*

Tabla 1: Caudales de salmuera extraídos y caudales autorizados, en los periodos en los que se verificó sobreexplotación.

Periodo	Caudal Extraído (L/s)	Caudal Autorizado (L/s)
oct 2019 - sept 2020	452,3	442,0
feb-21	522,9	399,1
mar-21	509,0	382,0

Para llevar a cabo lo anterior, se recomienda evaluar, por lo menos, 2 metodologías de reducción del caudal para construir el escenario de extracción ambientalmente autorizada:

- a) *Reducción proporcional del caudal de todos los pozos de bombeo de salmuera, en los períodos indicados en la Tabla 1, de manera que el caudal total sea igual al autorizado.*
- b) *Reducir el caudal de manera localizada, priorizando la reducción en los pozos más cercanos a los objetos de protección. Lo anterior, con el objetivo de estudiar el efecto de la sobreexplotación en su condición más desfavorable.*

Además de lo anterior, el titular podrá proponer otros escenarios, de considerarlo relevante para el presente proceso, con la debida justificación."

2. *"Luego de generados ambos escenarios, los cuales deben considerar simulaciones hasta el año 2065, para responder a la consulta de Magnitud, se solicita calcular la diferencia entre el nivel freático de la situación real (con sobreexplotación) y los escenarios considerando cumplimiento ambiental. Los resultados obtenidos deben presentarse mediante figuras en planta (mapas de*

isodensos) y gráficos con series de tiempo a una escala adecuada, ilustrando las magnitudes de las diferencias en los niveles freáticos para los distintos escenarios simulados respecto de la condición base (con explotación real). Lo anterior, para distintas fechas relevantes, considerando, como mínimo, la fecha en la que se observan mayores diferencias entre los escenarios simulados.”

3. *“Para responder a la consulta de Duración, se deberá presentar la evolución del nivel freático y las diferencias obtenidas entre los escenarios, para todo el período histórico y de simulación, en todos los pozos. La información proporcionada, mediante tablas y figuras, debe permitir visualizar la fecha donde se comienza a observar la diferencia en el nivel freático entre el escenario con sobreexplotación y el ambientalmente aprobado, la fecha de máximo descenso por la sobreexplotación, y la fecha de término de dicho efecto (de observarse).”*

Con fecha 9 de diciembre de 2024, el titular Albemarle Ltda. presenta antecedentes en respuesta al señalado Of. Ord. DGA N°67/2024, los cuales fueron remitidos al presente Servicio mediante la Res. Ex. N°14/ROL F-018-2022, de 11 de diciembre de 2024, en la cual se solicita pronunciamiento técnico acerca de ellos. En dicha ocasión se acompañaron los siguientes antecedentes:

4. Carta ALB-GMA-2024-SMA-072, la que responde requerimiento de información Resolución Exenta N°12/Rol F-018-2022, de 18 de noviembre de 2024; acompaña documentos y formula consideraciones que indica.
5. Memorándum Técnico, de fecha 9 de diciembre de 2024, con el análisis de efectos generados en el medio ambiente producto de extracción de salmuera por parte de Albemarle asociados a lo señalado por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Dicha solicitud fue complementada por parte de la SMA mediante la Res. Ex. N°17/ROL F-018-2022, que solicita pronunciamiento técnico acerca de los antecedentes presentados por el titular Albemarle Ltda., con fecha 5 de mayo de 2025. En dicha ocasión se acompañaron los siguientes antecedentes:

1. Memorándum Técnico de Respuesta.
2. Disco duro externo con los archivos ejecutables correspondientes a los modelos presentados en las entregas 1 y 2, así como el listado de archivos correspondientes a ellos. También se incluye una planilla con las diferencias de niveles en los distintos escenarios, y *shapefiles* con las curvas de nivel de los descensos de cada escenario.

II. Antecedentes proporcionados por el titular

En respuesta a la solicitud planteada en el Of. Ord. DGA N°67/2024, el titular realizó una presentación con fecha 9 de diciembre de 2024, mediante carta ALB-GMA-2024-SMA-072 acompañada de un memorándum técnico (en adelante, también referida como “Entrega 1”).



En forma posterior, el titular realizó una nueva presentación con fecha 9 de enero de 2025, mediante carta ALB-GMA-2025-SMA-002 (en adelante, "Entrega 2"), en la que señala la detección de errores en datos de entrada al modelo, a saber, el caudal en los pozos en los cuales se efectuó una reducción de caudal en los escenarios SMA2 y ALBSMA2, actualizando los resultados del memorándum técnico presentado en la Entrega 1.

Finalmente, mediante la carta ALB-GMA-2025-SMA-037, de fecha 5 de mayo de 2025, el titular complementó los antecedentes presentados, en respuesta a la solicitud de información efectuada mediante Res. Ex. N°15/ROL F-018-2022 (en adelante, "Entrega 3"), presentando los siguientes antecedentes:

1. Memorándum Técnico de Respuesta.
2. Disco duro externo con los archivos ejecutables correspondientes a los modelos presentados en las entregas 1 y 2, así como el listado de archivos correspondientes a ellos. También se incluye una planilla con las diferencias de niveles en los distintos escenarios, y *shapefiles* con las curvas de nivel de los descensos de cada escenario.

III. Revisión de los antecedentes proporcionados por el titular

1. Alcance de la revisión

En el desarrollo de los contenidos solicitados, el titular presenta el Memorándum Técnico con los resultados de la modelación, incorporando los tres escenarios solicitados por DGA y SMA (Base, SMA1 y SMA2), cuya descripción es la siguiente:

- Base: Escenario de explotación real.
- SMA1: Ambientalmente aprobado, reduciendo el caudal de todos los pozos del área de extracción A1.
- SMA2: Ambientalmente aprobado, reduciendo los caudales en los pozos del área de extracción A1 más cercanos a objetos de protección.

Asimismo, el titular presenta cuatro escenarios adicionales (ALBSMA1, ALBSMA2, ALBSMA3 y ALBSMA4) que se hacen cargo de carencias que el titular, a su juicio, considera existen en los escenarios solicitados.

De acuerdo con lo anterior, y en lo que respecta a los distintos modelos presentados, cabe señalar que la revisión efectuada por este Servicio se enfocó en los siguientes aspectos:

1. Apertura y ejecución de los modelos presentados por el titular.
2. Configuración de las extracciones en el Caso Base
3. Implementación de las reducciones solicitadas en los escenarios SMA1 y SMA2, con respecto al Caso Base.



4. Análisis de la magnitud, duración y extensión de los efectos producidos por la sobreexplotación, considerando los resultados de los escenarios SMA1 y SMA2 con respecto al Caso Base.

2. Resultados de la revisión

a. Apertura y ejecución de los modelos presentados por el titular

Este Servicio revisó que todos los modelos adjuntados en la Entrega 3 pudieran ser abiertos, y que aquellos de interés de este Servicio (SMA1 y SMA2) pudieran ser ejecutados satisfactoriamente. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Tabla 2 del presente Oficio, donde se observa que únicamente el modelo ALBSMA1-Cal no pudo ser abierto (modelo carga en blanco, Figura 1 del presente Oficio) y que todos los modelos de interés pudieron ser ejecutados.

Tabla 2: Resultados de apertura y ejecución de modelos presentados por el titular.

Entrega	Escenario	Modelo	Apertura	Ejecución
1	SMA1	Cal	Sí	Sí
1	SMA1	Sim	Sí	Sí
1	SMA2	Cal	Sí	Sí
1	SMA2	Sim	Sí	Sí
1	ALBSMA1	Cal	No	-
1	ALBSMA1	Sim	Sí	-
1	ALBSMA2	Cal	Sí	-
1	ALBSMA2	Sim	Sí	-
1	ALBSMA3	Cal	Sí	-
1	ALBSMA3	Sim	Sí	-
1	ALBSMA4	Cal	Sí	-
1	ALBSMA4	Sim	Sí	-
2	SMA1	Cal	Sí	Sí
2	SMA1	Sim	Sí	Sí
2	SMA2	Cal	Sí	Sí
2	SMA2	Sim	Sí	Sí
2	ALBSMA1	Cal	Sí	-
2	ALBSMA1	Sim	Sí	-
2	ALBSMA2	Cal	Sí	-
2	ALBSMA2	Sim	Sí	-
2	ALBSMA3	Cal	Sí	-
2	ALBSMA3	Sim	Sí	-
2	ALBSMA4	Cal	Sí	-
2	ALBSMA4	Sim	Sí	-

Fuente: Elaboración propia.

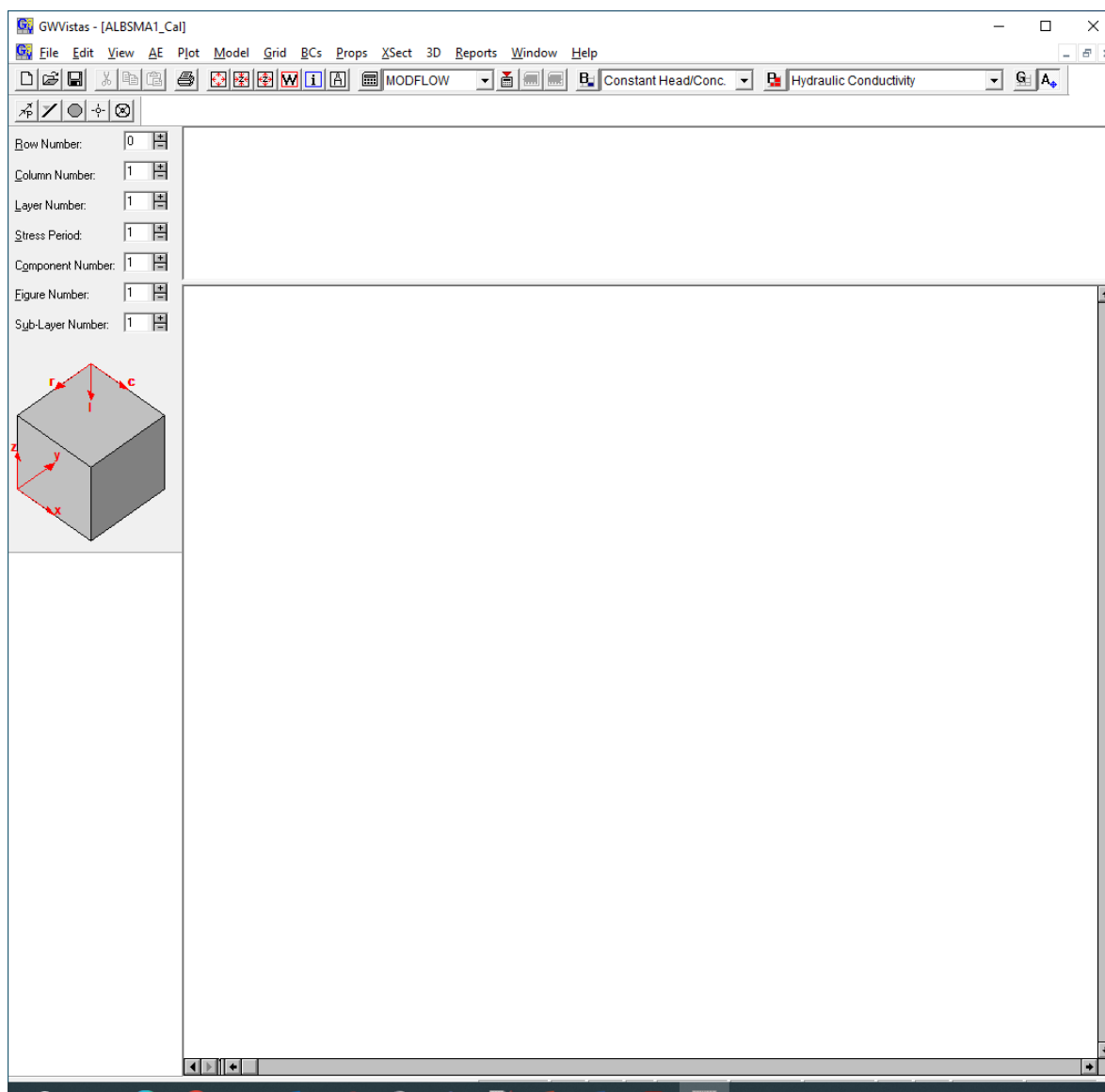


Figura 1: Vista del software Groundwater Vistas 8 al cargar el modelo ALBSMA1 presentado en la Entrega 1.

Fuente: Elaboración propia.

b. Configuración de las extracciones en el Caso Base

Este Servicio llevó a cabo una verificación de los caudales de extracción de salmuera considerados en el modelo numérico en el Caso Base (extracción real), comparándolos con los caudales reportados a la SMA. La serie de bombeos de caudales e inyección¹ del Caso Base fueron obtenidos de los antecedentes presentados a este Servicio con ocasión de la Tercera Actualización del Modelo Hidrogeológico², mientras que los caudales reportados a la SMA fueron obtenidos de los anexos del Informe de Fiscalización DFZ-

¹ Las inyecciones corresponden a condiciones de borde tipo pozo para la recarga desde cuencas laterales, el borde norte y las lagunas, así como reinyecciones operacionales de SQM en los sectores SOP y MOP.

² Disponible en <https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental/Ficha/1019219>

2018-1274-II-RCA que dio origen al proceso sancionatorio ROL F-018-2022. La comparación se efectuó para los periodos de interés (año operacional de octubre de 2019 a septiembre de 2020, y meses de febrero y marzo de 2021). Al respecto, se observa que las series de tiempo de bombeos de salmuera en los pozos del modelo corresponden a los mismos reportados a la autoridad, tanto temporal como espacialmente, en tanto las diferencias que se determinan entre ambas series son menores a 10^{-9} L/s (Anexo A).

c. Implementación de las reducciones solicitadas en los escenarios SMA1 y SMA2, con respecto al Caso Base

Este Servicio revisó que las reducciones estuvieran correctamente implementadas, para lo cual se exportaron como archivos csv las series de caudales de bombeo e inyección de los modelos de interés (SMA1 y SMA2), las cuales fueron comparadas con la serie de datos del Caso Base, verificada de acuerdo a lo señalado en el punto anterior.

A partir de dichas series, este Servicio determinó la diferencia entre los caudales de cada pozo (Caso Base – Escenario), en cada periodo de simulación mensual (también referido como periodo de *stress*³), obteniendo las reducciones individuales incorporadas por el Titular para cada escenario, las que luego fueron agregadas para cada periodo de *stress*. El análisis antes descrito se realizó mediante el software R, con el script que se adjunta en Anexo B.

Las reducciones efectivamente implementadas en los modelos se presentan en la Tabla 3 del presente Oficio. Al respecto, se observa que en la Entrega 1, el escenario SMA2 presenta una diferencia de 0 L/s respecto del Caso Base, lo que no se condice con lo señalado por el titular en la carta ALB-SMA-2025-SMA-002, de fecha 9 de enero de 2025, donde indica que en el escenario SMA2, para el mes modelado de marzo de 2021, en que la reducción debía alcanzar el caudal de 127⁴ L/s, el caudal base de los pozos donde se aplicó la reducción solo era de 43 L/s, lo que generó que se terminara aplicando un caudal de inyección de 86 L/s. No obstante, en el modelo de la Entrega 2 dicho escenario sí incorpora reducciones.

³ Para ver la equivalencia entre periodos de stress y mes calendario, referirse al Anexo L de la Tercera Actualización del Modelo Hidrogeológico.

⁴ Los 127 L/s resulta de la diferencia entre el caudal real extraído en el mes de marzo (509 L/s) y el caudal límite que debió extraer (382 L/s).

Tabla 3: Reducciones implementadas en el modelo en escenarios SMA1 y SMA2, en las entregas 1 y 2, en L/s.

Periodo de stress	Mes	Entrega 1		Entrega 2	
		SMA1	SMA2	SMA1	SMA2
265	oct-19	10,300	0,000	10,300	12,719
266	nov-19	10,300	0,000	10,300	12,342
267	dic-19	10,300	0,000	10,300	10,701
268	ene-20	10,300	0,000	10,300	11,253
269	feb-20	10,300	0,000	10,300	11,162
270	mar-20	10,300	0,000	10,300	10,343
271	abr-20	10,300	0,000	10,300	9,825
272	may-20	10,300	0,000	10,300	8,459
273	jun-20	10,300	0,000	10,300	8,626
274	jul-20	10,300	0,000	10,300	8,755
275	ago-20	10,300	0,000	10,300	8,805
276	sept-20	10,300	0,000	10,300	10,110
281	feb-21	123,800 ⁵	0,000	123,800	123,819
282	mar-21	127,000	0,000	127,000	126,971

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, cabe señalar que se observa que el escenario SMA2 tendría una distribución temporal distinta de la reducción solicitada para el periodo comprendido entre octubre de 2019 y septiembre de 2020, en comparación al escenario SMA1. En éste, la reducción en cada periodo de *stress* es constante e igual a 10,3 L/s⁶, mientras que en el escenario SMA2 se observa una disminución variable en cada mes, aunque el promedio anual de dicha reducción es equivalente (10,3 L/s).

Lo anterior no implica un error en la implementación en la reducción, toda vez que en el Of. Ord. DGA N°67/2024 no se señaló una forma específica de efectuar la reducción en lo que respecta a su distribución temporal. Sin perjuicio de lo anterior, este Servicio efectuó el ejercicio de generar un escenario alternativo (denominado "SMA2*"), en el cual se aplica una reducción constante de 10,3 L/s en cada mes, distribuida en los mismos pozos en los cuales se efectuó la reducción en el escenario SMA2. En este caso, la reducción de caudal aplicada en cada pozo fue determinada en forma proporcional al caudal de extracción real de cada pozo, respecto al caudal total de los pozos⁷ considerados para la reducción. El recálculo de los caudales de bombeo fue realizado mediante el software R, con el script que se adjunta en el Anexo C.

La Tabla 4 del presente Oficio muestra la comparación entre las reducciones implementadas en la Entrega 2, para los escenarios SMA1, SMA2 y SMA2*, obtenidas

⁵ Este valor corresponde a la reducción total de caudal que se debió aplicar exclusivamente para el mes de febrero de 2021 de haber cumplido la obligación infringida.

⁶ Este valor corresponde al caudal de excedencia, como promedio anual, que la empresa extrajo entre octubre de 2019 y septiembre de 2020.

⁷ Esto corresponde a la sumatoria de los caudales de aquellos pozos más cercanos a los objetos de protección del PAT, tal como se indica en el Ord. N° 67 de 24 de octubre de 2024, de este Servicio.

con el script presentado en el Anexo B, con lo cual se verifica que el escenario SMA2* posee la misma distribución temporal en las reducciones que el escenario SMA1.

Tabla 4: Reducciones implementadas en el modelo en escenarios SMA1, SMA2 y SMA2*, en la Entrega 2, en L/s.

Periodo de stress	Mes	Entrega 2		
		SMA1	SMA2	SMA2*
265	oct-19	10,300	12,719	10,300
266	nov-19	10,300	12,342	10,300
267	dic-19	10,300	10,701	10,300
268	ene-20	10,300	11,253	10,300
269	feb-20	10,300	11,162	10,300
270	mar-20	10,300	10,343	10,300
271	abr-20	10,300	9,825	10,300
272	may-20	10,300	8,459	10,300
273	jun-20	10,300	8,626	10,300
274	jul-20	10,300	8,755	10,300
275	ago-20	10,300	8,805	10,300
276	sept-20	10,300	10,110	10,300
281	feb-21	123,800	123,819	123,819
282	mar-21	127,000	126,971	126,971

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a ejecutar el modelo para el periodo de calibración⁸ (desde octubre de 1997 hasta septiembre de 2022), en sus escenarios SMA2 y SMA2*, para contrastar los descensos obtenidos al final de dicho periodo (periodo de *stress* 300, septiembre de 2022). Del análisis efectuado, se observa que las diferencias entre ambos escenarios son menores a 1 mm (Figura 2 del presente Oficio), por lo cual se concluye que la diferencia en la distribución temporal de las reducciones posee un efecto mínimo.

Por otro lado, de la revisión de la ubicación de los pozos que fueron sujetos a reducciones en los escenarios SMA1 y SMA2 (Figura 3 del presente Oficio), se observa que existen pozos de extracción cercanos a los objetos de protección que no fueron objeto de reducciones, lo cual se debe a que (1) pertenecen al área de extracción A2, sector en el cual no se solicitaron reducciones, o (2) a que, a pesar de ubicarse en el área de extracción A1, no presentaron bombeos en el periodo en el cual se requería efectuar las reducciones.

En consideración de lo expuesto anteriormente, este Servicio concluye que las reducciones fueron implementadas satisfactoriamente en los escenarios SMA1 y SMA2, por lo cual los resultados de las simulaciones de dichos escenarios respecto a los resultados del Caso Base, permiten evaluar los efectos de la sobreexplotación.

⁸ Denominado así, pues corresponde al periodo de calibración usado en la tercera versión del modelo numérico hidrogeológico, que fuera aprobado por este Servicio mediante Of. Ord. N°52, de fecha 12 de agosto de 2024.

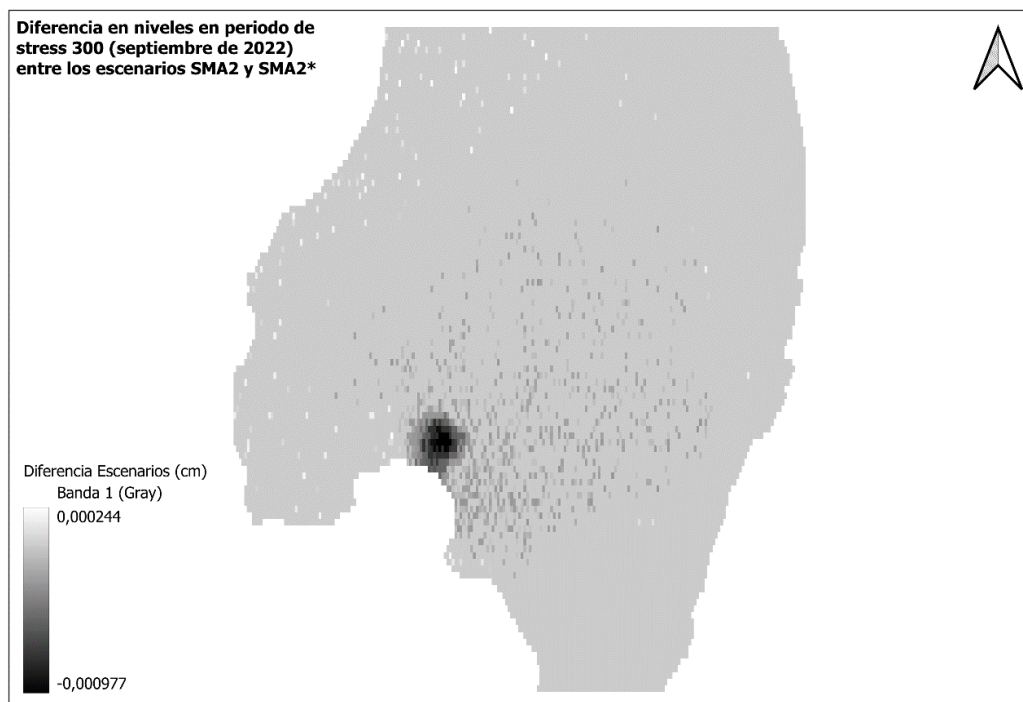


Figura 2: Diferencias de nivel entre escenarios SMA2 y SMA2* al término del periodo de calibración (periodo de *stress* 300, septiembre de 2022).
Fuente: Elaboración propia.

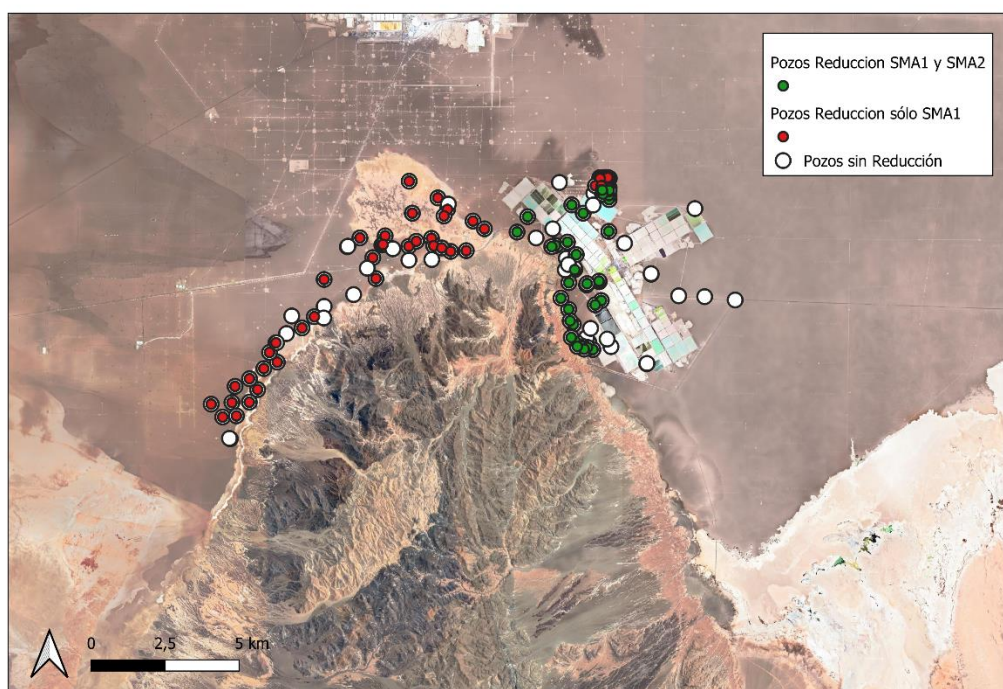


Figura 3: Ubicación de pozos de bombeo de Albemarle e identificación de pozos con reducciones de bombeo en ambos escenarios (SMA1 y SMA2) y sólo en SMA1.
Fuente: Elaboración propia.

d. Análisis de la magnitud, duración y extensión de los efectos producidos por la sobreexplotación, considerando los resultados de los escenarios SMA1 y SMA2 con respecto al Caso Base

Previo a evaluar los resultados en términos de magnitud, duración y extensión de los efectos modelados, se realizó una validación de los niveles presentados por el titular en la Entrega 2 en el archivo 20250106_Niveles_diferencias.xlsx. Para lo anterior, se exportaron los resultados de niveles del Caso Base en el periodo de calibración y de los escenarios SMA1 y SMA2 en el periodo de simulación, los cuales fueron contrastados con los valores indicados por el titular. De dicho análisis, se concluyó que los valores de los niveles presentados en el archivo 20250106_Niveles_diferencias.xlsx son correctos.

A continuación, se resume el análisis determinado por el titular respecto de la magnitud, duración y extensión de los efectos, el que se presenta en la Tabla 5 del presente Oficio.

Tabla 5: Resumen de evaluación de Albemarle sobre la magnitud, duración y extensión del efecto de la sobreexplotación

Magnitud	<p>El titular presenta hidrogramas en 12 pozos del área de interés (Figura 4 del presente Oficio), identificándose que las diferencias entre el caso base y el escenario SMA1 no superan 1 cm en ninguno de los pozos presentados, para todo el período simulado, entre oct-1997 y dic-2065⁹ (Figuras 3 a 5 del Memorándum Técnico de la Entrega 2).</p> <p>En el caso del escenario SMA2, se observan diferencias de hasta aproximadamente 1,6 cm entre el caso base y el escenario ambientalmente aprobado. La diferencia de 1,6 cm se produce en el año 2021 en el pozo PN-14B, el cual está ubicado dentro del área de concesión de Albemarle.</p>
Duración	<p>El titular identifica la cantidad de meses en que la diferencia de niveles entre los escenarios simulados y el Caso Base son mayores a 0 cm, 0,1 cm y 1 cm.</p> <p>En el caso del escenario SMA1, la máxima cantidad de meses con una diferencia de niveles mayor a 0,1 cm es de 555 meses (46,3 años) en el pozo CL-14, mientras que en el escenario SMA2 la mayor duración se observa en el mismo pozo, con 512 meses (42,7 años). En términos de las diferencias mayores a 1 cm, la mayor cantidad de meses también se produce en el mismo pozo, con 378 meses (31,5 años) en el escenario SMA1 y 244 meses (20,3 años) en el escenario SMA2.</p> <p>En el caso específico del pozo TPZ-13C, cercano al pozo BA-05 (Figura 5 del presente Oficio), ubicado en la zona marginal y donde opera el PAT Acuífero, no se registran meses en los que la diferencia entre los casos SMA1 y SMA2 sea superior a 0,1 cm respecto al caso base.</p>

⁹ Corresponde al periodo abarcado por la modelación de la Tercera Actualización del Modelo Hidrogeológico

Extensión	<p>En la Entrega 2, el titular presenta polígonos ilustrando la superficie en la cual se detectan descensos de 0,1 cm en la fecha más desfavorable (aquella en la cual se produce la mayor diferencia entre el Caso Base y el simulado) para el pozo PN-14B, que corresponde a octubre de 2021, tal como se muestra en la Figura 6 del presente Oficio.</p> <p>En la Entrega 3 el titular complementa la información anterior, presentando los polígonos que circunscriben los pozos que tienen descensos mayores o iguales a 0,1 cm en algún momento del periodo de simulación. De los resultados presentados anteriormente, este Servicio observa que dichos polígonos se concentran principalmente en el núcleo del Salar, aunque alcanzan la zona marginal, principalmente hacia el sector de Tilopozo y de Soncor (Figura 7 y Figura 8 del presente Oficio).</p>
-----------	---

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes presentados por el titular.

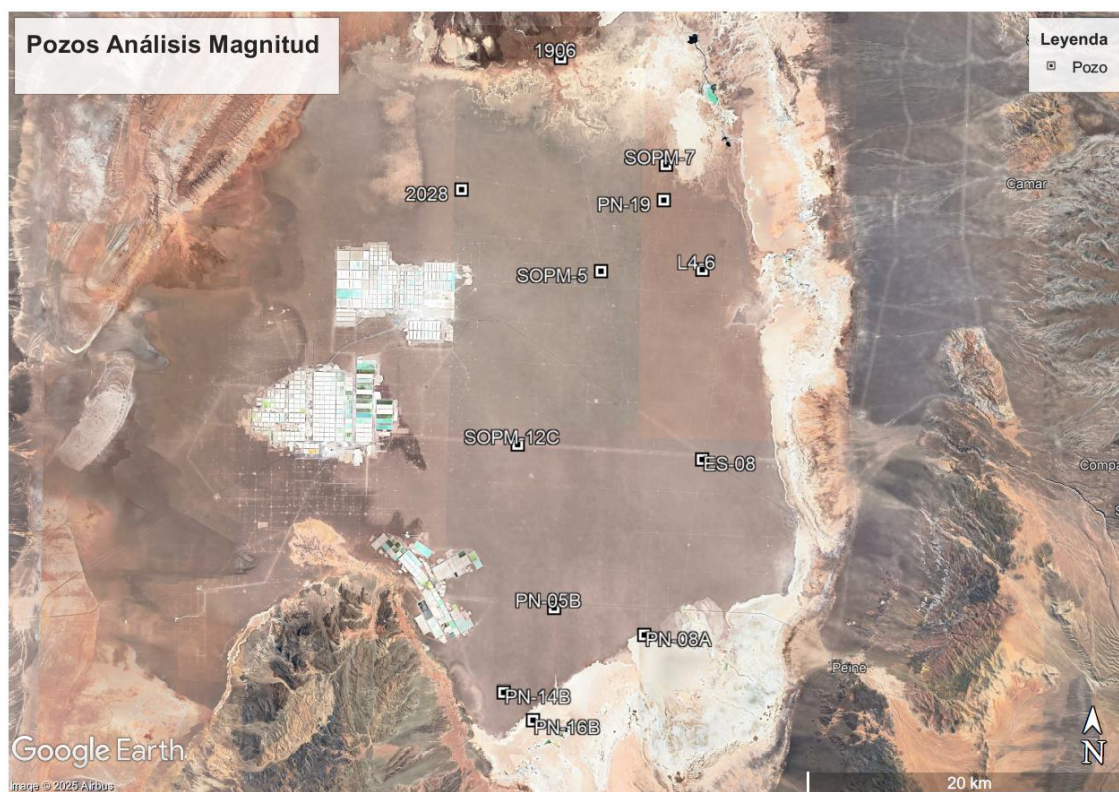


Figura 4: Pozos considerados por el titular en su análisis de magnitud .

Fuente: Elaboración propia.

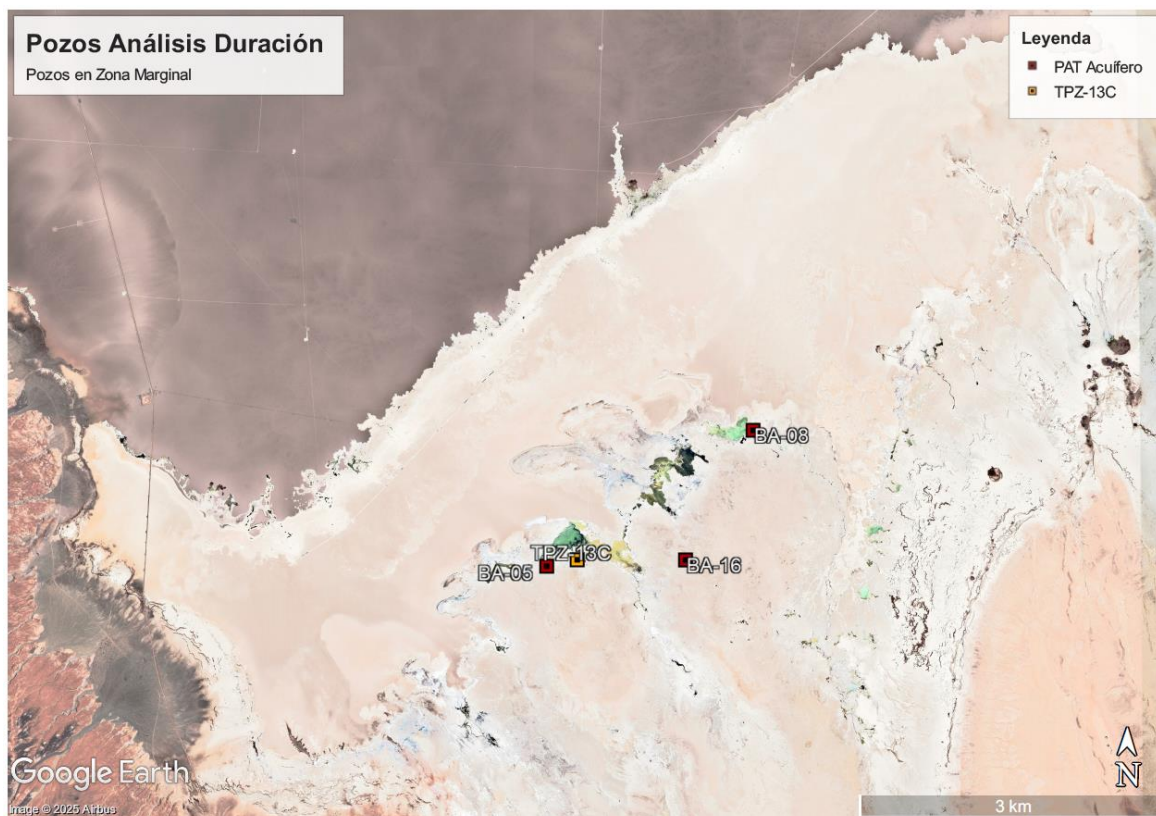


Figura 5: Pozos zona marginal, sector lagunas La Punta y La Brava.
Fuente: Elaboración propia.

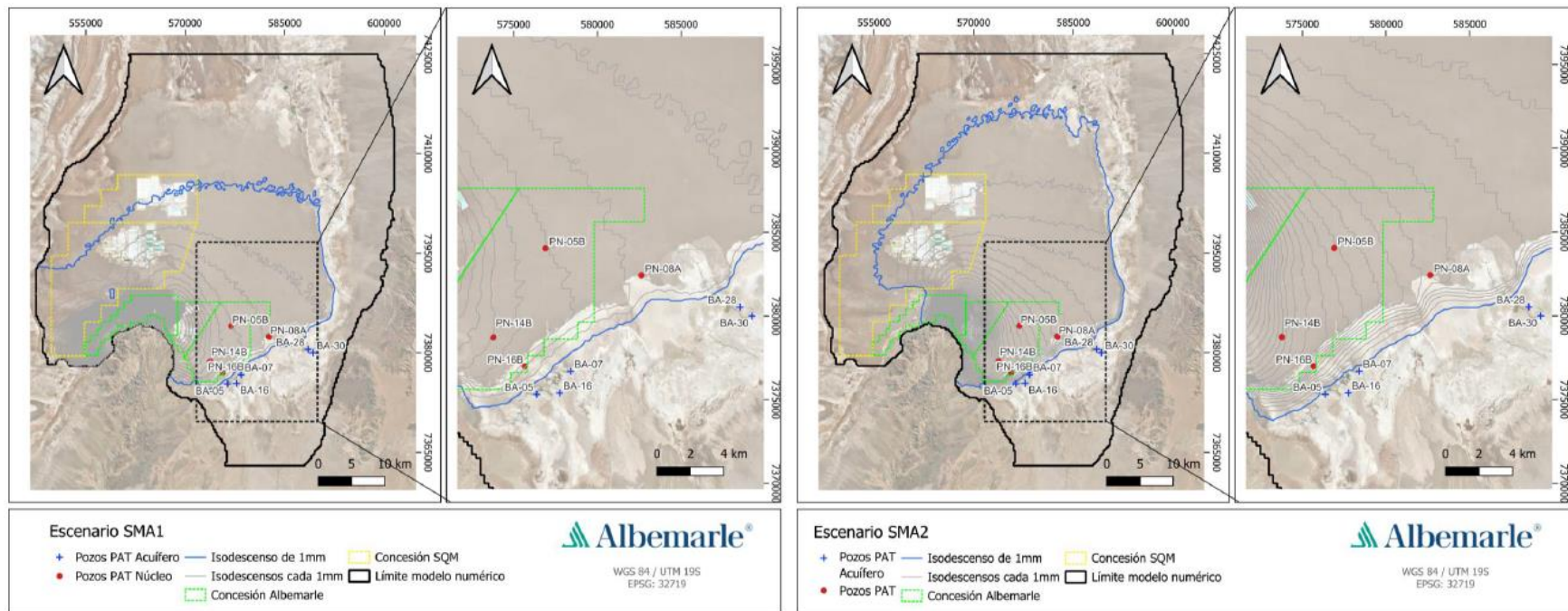


Figura 6: Curvas de isodensos en escenario SMA1 (izquierda) y SMA2 (derecha).
Fuente: Figuras 1 y 2 Memorándum Técnico, Entrega 2.

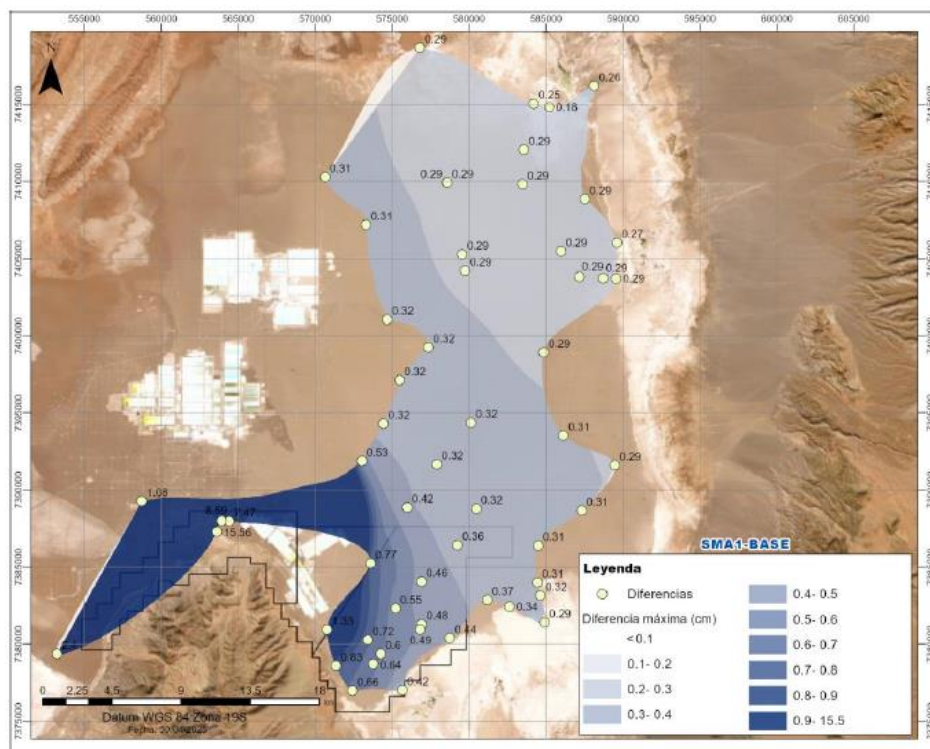


Figura 7: Polígono de circunscripción de pozos con descensos con diferencias máximas mayores a 0,1 cm durante periodo 2024 – 2065 en escenario SMA1.

Fuente: Figura 4 Memorándum Técnico, Entrega 3.

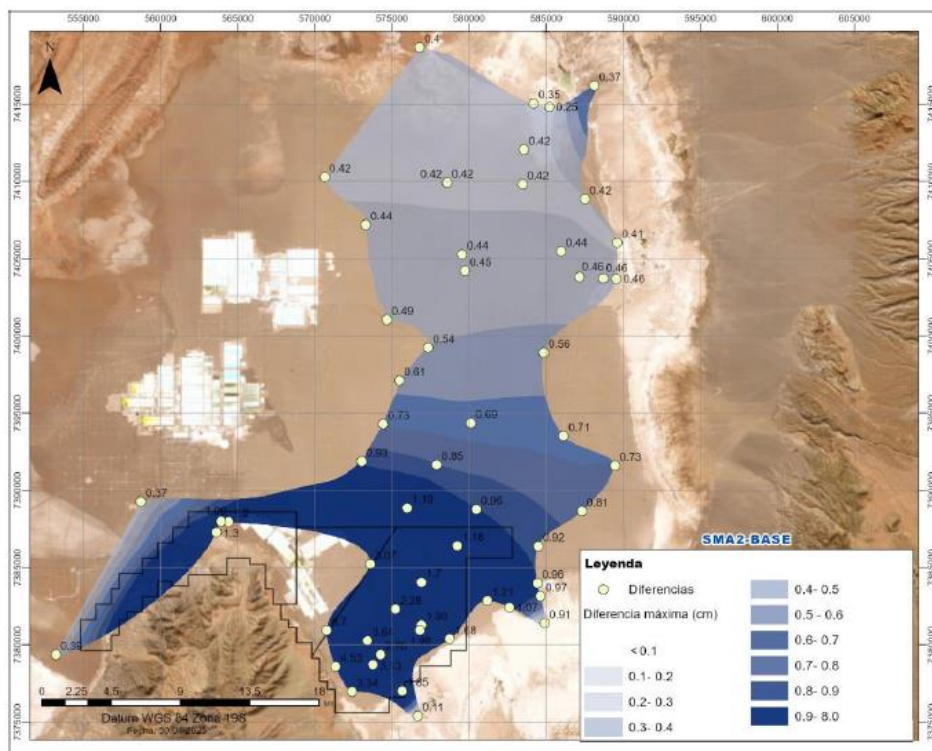


Figura 8: Polígono de circunscripción de pozos con descensos con diferencias máximas mayores a 0,1 cm durante periodo 2024 – 2065 en escenario SMA2.

Fuente: Figura 5 Memorándum Técnico, Entrega 3.

En relación con los análisis de magnitud, duración y extensión realizados por el titular, este Servicio señala lo siguiente:

1. Magnitud: El titular realiza el análisis a partir de una selección de 12 pozos, de los cuales el que presenta la mayor diferencia con el Caso Base corresponde al pozo PN-14B (0,7 cm en escenario SMA1; 1,6 cm en escenario SMA2), señalando que los resultados de los demás se encuentran en anexos. Revisados los resultados de la totalidad de pozos, se observa que sólo 10 pozos del total de 66 presentan una diferencia mayor que el pozo PN-14B en la comparación SMA1-Caso Base, número que se reduce a 8 pozos en la comparación SMA2-Caso Base (Tabla 6 del presente Oficio). Además, cabe señalar que dichos pozos están ubicados en o muy próximos a las áreas de concesión de Albemarle o SQM (Figura 9 del presente Oficio). Con lo anterior, este Servicio no presenta reparos con los pozos seleccionados para realizar el análisis de magnitud.

Tabla 6: Pozos con descensos máximos mayores al pozo PN-14B en escenarios SMA1 y SMA2

Escenario SMA1			Escenario SMA2		
N°	Nombre	Descenso Máx. (mm)	N°	Nombre	Descenso Máx. (mm)
1	CL-14	155,564	1	CL-26	39,949
2	CL-30	85,863	2	CL-14	38,41
3	CL-26	74,661	3	S-3	38,102
4	SAMPLE-4	24,05	4	CL-30	32,725
5	S-3	13,346	5	PN-13	21,943
6	M2-C	10,83	6	PN-10	18,616
7	PN-13	8,261	7	CL-2	17,772
8	CL-2	7,695	8	CL-6	17,221
9	PN-10	7,165	9	PN-14B	16,402
10	CL-6	6,644			
11	PN-14B	6,352			

Fuente: Elaboración propia.

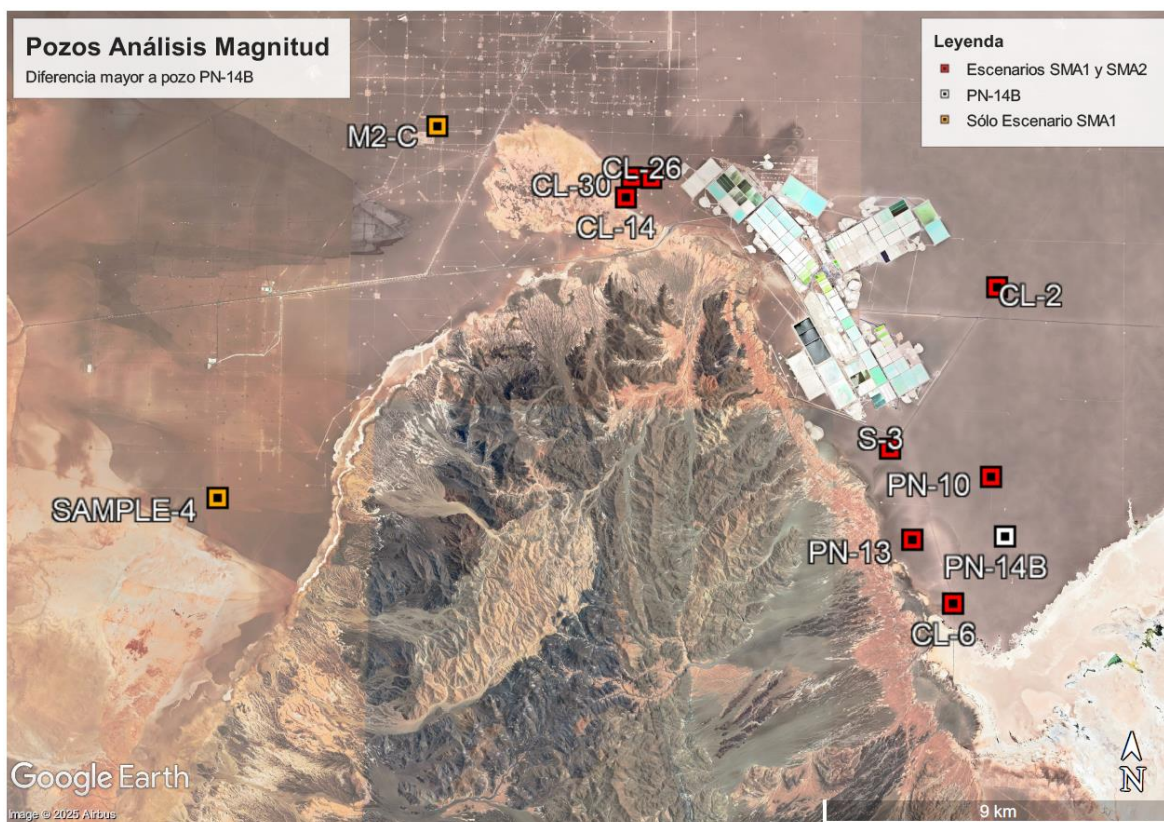


Figura 9: Pozos que presentan mayores diferencias con el Caso Base que el pozo PN-14B.

Fuente: Elaboración propia.

2. Duración: Este Servicio no presenta observaciones a los antecedentes de duración presentados por el titular, dado que lo determinado por este Servicio mediante scripts en R (ver Anexo D) presenta diferencias menores (<5 meses de diferencia) respecto a lo presentado por el titular en las tablas 6 y 7 del Memorándum Técnico de la Entrega 2.
3. Extensión: Este Servicio considera que el análisis presentado por el titular no es completamente adecuado. Respecto de los antecedentes de la Entrega 2, se considera que lo presentado representa una subestimación de la extensión, toda vez que en pozos de observación más alejados del campo de pozos de extracción el descenso máximo ocurre en forma posterior a la fecha considerada para el análisis (octubre de 2021), por lo cual, haber considerado una fecha distinta a ésta, podría variar la conclusión de si un pozo en particular está o no dentro del polígono que inscribe las diferencias mayores a 0,1 cm. Este es el caso, por ejemplo, del pozo 1906, que de acuerdo a la Tabla 3 del Memorándum Técnico, de la Entrega 2, está fuera del referido polígono, pero cuya diferencia máxima para el escenario SMA1 es de 2,93 mm¹⁰ en enero de 2035. La situación anterior es reconocida por el titular, quien señala que "Dado que la Figura 1 y Figura 2

¹⁰ Esto se verifica en la hoja SMA1-Base, del archivo "20250106_Niveles_diferencias.xls", en los anexos de la Entrega 2.

representan un mes en particular, hay pozos que se encuentran fuera del polígono y aun así tienen diferencias con el escenario Base mayores a 0,1 cm en otros meses” (pág. 6).

Por otro lado, respecto a los polígonos presentados en la Entrega 3, se observa que corresponde al polígono que envuelve aquellos pozos con descenso igual o mayor a 0,1 cm. Lo anterior nuevamente subestima la extensión del impacto, dado que habría áreas fuera del polígono con descensos mayores que 0,1 cm. Adicionalmente, de la comparación de los valores de descenso máximo presentados en la Figura 8 del presente Oficio, donde se presenta el polígono para el escenario SMA2, se concluye que dicho polígono fue construido con los descensos máximos presentados en la Entrega 1, y no con los valores de la Entrega 2, donde el escenario SMA2 fue corregido.

Por lo anterior, este Servicio efectuó un nuevo análisis de extensión considerando la fecha más desfavorable para los pozos L1-4, L5-3, L10-4 y TPZ-13C, los cuales se ubican en la zona marginal, cerca de los sistemas lagunares de Soncor, Quelana, Peine y La Punta-La Brava, respectivamente. Las fechas y periodos de *stress* considerados para el análisis anterior se presentan en la Tabla 7 del presente Oficio. Las curvas de isodescenso para los pozos antes indicados se presentan en la Figura 10, Figura 11, Figura 12 y Figura 13 del presente Oficio, respectivamente.

Tabla 7: Fechas y periodos de *stress* (en paréntesis) considerados para el análisis de extensión.

Pozo	Escenario SMA1	Escenario SMA2
L1-4	Diciembre 2035 (159)	Abril 2025 (31)
L5-3	Octubre 2034 (145)	Febrero 2026 (41)
L10-4	Noviembre 2034 (146)	Junio 2022 (297*)
TPZ-13C	Marzo 2031 (102)	Octubre 2022 (1)

*: Corresponde a un periodo de stress del periodo de calibración

Fuente: Elaboración propia a partir de tablas 4 y 5 del Memorándum Técnico, Entrega 2.

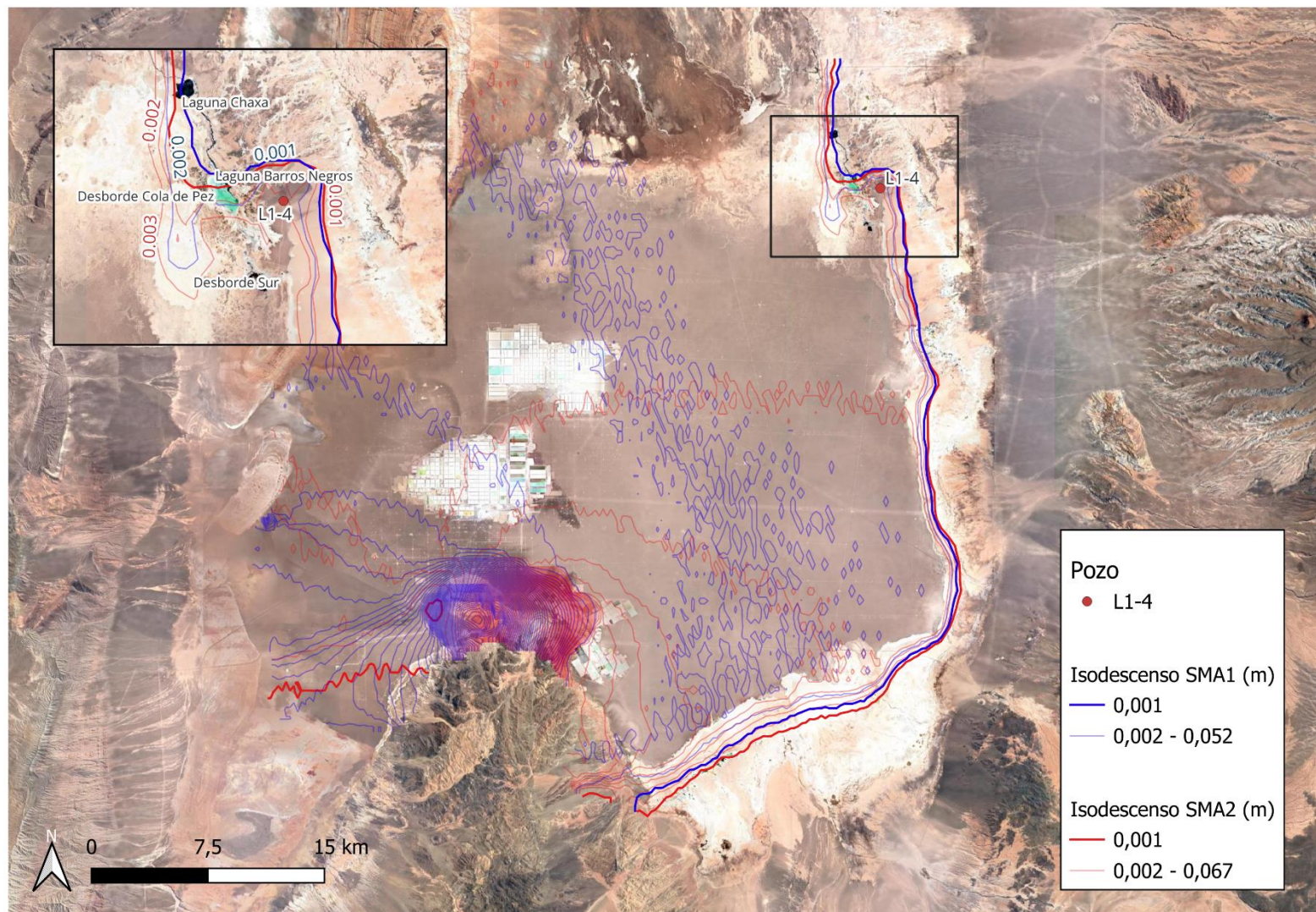


Figura 10: Curvas de isodescenso (dibujadas cada 0,001 m) en las fechas más desfavorables para el pozo L1-4 (cercano a sistema lagunar Soncor), para los escenarios SMA1 (azul) y SMA2 (rojo).

Fuente: Elaboración propia.

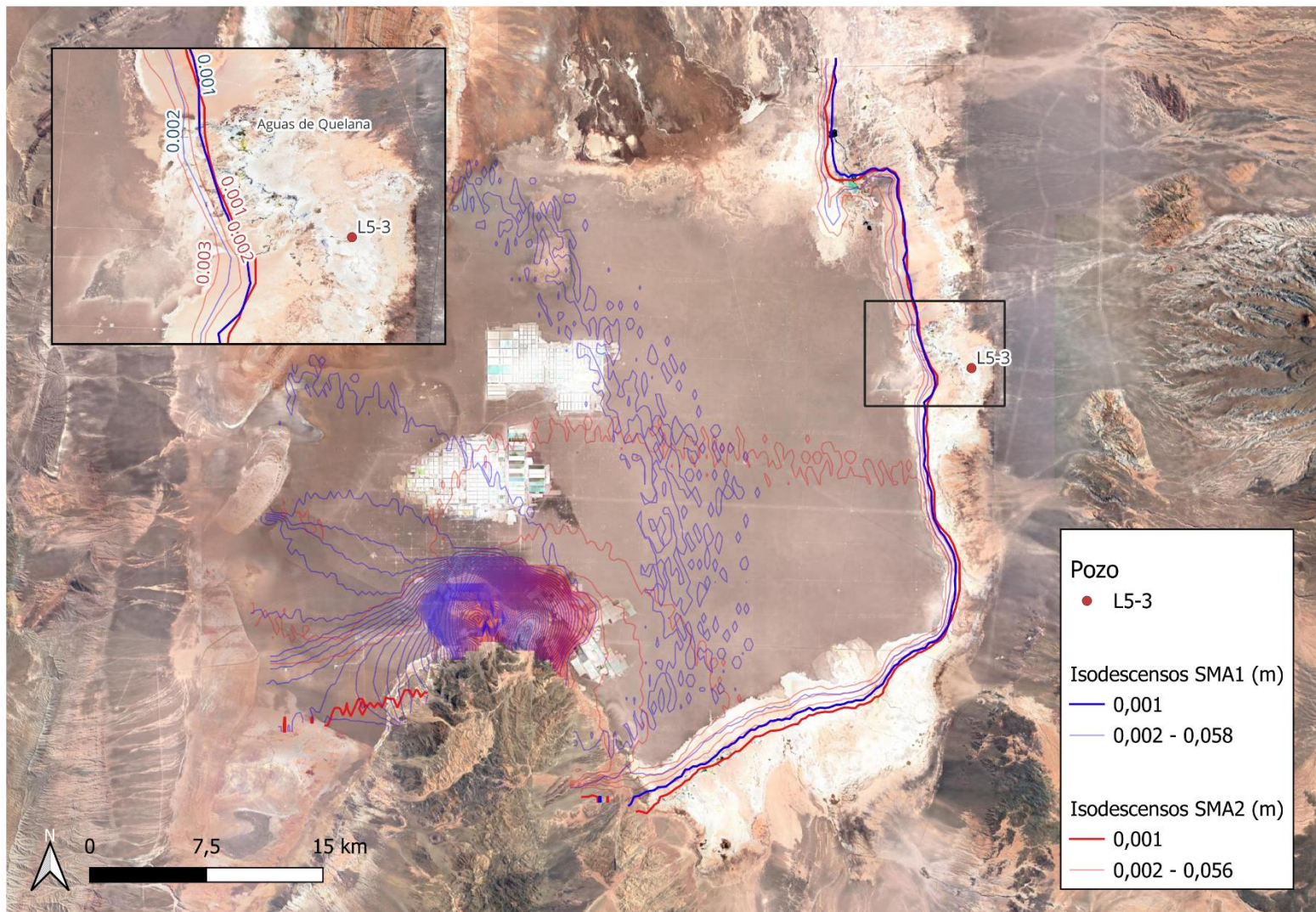


Figura 11: Curvas de isodensidad (dibujadas cada 0,001 m) en las fechas más desfavorables para el pozo L5-3 (cercano a sistema lagunar Aguas de Quelana), para los escenarios SMA1 (azul) y SMA2 (rojo).

Fuente: Elaboración propia.

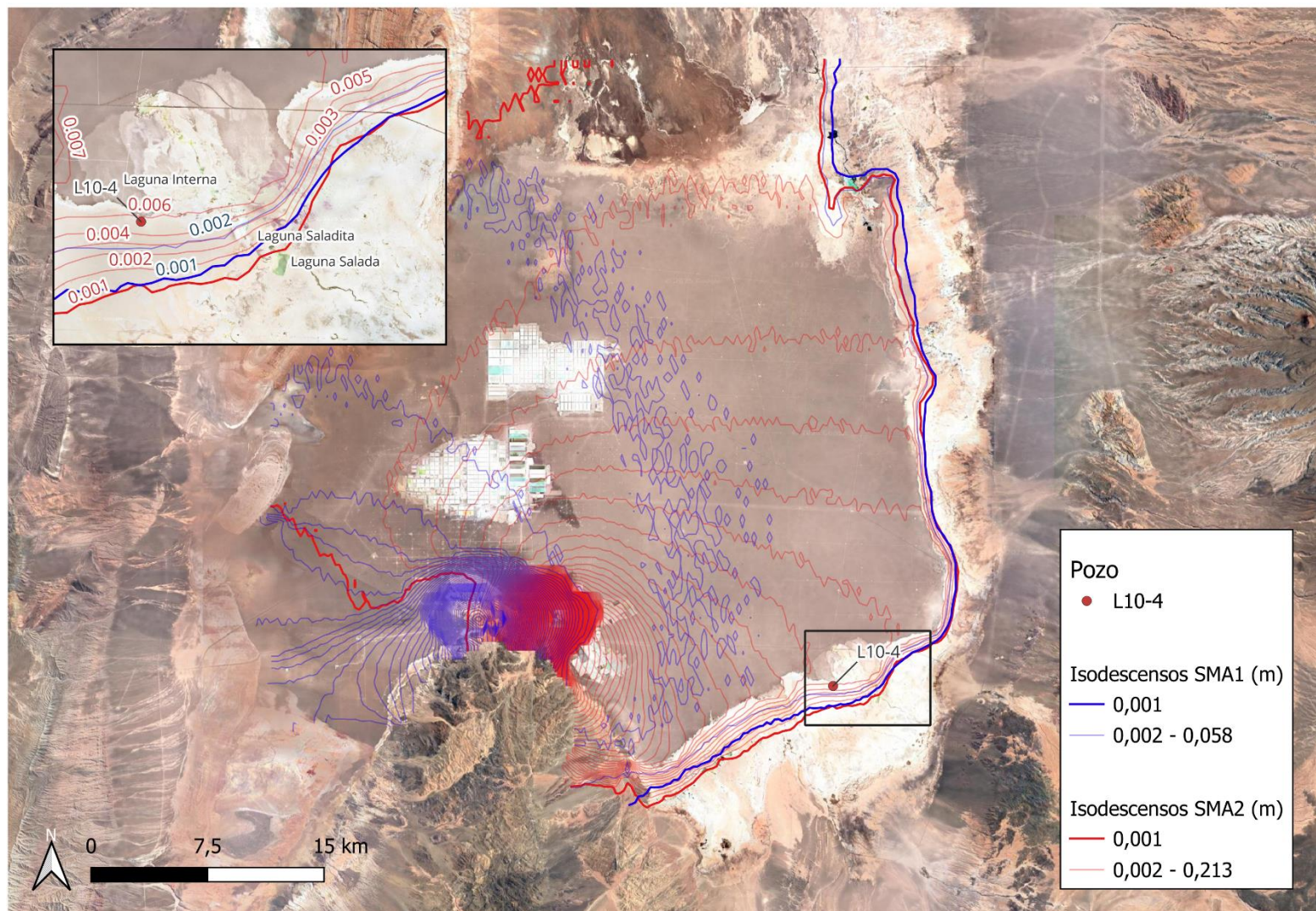


Figura 12: Curvas de isodescenso (dibujadas cada 0,001 m) en las fechas más desfavorables para el pozo L10-4 (cercano a sistema lagunar Peine), para los escenarios SMA1 (azul) y SMA2 (rojo).
Fuente: Elaboración propia.

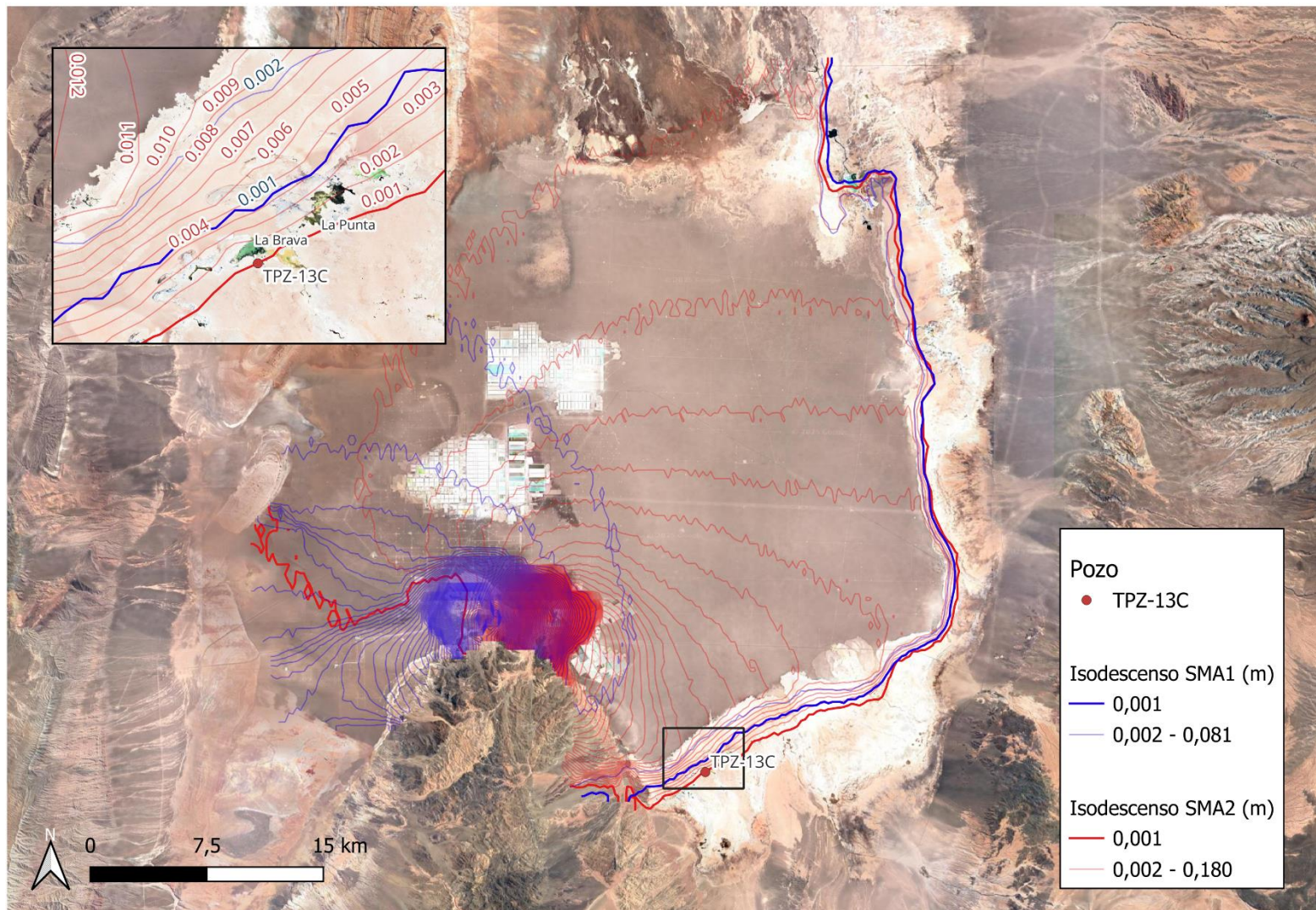


Figura 13: Curvas de isodescenso (dibujadas cada 0,001 m) en las fechas más desfavorables para el pozo TPZ-13C (cercano a sistema lagunar La Punta-La Brava), para los escenarios SMA1 (azul) y SMA2 (rojo).

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis anterior, se observa que la extensión de las diferencias mayores a 0,1 cm consideradas como el efecto evaluado incluye la totalidad del núcleo, así como parte de la zona marginal. En el caso de las lagunas La Punta y La Brava, estas se ubican dentro del isodescenso de 0,1 cm solo en el escenario SMA2, mientras que la laguna Barros Negros (sector lagunas de Soncor) se ubica parcialmente dentro del isodescenso de 0,1 cm en ambos escenarios. Por su parte, las lagunas Interna y Saladita (sistema lagunar de Peine) se encontrarían en ambos escenarios dentro del isodescenso de 0,1 cm.

3. Conclusión

De acuerdo a los antecedentes revisados, los modelos presentados por el titular para evaluar el efecto de la sobreexplotación, en particular los escenarios SMA1 y SMA2, estarían implementados satisfactoriamente y, por tanto, el análisis de los efectos de los incumplimientos considera los resultados de dichas modelaciones.

En lo que respecta al análisis de magnitud, duración y extensión de los efectos, este Servicio consideraría que los efectos asociados a la sobreexplotación de salmuera en el periodo señalado no serían significativos, toda vez que, las mayores diferencias de nivel respecto al Caso Base se producirían dentro, o en las cercanías, de las áreas de concesión de Albemarle y SQM. Por otro lado, si bien la extensión del impacto incluye los sistemas lagunares, en dichos objetos de protección los descensos adicionales producidos por la sobreexplotación serían del orden de 1 a 7 mm, de acuerdo a las curvas de isodescensos presentados en las Figura 10 a Figura 13, descensos que no serían de una magnitud considerable, tomando en cuenta que se encuentran por debajo de la variabilidad temporal en los pozos de observación asociados, determinada a partir de la desviación estándar de los valores de niveles observados en el periodo de calibración, hasta septiembre de 2019 (mes anterior al inicio de la sobreexplotación, Figura 14), así como la mediana de la variación intraanual (valor máximo menos valor mínimo observado en un año calendario), de cada pozo (Tabla 8).

Tabla 8: Indicadores de variabilidad en los pozos de observación cercanos a los sistemas lagunares

Pozo	Periodo considerado	Desviación estándar (mm)	Mediana Variación Intraanual (mm)
L1-4	mar 2000 – sept 2019	105,52	100,5
L5-3	mar 2000 – sept 2019	57,09	129,5
L10-4	oct 2007 – sept 2019	206,20	179,0
TPZ-13C	ene 2007 – sept 2019	37,22	90,0

Fuente: Cálculo propio a partir de niveles observados utilizados para la calibración, hasta septiembre de 2019 (Anexo E)

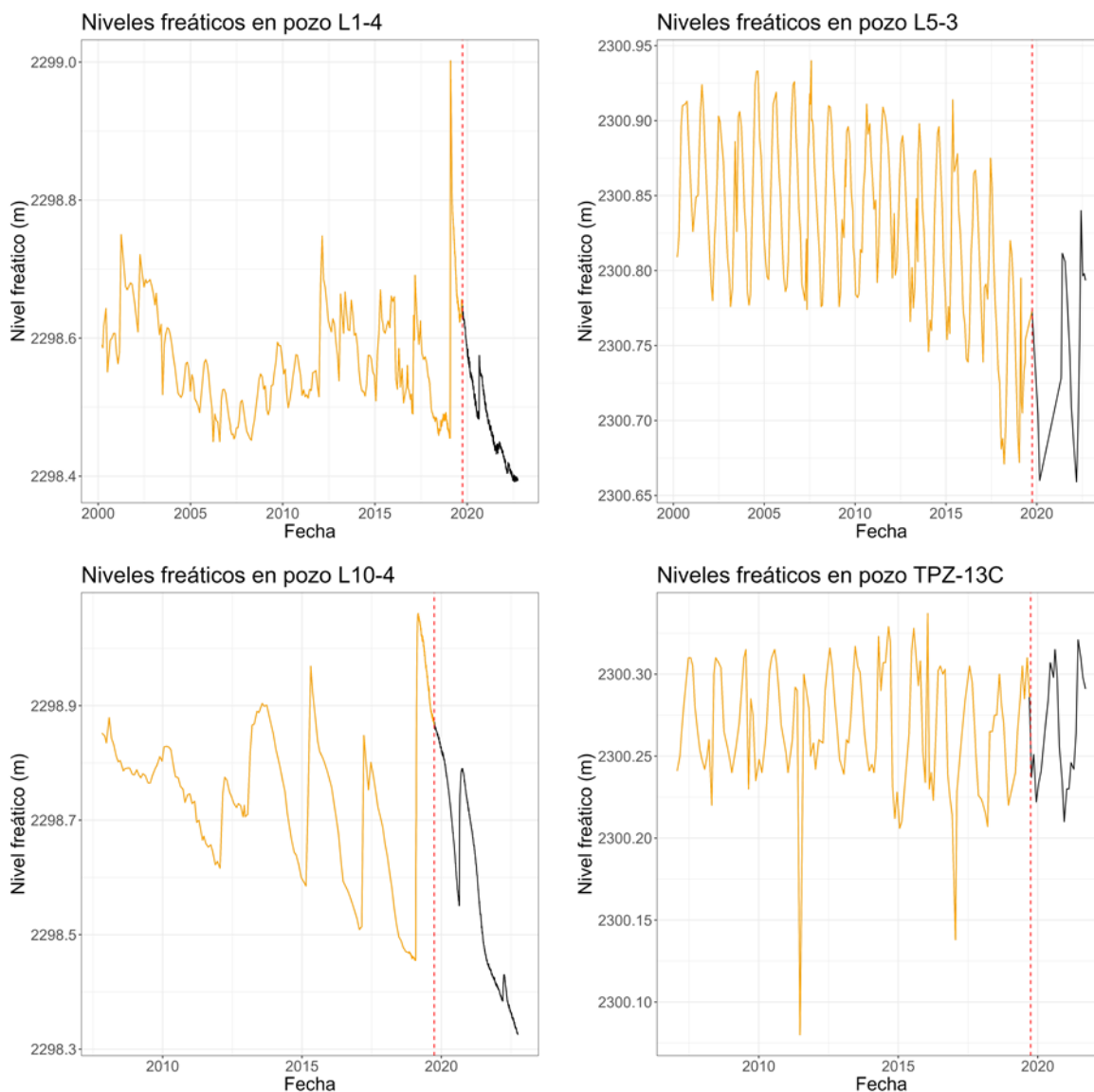


Figura 14: Niveles freáticos en pozos cercanos a sistemas lagunares en el periodo de calibración del modelo (hasta septiembre de 2022). En naranja se destacan los datos considerado para el análisis de variación temporal histórica, considerando el corte en septiembre de 2019 (línea punteada roja).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, de la comparación de los niveles modelados en los distintos escenarios con los umbrales establecidos en el PAT que considera la RCA 21/2016 (PAT Sector de Alerta Norte, PAT Sector de Alerta Acuífero y PAT Sector de Alerta Núcleo), se concluye que los descensos adicionales derivados de la sobreexplotación de salmuera no serían de una magnitud tal que influyan en la activación del PAT, es decir, que las activaciones que se han producido no se originan en las infracciones analizadas e igualmente se habrían producido en un escenario sin la sobreexplotación imputada (Figura 15).

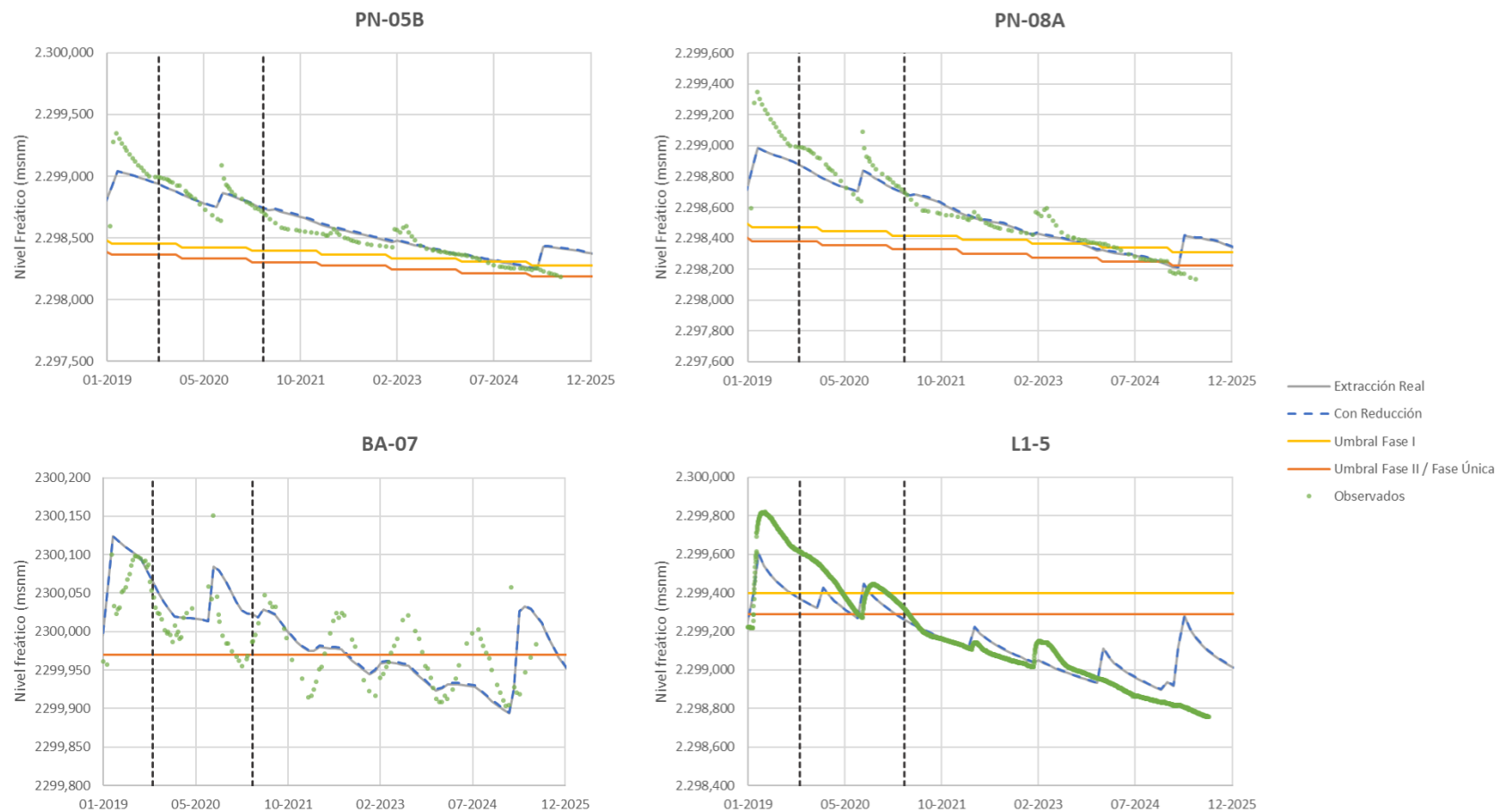


Figura 15: Niveles freáticos observados y modelados en pozos PAT seleccionados (Sector Núcleo: PN-05B y PN-08A; Sector Acuífero: BA-07; y Sector Norte: L1-5) y umbrales asociados. Los niveles modelados fueron corregidos (desplazamiento de la serie de datos modelados) a partir de los datos observados en diciembre de 2014.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la solicitud de la SMA en su Res. Ex. N°14/ROL F-018-2022, se informa que el análisis efectuado por este Servicio para efectos del presente pronunciamiento se limitó a los efectos derivados de la sobreexplotación de salmuera ocurrida en un periodo específico, correspondiente al año operacional de octubre de 2019 a septiembre de 2020, y a la no reducción inmediata de las extracciones de salmuera por activación del PAT Sector Alerta Acuífero en febrero y marzo de 2021. En ese sentido, debe mencionarse que el presente análisis no obsta otros pronunciamientos que, conforme a sus atribuciones y competencias pueda emitir este Servicio, en otras instancias fuera del marco del proceso sancionatorio en cuestión, pues la revisión de los niveles observados en los pozos PAT (Figura 15 y Anexo F), podría evidenciar una tendencia al descenso sostenido de los niveles freáticos.

IV. Listado de anexos y descripción de archivos asociados

Anexo A: Verificación Caudales Caso Base

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
Anexo I Bombeos (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con serie histórica de caudales de bombeo, utilizada para identificar los pozos del titular	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
Extracciones_Salmuera_ALB (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con serie histórica de caudales reales de extracción de salmuera, reportadas a la SMA	SMA (2021) Informe de Fiscalización DFZ-2018-1274-II-RCA
Revision Caudales CB (.xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de diferencia entre caudales implementados en el modelo y reportados a la SMA	DGA (2025)
Tiempos_Modelo (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con correspondencia entre periodos de stress del modelo numérico y fechas	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
Verificacion Caudales (.R)	Script	Código para cálculo de las diferencias entre caudales implementados en el modelo y reportados a la SMA	DGA (2025)
Wells_CB_Cal (.csv)	Dato de entrada	Archivo de texto con los caudales de bombeo e inyección implementados en el modelo	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico

Anexo B: Análisis Reducciones

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
Analisis Reducciones (.R)	Script	Código para cálculo de las diferencias en las series de caudales de bombeo en los distintos escenarios, respecto al Caso Base	DGA (2025)
Anexo I Bombeos (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con serie histórica de caudales de bombeo, utilizada para identificar los pozos del titular	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
pozos_red_SMA1 (.xlsx)	Resultado	Planilla con los pozos que tuvieron reducciones en el caso SMA1 (Entrega 2)	DGA (2025)
pozos_red_SMA2 (.xlsx)	Resultado	Planilla con los pozos que tuvieron reducciones en el caso SMA2 (Entrega 2)	DGA (2025)
red_pozos (.xlsx)	Resultado	Planilla con la diferencia de caudal (reducción) por cada pozo y en cada periodo de stress, para cada escenario	DGA (2025)
red_periodos (.xlsx)	Resultado	Planilla con la reducción total aplicada en cada periodo de stress, para cada escenario	DGA (2025)
Wells_CB_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Caso Base)	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
Wells_E1_SMA1_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Escenario SMA1, Entrega 1)	Albemarle (2025) Entrega 1
Wells_E1_SMA2_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Escenario SMA2, Entrega 1)	Albemarle (2025) Entrega 1
Wells_E2_SMA1_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Escenario SMA1, Entrega 2)	Albemarle (2025) Entrega 2
Wells_E2_SMA2_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Escenario SMA2, Entrega 2)	Albemarle (2025) Entrega 2
Wells_E2_SMA2alt_Cal (.csv)	Dato de entrada	Planilla con la serie de caudales de bombeo e inyección implementadas en el modelo (Escenario SMA2alt)	DGA (2025), resultado de Anexo C

Anexo C: Reducciones Esc SMA2alt

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
Caudales_red (.xlsx)	Resultado	Planilla con caudales de reducción modificados	DGA (2025)
pozos_red_SMA2 (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con los pozos que tuvieron reducciones en el caso SMA2 (Entrega 2), formato simplificado	DGA (2025), resultado de Anexo B
Reducciones Escenario SMA2alt (.R)	Script	Código para cálculo de los caudales de reducción modificados para el escenario SMA2alt	DGA (2025)
Wells_CB_Cal (.csv)	Dato de entrada	Archivo de texto con los caudales de bombeo e inyección implementados en el modelo	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
Wells_E2_SMA2_al t_Cal (.xlsx)	Resultado	Planilla con caudales de reducción modificados, formato completo (mismo formato que Wells_CB_Cal), para incorporar al script de verificación de reducciones	DGA (2025)

Anexo D: Análisis Efectos

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
20250106_Niveles _diferencias (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con niveles simulados en pozos de observación, para cada escenario	Albemarle (2025) Entrega 2
Analisis Efectos (.R)	Script	Código para estimación de la magnitud, duración y extensión de los efectos producidos por la sobreexplotación	DGA (2025)
desc_dur_SMA1 (.xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de la duración de los efectos (diferencia entre fecha de inicio y término de las diferencias) en cada pozo, en el escenario SMA1	DGA (2025)
desc_dur_SMA12(. xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de la duración de los efectos (diferencia entre fecha de inicio y término de las diferencias) en cada pozo, en el escenario SMA2	DGA (2025)
desc_max (.xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de la magnitud de los efectos (descenso máximo) en cada pozo, para los escenarios SMA1 y SMA2	DGA (2025)
pozos_desc_1mm	Resultado	Planilla con identificación de pozos de observación que presentan descensos máximos	DGA (2025)

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
		iguales o mayores a 1 mm, para los escenarios SMA1 y SMA2	

Anexo E: Variabilidad Pozos

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
niveles_pozos_obs (.xlsx)	Dato de entrada	Planilla con niveles observados en pozos de observación, en el periodo de calibración	Albemarle (2023) Tercera Actualización Modelo Hidrogeológico
sd_pozos (.xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de desviación estándar en los pozos de observación asociados a los sistemas lagunares	DGA (2025)
var_intraanual (.xlsx)	Resultado	Planilla con resultados de la mediana de la variación intraanual en los pozos de observación asociados a los sistemas lagunare, en el periodo histórico	DGA (2025)
Variabilidad Pozos (.R)	Script	Código para cálculo de la variabilidad temporal histórica en los pozos de observación asociados a los sistemas lagunares	DGA (2025)

Anexo F: Revisión Pozos PAT

Nombre Archivo (Formato)	Tipo Archivo	Descripción	Origen
Consolidado Pozos PAT ALB (.xlsx)	No Aplica	Planilla con niveles simulados sin corregir y corregidos, niveles observados y umbrales para los pozos contemplados en el PAT de Albemarle	DGA (2025) en base a antecedentes del titular e informes de seguimiento en SNIFA

Sin otro particular, saluda atentamente a ud.

DIEGO SAN MIGUEL CORNEJO
JEFE DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS
HÍDRICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DSM/RBV/GAM/gam

Nº Proceso SSD: 19414306

DISTRIBUCIÓN:

- Superintendencia del Medio Ambiente
- Sigrid Scheel Verbakel, e-mail: sigrid.scheel@sma.gob.cl
- Archivo DCPRH

