

MAT.: Entrega “Informe de Cuantificación de Componentes”.

ANT.: Comprobante Cod. RIA3676, de 21 de mayo de 2018; Presentación de informe de investigación de 20 de junio de 2018.

REF.: RCA 226/2006, de la COREMA Región de Antofagasta.

Santiago, 25 de julio de 2018

Rubén Verdugo Castillo

Jefe División de Fiscalización

Superintendencia de Medio Ambiente

Presente



cc. Dirección General de Aguas

JUAN CARLOS BARRERA PACHECO, Vicepresidente Operaciones Potasio Litio, y **ALEJANDRO BUCHER TOMAS**, Gerente de Medio Ambiente Operaciones Potasio Litio, ambos en representación de **SQM SALAR S.A.**, domiciliados para estos efectos en Badajoz N° 45, piso 8, comuna de Las Condes, Región Metropolitana, en conformidad a lo establecido en los considerandos 11.2.3.1 letra d) y 11.2.3.3 letra c) de la Resolución de Calificación Ambiental 226/2006, de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Antofagasta, que calificó favorablemente el proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” (en adelante, RCA 226/2006), venimos en hacer entrega del documento “Informe de Cuantificación de Componentes”, complementario al informe de investigación relativo a la causa de activación de la Fase II del Plan de Contingencias del Sistema Soncor en los indicadores de estado L1-5 y L1-G4 entregado el pasado 20 de junio de 2018.

Este reporte fue anunciado como uno de los trabajos adicionales y en desarrollo, al presentar el informe de investigación dentro del plazo conferido por la RCA 226/2006. Lo anterior, con la finalidad de profundizar el análisis respecto de la relevancia relativa de cada componente identificada en el informe de investigación como causas de activación del Plan de Contingencias para el Sistema Soncor:

- a) Efecto del cambio en la dinámica lagunar.
- b) Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones.
- c) Efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo.

El “Informe de Cuantificación de Componentes” fue elaborado por el investigador Enric Vázquez-Suñé, Doctor en Ciencias Geológicas, perteneciente al Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), asociado al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España, y en colaboración con el equipo técnico de SQM.

Este informe comprende el desarrollo de un análisis y representación de un conjunto de condiciones, o escenarios de simulación, que permiten cuantificar la relevancia relativa de los componentes identificados como causas de activación, cuantificación que se expresa tanto en diferencias de nivel (cm), como en porcentaje (%).

A partir de los resultados y conclusiones del informe, es posible expresar lo siguiente:

1. Se confirma que la principal causa asociada a la activación de la Fase II del Plan de Contingencias para el Sistema Soncor corresponde a la disminución de la recarga por cambio en la dinámica natural de desborde de la laguna Barros Negros.

En efecto, al 20 de mayo de 2018, fecha de activación en los indicadores L1-5 y L1-G4, el cambio de la dinámica natural de desborde de la laguna daría cuenta del 91% del diferencial de nivel como causa de activación, mientras que un 8% podría atribuirse a la extracción de SQM, y un 1% a Albemarle (ex Rockwood).

Lo anterior se ajusta a lo que la RCA 226/2006 (considerando 11.2.3.1 letra c) denomina “efecto adicional de SQM”, en la medida que *“existe un efecto del bombeo de salmuera (SQM), pero éste no es capaz de activar el PC por sí sólo”*.

En este contexto, la extracción de salmuera es una componente perceptible, pero con niveles de influencia acotados en la generación de la contingencia activada el pasado 20 de mayo.

2. La extracción del titular de la RCA 21/2016 es cuantificable. Si bien se ha definido que un 1% del diferencial de nivel correspondería a la extracción de salmuera por parte de Albemarle, ello corresponde al resultado de simulaciones preparadas con la información disponible a la fecha. La autorización de funcionamiento referida prevé aumentos periódicos de bombeo de salmuera, por lo que se espera que su influencia vaya aumentando en el tiempo, produciendo un efecto acumulativo.

Cabe destacar que el efecto de las extracciones de ambos actores en el Salar de Atacama es equivalente como causa del diferencial de niveles en los indicadores L1-5 y L1-G4, dentro de sus caudales autorizados y reales. Dadas las dinámicas de descenso y extensiones del acuífero de salmuera del núcleo del Salar, tal como fue constatado por Custodio (2017), estas se rigen en el largo plazo por el balance de extracciones, más que por la distancia de cada una de las explotaciones respecto del punto de observación.

3. La proyección de la efectividad de la medida de contingencia aplicada en conformidad al considerando 11.2.3.1 de la RCA 226/2006 (reducción del caudal de bombeo de 1500 l/s al escalón anterior de 1250 l/s), mediante una simulación al 20 de noviembre de 2018, permite pronosticar que esta medida no genera un incremento significativo en los niveles, esperándose que su aplicación sólo produzca un aumento de 0,15 cm en promedio entre ambos indicadores. Cabe mencionar que la simulación contempla, además, las reducciones de extracciones de salmuera comprometidas en la propuesta de Programa de Cumplimiento Refundido, ingresado a la Superintendencia el pasado 5 de junio de 2018.

Este pronóstico confirma el carácter secundario del bombeo de salmuera en la activación de la Fase II del Plan de Contingencias para el Sistema Soncor y en la recuperación de niveles sobre los valores de activación previstos para ambos indicadores.

Atendidas las conclusiones precedentes, se observa que tanto el considerando 11.2.3.1 de la RCA 226/2006, como el diagrama de flujo contenido en el Anexo II de la Adenda N°3, sólo se refieren a la eliminación del efecto adicional de SQM y no contemplan un efecto de origen natural de carácter permanente o de largo tiempo -como podría calificarse el cambio en la dinámica natural de desborde de la laguna Barros Negros-.

Nuestra representada continuará examinando la evolución de los niveles de los indicadores en cuestión, del objeto de protección (laguna Barros Negros) y del sistema en su conjunto, y evaluará las alternativas disponibles, a objeto de proponer los mecanismos idóneos para enfrentar una eventual continuidad de la situación de contingencia.

Finalmente, me permito hacer presente que, con motivo de la presentación del Informe de Investigación el pasado 20 de junio de 2018, se incurrió en errores de referencia puntuales, simplemente formales, que pasamos a detallar:

1. En el archivo "CAUDALES_SQM.xlsx" de la subcarpeta "01_Extraccion", carpeta "Parte_1" de los anexos digitales, el caudal mensual de extracción de agua industrial

correspondiente al mes de mayo de 2018 de los pozos Socaire y CA-2015 deben ser 64,65 L/s y 33,90 L/s, en vez de 64,71 L/s y 33,87 L/s, como se indica en el documento.

2. En el apéndice C.2 “Resultados de Laboratorio University Waterloo Environmental Isotope Laboratory” del Anexo I “Modelo Hidrogeológico 3D de Flujo y Transporte en Densidad Variable”, se debe precisar que la cuarta y sexta columna de la tabla indicada corresponden a los resultados del isótopo ^{18}O y ^2H respectivamente.
3. En el cuerpo principal del informe, por problemas de edición del documento se omitieron los números de página desde la página 1 hasta la 196. A partir de la 197 se conservan los números de página. No obstante, sin perjuicio de lo anterior, la numeración y orden indicados en el Índice se mantienen en todo el cuerpo del informe.

Considerando lo expresado, tratándose de errores puramente materiales, solicitamos a Ud. tener por rectificadas dichos puntos en los términos expresados.

Finalmente, solicitamos tener presente que el “Informe de Cuantificación de Componentes” se entrega en formato papel incluyendo soporte digital conteniendo los anexos digitales del mismo. Hago presente, asimismo, que el informe ha sido cargado en el Sistema de Seguimiento Ambiental de la Superintendencia, para lo cual se adjunta, igualmente, comprobante de remisión de antecedentes de fecha 25 de julio de 2018.

POR TANTO,

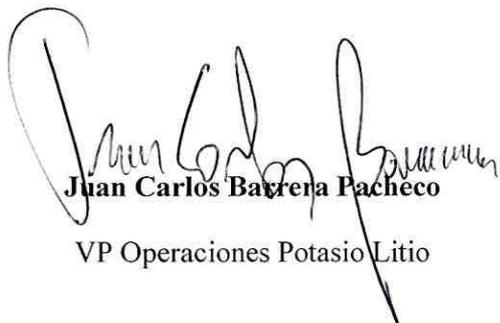
SOLICITAMOS A UD. tener por presentado el documento “Informe de Cuantificación de Componentes”, complementario al Informe de Investigación relativo a la causa de activación de la Fase II del Plan de Contingencias del Sistema Soncor en los indicadores de estado L1-5 y L1-G4.

Asimismo, solicitamos tener por rectificadas los errores de referencia contenidos en el Informe de Investigación, presentado el 20 de junio de 2018, que se detallan en esta presentación.

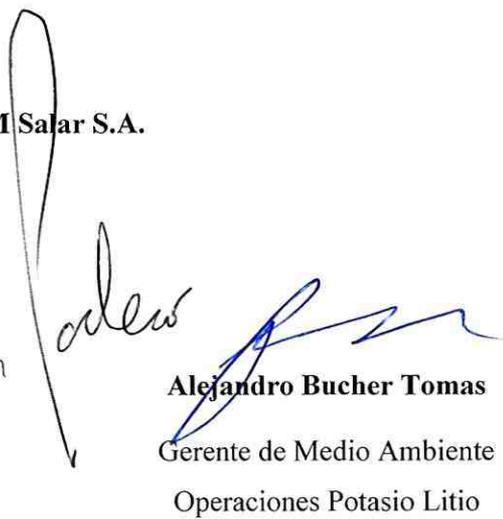
Quedamos disponibles para aclarar cualquier aspecto de esta presentación y del informe que se acompaña.

Sin otro particular, saludan muy atentamente a usted,

SQM Salar S.A.



Juan Carlos Barrera Pacheco
VP Operaciones Potasio Litio



Alejandro Bucher Tomas
Gerente de Medio Ambiente
Operaciones Potasio Litio

INFORME DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE CUANTIFICACIÓN DE COMPONENTES

Julio de 2018

Responsables del Proyecto:

Enric Vázquez Suñé

Doctor en Ciencias Geológicas y Máster en Hidrología Subterránea (UPC, Barcelona)

Equipo Redactor:

Daniel López

Ingeniero Hidráulico (Universidad de Chile) y Máster en Hidrología Subterránea (UPC, Barcelona)

Rodolfo Ordóñez

Ingeniero Hidráulico (Universidad de Chile) y Máster en Hidrología Subterránea (UPC, Barcelona)



CONTENIDO

1	RESUMEN	- 3 -
2	INTRODUCCIÓN.....	- 5 -
3	OBJETIVO.....	- 5 -
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 5 -
5	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SITUACIÓN REAL CON EL MODELO NUMÉRICO DE 2004	- 8 -
5.1	Descripción del modelo en el entorno de los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla	- 10 -
5.2	Análisis de los niveles simulados obtenidos en el modelo.....	- 12 -
6	ANÁLISIS Y SIMULACIONES.....	- 15 -
6.1	Efecto del cambio de dinámica lagunar	- 15 -
6.1.1	Simulación Dinámica Lagunar 1 (Sim-DL1).....	- 16 -
6.1.2	Simulación Dinámica Lagunar 2 (Sim-DL2).....	- 18 -
6.2	Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones	- 21 -
6.3	Efecto extracciones de salmuera	- 25 -
6.3.1	Simulación Extracciones 3 (Sim-EX3)	- 28 -
6.3.2	Simulación Extracciones 4 (Sim-EX4)	- 30 -
6.3.3	Simulación Extracciones 5 (Sim-EX5)	- 32 -
7	CUANTIFICACIÓN DE COMPONENTES.....	- 35 -
8	PRONÓSTICO DE LA EFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE CONTINGENCIA.....	- 41 -
9	DISCUSIÓN.....	- 45 -
10	CONCLUSIONES	- 48 -
	ANEXOS DIGITALES.....	- 50 -

1 RESUMEN

En el marco de la activación de la Fase II del pasado 20 de mayo de 2018, para dos indicadores de estado en el Sector de Soncor, el pozo L1-5 y la reglilla L1-G4, el día 20 de junio se presentó el correspondiente Informe de Investigación (IDAEA-CSIC, 2018), tal y como establece la RCA226/2006. En este informe se realizaron distintos análisis de variables y escenarios de simulación en el modelo local con el fin de identificar las principales causas de activación del PC en estos puntos. Además, con el objetivo de extender la etapa de investigación, se propuso el desarrollo de dos informes adicionales. Este informe corresponde al primero de ellos, cuyo objetivo es la cuantificación de los componentes identificados como responsables de la activación de la Fase II para esos indicadores.

La RCA226/2006, en su numeral 11.2.3.1, especifica que *“La etapa de investigación contempla realizar un análisis detallado de la información obtenida mediante el PSA (...) y, sobre esta base, determinar la causa de activación de la Fase II del PC, esto es: a) Bombeo de SQM; b) efecto de terceros, sequía hidrológica u otras causas no previstas con efecto adicional de SQM; c) efecto de terceros, sequía hidrológica u otras causas no previstas sin efecto adicional de SQM”*.

A partir de lo expuesto en el Informe de Investigación de 20 de Junio 2018, se propusieron 3 tipos de simulaciones para cuantificar la relevancia relativa de cada componente identificada en el informe de investigación como causas de la activación del PC:

- a) Efecto del cambio en la dinámica lagunar (Sim-DL1 y 2)
- b) Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones. Se ha descartado simular dicho efecto dado que no se ha constatado ninguna tendencia en los datos de precipitación históricos.
- c) Efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo (Sim-EX3; Sim-EX4; y Sim-EX5)

Para efectos de dimensionar los factores que podrían haber intervenido en la activación de la Fase II de estos dos indicadores, se han realizado un total de 5 simulaciones en el Modelo Numérico Local (IDAEA-CSIC, 2018), según el efecto que se quería cuantificar. En el caso de la cuantificación del efecto del cambio de la dinámica lagunar, se han realizado dos simulaciones, con y sin efecto adicional de SQM. Para la cuantificación de las extracciones, se han realizado tres simulaciones, dos de ellas para poder ver el efecto de los incrementos de escalón de caudal autorizados tanto

para SQM como para Albemarle (en adelante ABL), y otra sin estos aumentos, para poder así evaluar el efecto diferencial de cada actor sobre los niveles de los indicadores de estado.

Se cuantifica el efecto de dichas simulaciones entre el caso base realista (IDAEA-CSIC, 2018) y un caso sintético más favorable (sin cambio en dinámica lagunas, ni teniendo en cuenta el incremento de caudal producido por el último escalon productivo de SQM y ABL). Además, se ha realizado una simulación a 20 de noviembre de 2018, para pronosticar el efecto inmediato en los niveles de los indicadores L1-5 y L1-G4 que puede generar la medida de mitigación implementada, compromiso adquirido también en el Informe de Investigación del 20 de Junio de 2018 (IDAEA-CSIC, 2018).

Los principales resultados obtenidos han sido:

- En general, a fecha 20 de Mayo 2018, el cambio de la dinámica natural de desborde de la laguna daría cuenta del 91% del diferencial de nivel como causa de activación de la Fase II del PC; un 8% sería producto del cambio de escalón de extracción de SQM y el 1% restante debido al cambio de escalón de ABL.
- El pozo L1-5 está hidráulicamente más conectado con el comportamiento del núcleo por su mayor profundidad y posición. La reglilla L1-G4, por su naturaleza más somera, es más sensible a las variaciones naturales del sistema dinámico de las lagunas y sus procesos de desborde superficial.
- Se pronostica con el modelo que tras 6 meses desde la implementación de la medida de mitigación (20 de noviembre de 2018), el nivel en los puntos del PC L1-5 y L1-G4, aumentará en 1,7 mm y 1,2 mm respectivamente.

2 INTRODUCCIÓN

El Informe de investigación presentado como respuesta inicial al requerimiento de la RCA 226/2006 a partir de la activación de la Fase II (IDAEA-CSIC, 2018), considera la necesidad de extender los trabajos de análisis con fin de profundizar y reforzar sus conclusiones. Así, se propuso la entrega del presente informe técnico como complemento del informe de investigación.

El alcance de este informe comprende el desarrollo de un análisis y representación de un conjunto de condiciones, o escenarios de simulación, a través del uso de las herramientas de los Modelos Numéricos Regional (IDAEA-CSIC, 2017) y local del Sector de Soncor (IDAEA-CSIC, 2018), y que permitan cuantificar la relevancia relativa de cada componente identificada en el informe de investigación como posibles causas de la activación del PC (IDAEA-CSIC, 2018), estas son:

- a) Efecto del cambio en la dinámica lagunar;
- b) Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones;
- c) Efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo

3 OBJETIVO

El objetivo de este informe es cuantificar la influencia relativa de cada una de las componentes identificadas como causas de la activación del PC en el Informe de Investigación (IDAEA-CSIC, 2018) sobre los niveles en los puntos en los que se ha activado la fase II del PC en Soncor (L1-5 y L1-G4).

Esta cuantificación se expresa tanto en diferencias de nivel (cm), como en porcentaje (%) para cada uno de estas componentes, pudiéndose así jerarquizar el peso de cada uno de ellas en la activación de la Fase II de los indicadores del PC.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de las simulaciones realizadas en el presente documento, se ha establecido como punto de partida el Caso Base del Modelo numérico de Soncor, presentado y descrito en el Informe de Investigación (IDAEA-CSIC, 2018). Este Caso Base, corresponde a la simulación más realista con la que se cuenta, dónde se incorporan las extracciones reales de SQM hasta 20 de

mayo de 2018, y las extracciones reales de Albemarle, considerando la información disponible a la fecha (hasta 31 de diciembre de 2017), y proyectadas, siguiendo su regla operacional autorizada por la RCA21/2016. Esto es:

Tabla 4-1. Caudales de salmuera en el Caso Base a 20 de mayo de 2018. Fuente: elaboración propia

	SQM	ABL
Caso Base a 20 de mayo de 2018	1500 l/s	382 l/s*

*La RCA21/2016, autoriza un incremento de extracción de salmuera de 300 l/s, mediante escalones de 60 l/s cada 6 meses. De acuerdo al Informe Anual nº1 del PSA de ABL (RWL, 2017), el primer escalón ocurrió el 28 de septiembre de 2016, por lo que al 20 de mayo de 2018 todavía falta un escalón por completar, siendo la extracción efectiva actual de 382 l/s.

Se contempla hacer también un análisis comparativo de la situación real con lo predicho con el modelo numérico de 2004 (DICTUC, 2004). Para ello se presentará una revisión del modelo numérico regional presentado en el Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama (PRAMAR, 2005) con el objetivo de: (1) verificar la conceptualización adoptada en esta herramienta para representar la dinámica de la laguna Barros Negros y su entorno inmediato a los indicadores L1-5 y L1-G4, y (2) evaluar las diferencias entre los niveles predichos en este modelo y los niveles medidos a la fecha de activación de la Fase II en los indicadores L1-5 y L1-G4 (20 de mayo 2018).

Por otro lado, la metodología de trabajo que se presenta contempla diferentes análisis y simulaciones propuestas (efecto del cambio en la dinámica lagunar; efecto en la disminución de la recarga directa por precipitaciones; efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo).

La Tabla 4-2 identifica con un código único (en adelante Id) cada una de las simulaciones, mientras que la Tabla 4-3 resume cada una de las simulaciones desarrolladas, así como las actuaciones realizadas en el modelo numérico para la correcta representación del efecto en cuestión.

Tabla 4-2. Código identificador para cada una de las simulaciones presentadas en este informe. Fuente: elaboración propia

Id	Simulación
Sim-DL1	Efecto cambio en la dinámica natural de las lagunas con efecto de SQM (SQM: 1500 l/s y ABL: 382 l/s)
Sim-DL2	Efecto cambio en la dinámica natural de las lagunas sin efecto de SQM (SQM: 1250 l/s y ABL: 382 l/s)
Sim-EX3	Efecto reducción escalón de bombeo anterior (SQM: 1250 l/s y ABL: 382 l/s)
Sim-EX4	Efecto reducción escalón de bombeo anterior (SQM: 1500 l/s y ABL: 142 l/s)
Sim-EX5	Efecto reducción escalón de bombeo anterior (SQM: 1250 l/s y ABL: 142 l/s)

Tabla 4-3. Detalle de cada una de las simulaciones implementadas, su identificador único y actuaciones implementadas al modelo numérico para su elaboración.

Simulaciones para cada efecto	Id	Dinámica Lagunar	Extracciones
Efecto cambio en la dinámica natural de las lagunas	Sim-DL1	<u>Cola de Pez</u> : activo durante toda la simulación <u>Derrame Sur</u> : inactivo durante toda la simulación	SQM: 1500 l/s ABL: 382 l/s
	Sim-DL2	<u>Cola de Pez</u> : activo durante toda la simulación <u>Derrame Sur</u> : inactivo durante toda la simulación	SQM: 1250 l/s ABL: 382 l/s
Efecto extracciones	Sim-EX3	<u>Cola de Pez</u> : activo hasta 2012, de 2013 a 2017 activación intermitente según imágenes satelitales, a partir de 2017 inactivo <u>Derrame Sur</u> : inactivo hasta 2012, a partir de 2013 activación intermitente según imágenes satelitales	SQM: 1250 l/s ABL: 382 l/s
	Sim-EX4	<u>Cola de Pez</u> : activo hasta 2012, de 2013 a 2017 activación intermitente según imágenes satelitales, a partir de 2017 inactivo <u>Derrame Sur</u> : inactivo hasta 2012, a partir de 2013 activación intermitente según imágenes satelitales	SQM: 1500 l/s ABL: 142 l/s
	Sim-EX5	<u>Cola de Pez</u> : activo hasta 2012, de 2013 a 2017 activación intermitente según imágenes satelitales, a partir de 2017 inactivo <u>Derrame Sur</u> : inactivo hasta 2012, a partir de 2013 activación intermitente según imágenes satelitales	SQM: 1250 l/s ABL: 142 l/s

Cabe destacar que la fecha de inicio de los análisis de las extracciones de salmuera de SQM, hace referencia al último incremento de escalón autorizado el 13 de agosto de 2013, ya que, previo a esa fecha, nunca se había activado el Plan de Contingencia. Es decir, corresponde al último escalón bajo cuya regla operacional no se generaron desviaciones en los indicadores que pudiera indicar que se estaba generando una afección a los niveles en los puntos del PC.

5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA SITUACIÓN REAL CON EL MODELO NUMÉRICO DE 2004

En este capítulo se presentará una revisión del modelo numérico regional (DICTUC, 2004) presentado en el Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama (PRAMAR, 2005) con el objetivo de:

- Verificar la conceptualización adoptada en esta herramienta para representar la dinámica de la laguna Barros Negros y su entorno inmediato a los indicadores L1-5 y L1-G4, y
- Evaluar las diferencias entre los niveles predichos en este modelo y los niveles medidos a la fecha de activación de la Fase II en los indicadores L1-5 y L1-G4 (20 de mayo 2018).

La comparación se basó en el escenario de simulación para el cálculo de los caudales de bombeo ambientalmente seguros del informe elaborado por DICTUC (DICTUC, 2004), que corresponde al modelo numérico regional presentado en Estudio de Impacto Ambiental (DICTUC, 2004) y que fue la herramienta de apoyo que se presentó en el proceso de evaluación de impacto ambiental del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, que culminó en la dictación de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA 226/2006). Cabe mencionar que esta herramienta no fue utilizado para la definición de los umbrales del Plan de Contingencia, en particular para los indicadores de estado del Sistema Soncor. En efecto, el considerando 11.2.1 de la RCA 226/2006 indica que el umbral de activación considera el valor mínimo histórico observado en cada uno de los pozos de observación o reglillas de este sistema.

El escenario analizado tiene las siguientes consideraciones:

- Se trata de un modelo a escala anual (Febrero 2005 a Febrero 2037) con 32 períodos de stress (paso de tiempo anual). Durante el periodo de calibración se utilizaron periodos de stress mensuales, una vez calibrado se paso a periodos de stress anuales para realizar las simulaciones correspondientes.
- Se presentaron cuatro simulaciones, basadas principalmente en el caudal de reinyección (Bitterns) (0, 90, 180 y 270 l/s). Las simulaciones consideran el aumento escalonado de caudal de extracción en el sector MOP y SOP, tal y como se muestra en la Tabla 5-1.
- En estos escenarios se considera la recarga superficial mínima histórica, a modo conservador, para todo el periodo de simulación (2005-2037).
- Se considera recarga lateral subterránea constante con una disminución escalonada de 22%, para representar el efecto de sequía entre los años 19 (2024) y 32 (2037) de simulación, como situación conservadora.
- Los pozos de extracción en los sectores MOP y SOP se ubicaron en los vértices noreste de cada polígono de extracción OMA, como condición más desfavorable, dada su ubicación más cercana a las lagunas.
- Se proyecta un caudal de bombeo en los pozos de agua industrial de SQM igual a 240 l/s para todo el periodo de simulación, como condición desfavorable.

Tabla 5-1. escenario de operaciones en períodos escalonados del proyecto. Fuente: Tabla 5.2 (página 94) (DICTUC, 2004).

Periodo	Q Re-inyección = 0		Q Re-inyección = 90		Q Re-inyección = 180		Q Re-inyección = 270	
	Q de extracción (l/s)		Q de extracción (l/s)		Q de extracción (l/s)		Q de extracción (l/s)	
	SOP	MOP	SOP	MOP	SOP	MOP	SOP	MOP
2005-2006	350	400	366	416	377	427	386	436
2007-2010	450	800	466	816	477	827	486	836
2011-2016	600	900	616	916	627	927	636	936
2017-2023	650	950	666	966	677	977	686	986
2024-2030	700	1000	716	1016	727	1027	736	1036

5.1 Descripción del modelo en el entorno de los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla

El sistema lacustre de Soncor fue dividido en cuatro secciones, incluyendo las dos lagunas principales, Chaxa y Barros Negros, el canal que recarga la laguna Chaxa (Burro Muerto) y el canal que conecta ambas lagunas (Canal Barros Negros). En la Figura 5-1 se muestra la zonificación resultante, cuyos valores de recarga son los que se detallan en la Tabla 5-2.

En lo referente a los puntos del Plan de Contingencia activados L1-5 y L1-G4, puede observarse en la Figura 5-1 que a pesar de su proximidad, se encuentran en zonas de recarga distintas. El modelo conceptual de la época consideró que el punto L1-G4 se ubica sobre el área de recarga (Zona 8: 438,4 mm/año), que corresponde al efecto de desborde por Cola de Pez; mientras que el pozo L1-5 se ubica fuera de esta zona de influencia, y por lo tanto, se le atribuye una recarga superficial notoriamente menor de 11,3 mm/año (Zona 2).

En lo fundamental, cabe destacar que la zonificación planteada en este modelo no consideraba el área de desborde sur de la laguna Barros Negros, ni tampoco contemplaba el cambio de la dinámica lagunar (cambio del área de desborde preferente, al inicio en el sector Cola de Pez, y posteriormente en el sector sur de la laguna Barros Negros) tal como se ha verificado ocurre en la actualidad (Le Roux, 2018).

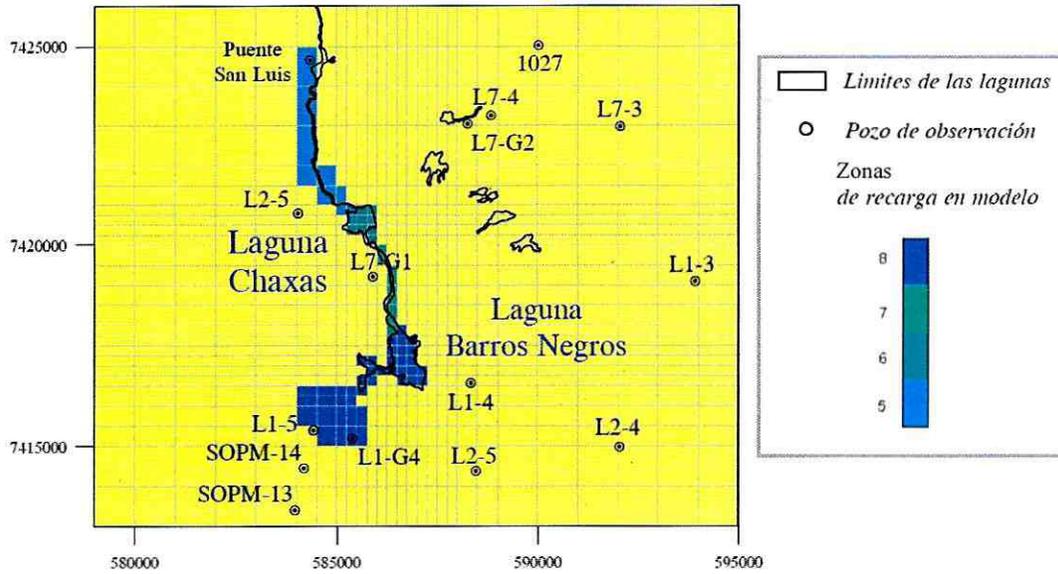


Figura 5-1. Representación de las zonas de recarga discretizadas en el sector Soncor dentro del modelo numérico de DICTUC. Fuente: modificada (DICTUC, 2004).

Tabla 5-2. Valores de recarga equivalentes para cada zona discretizada en el sector Soncor. Fuente: elaboración propia con los datos obtenidos de (DICTUC, 2004).

Zona	Recarga (mm/año)
2	11,3
5	177,4
6	833,7
7	594,2
8	438,4

5.2 Análisis de los niveles simulados obtenidos en el modelo

En primera instancia se muestran los niveles resultantes de los indicadores del PC analizados (L1-5 y L1-G4) de las cuatro simulaciones para el cálculo de los caudales definidos en ese estudio como ambientalmente seguros (ver Figura 5-2). Se comprueba que los cuatro casos entregan un resultado prácticamente idéntico en estos puntos, por lo que puede elegirse cualquiera de las cuatro simulaciones para el análisis de los resultados. En la Figura 5-3 se muestra con más detalle las diferencias entre los niveles resultantes para ambos puntos del PC: se observa que la reglilla L1-G4 se mantiene estable alrededor de la cota 2.299,63 msnm, mientras el pozo L1-5 se proyecta con una tendencia al descenso, donde la pendiente más fuerte se da a partir de 2023, partiendo en 2006 con una cota de 2.299,62 msnm y alcanzando en el año 2033 la cota mínima de 2.299,25 msnm, esto es un descenso total para este período de 37 cm. La diferencia en los resultados de ambos pozos es debida a la tasa de recarga con la que se conceptualizó el modelo en cada punto, descrita en el anterior apartado; para el L1-5 se consideró una tasa de 11,3 mm/año, mientras que el L1-G4 es de 438,4 mm/año.

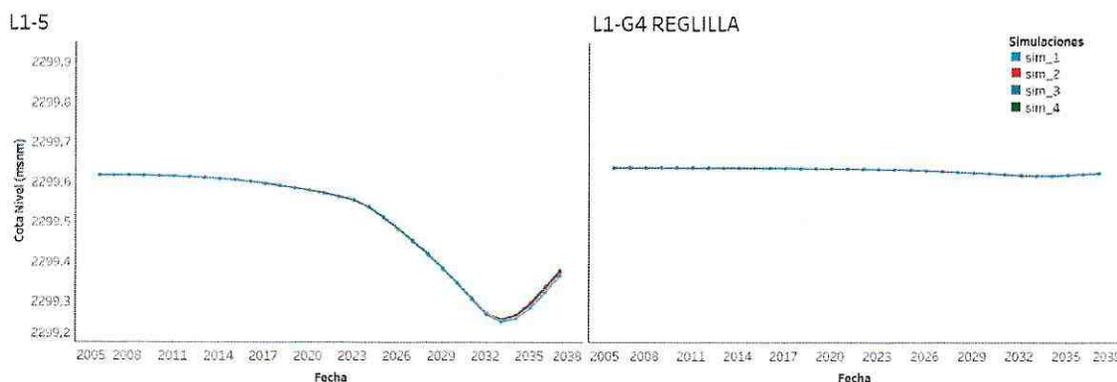


Figura 5-2. Resultado de las cuatro simulaciones contempladas en el escenario para el cálculo de los caudales de bombeo ambientalmente seguros. Fuente: elaboración propia

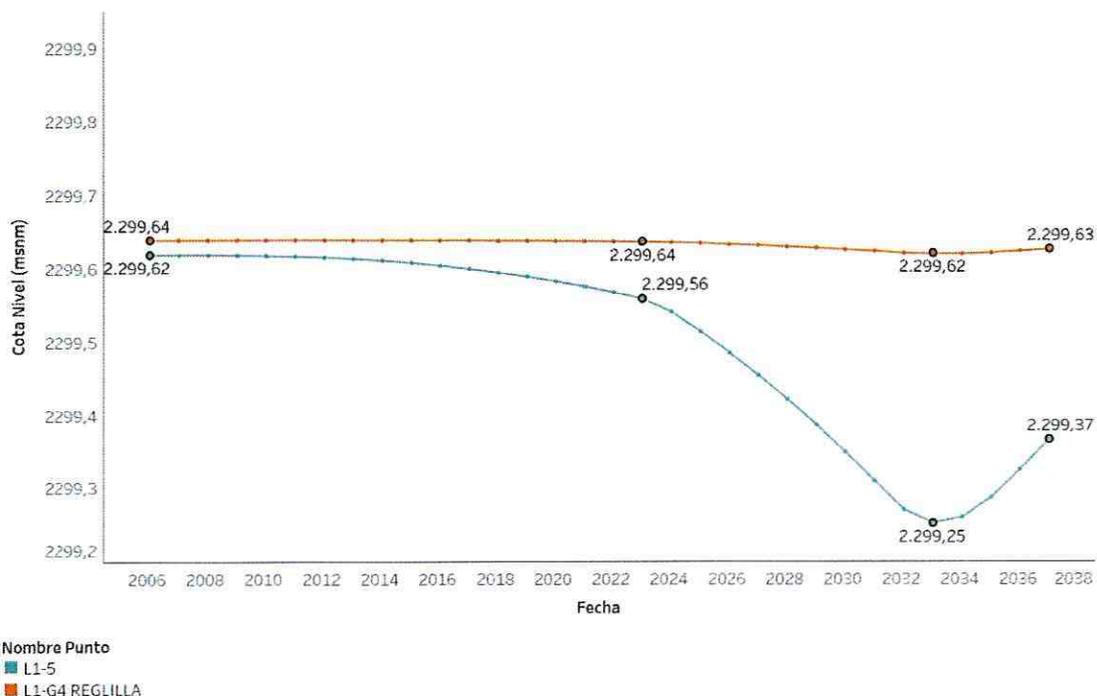


Figura 5-3. Evolución de los niveles calculados obtenidos en la simulación de DICTUC 2004 para los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla. Fuente: elaboración propia

A continuación, en la Figura 5-4 se comparan los resultados del modelo con los datos de nivel reales que se disponen, desde el inicio de las mediciones el año 2000 hasta el 20 de mayo de 2018. En el informe de investigación entregado a la autoridad, producto de la activación de la Fase II de dichos puntos (CSIC-IDAEA, 2018), se elabora un análisis de detalle de la variación de los niveles en el tiempo y según su ubicación dentro del sistema lacustre de Soncor. Se destaca que, ambos puntos de observación están sujetos a una misma dinámica hidrológica (eventos de desborde de la laguna a través del sector de Cola de Pez y régimen pluviométrico), y por este motivo, los niveles reflejan un mismo patrón de comportamiento e incluso una cota de elevación muy similar a partir de inicios del año 2012.

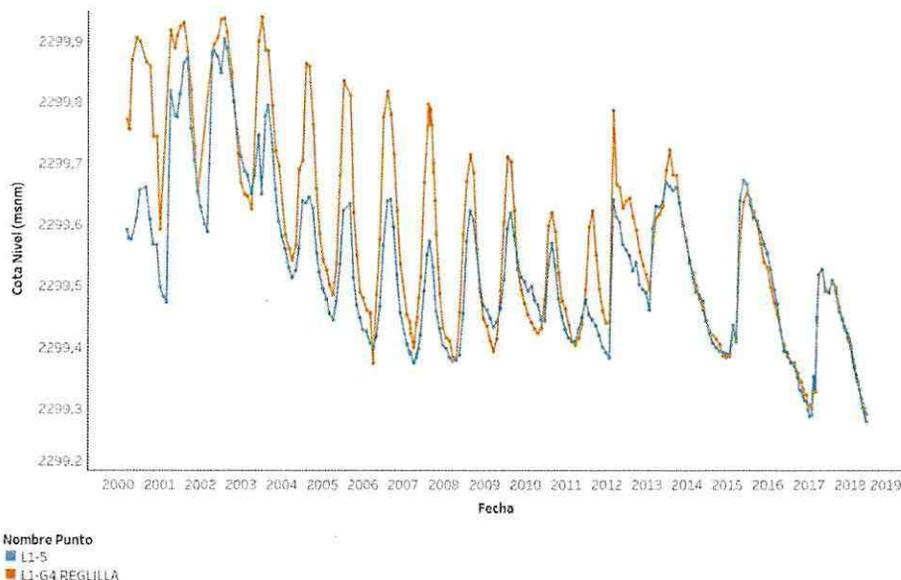


Figura 5-4. Niveles medidos en los puntos L1-5 y L1-G4 Reglilla hasta la fecha de activación de la Fase II (20 de mayo de 2018). Fuente: elaboración propia

Finalmente, en la Figura 5-5 se muestran, para ambos puntos del PC, los niveles medidos junto con los niveles resultantes del modelo. Se observa que los resultados no presentan un buen ajuste de la tendencia. Para representar mejor esta comparación en la Figura 5-6, se representan los promedios anuales de los niveles medidos, ya que el modelo numérico no considera las oscilaciones estacionales y entrega un valor promedio anual.

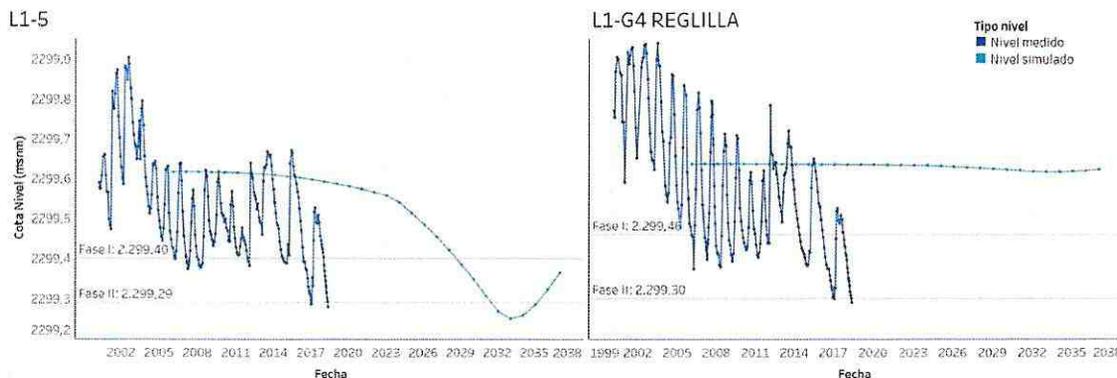


Figura 5-5. Comparación de los niveles obtenidos en la simulación del modelo numérico de DICTUC 2004 para los puntos del PC, L1-5 y L1-G4, junto con las mediciones de nivel en dichos puntos, desde el año 2000 y hasta el 20 de mayo de 2018. Fuente: elaboración propia



Figura 5-6. Comparación de los niveles obtenidos en la simulación del modelo numérico de Dictuc 2004 para los puntos del PC, L1-5 y L1-G4, junto con el promedio anual de las mediciones de nivel en dichos puntos, desde el año 2000 y hasta el 20 de mayo de 2018. Fuente: elaboración propia

De este análisis se puede concluir que el Modelo Regional 2004 (DICTUC, 2004), usado como herramienta para la evaluación ambiental en la RCA226/2006, no representa adecuadamente la tendencia real de los niveles medidos hasta la fecha en estos dos indicadores (L1-G4 y L1-5), y tampoco representa el efecto del cambio de la dinámica lagunar. Las posibles causas de esta diferencia fueron: (1) Se utilizaron geometrías poco precisas en el entorno de las lagunas; (2) El modelo DICTUC consistió en una integración anual; (3) Se simularon procesos y magnitudes de recarga y extracciones diferentes a lo ocurrido en estos años.

6 ANÁLISIS Y SIMULACIONES

En este apartado se desarrollan y presentan los cálculos de simulaciones para cada componente identificada en el informe de investigación sobre la activación del PC en Soncor.

6.1 Efecto del cambio de dinámica lagunar

Tal como se concluyera en el informe de investigación, el cambio en la dinámica de desborde de la laguna Barros Negros aparece como el factor más significativo sobre el comportamiento del nivel de los puntos L1-5 y L1-G4. A continuación se presentarán simulaciones dirigidas a cuantificar

la importancia relativa de esta componente con respecto a la extracción de salmuera desde el núcleo.

6.1.1 Simulación Dinámica Lagunar 1 (Sim-DL1)

Para la Sim-DL1, se representa un escenario en el cual la dinámica natural de los desbordes en el sistema de Soncor no varía con respecto al estado que se presentaba al momento de la aprobación de la RCA 226/2006. Esto supone mantener el derrame de la laguna de Barros Negros hacia Cola de Pez durante todo el período de simulación (1 de enero de 1986 a 20 de mayo de 2018), todo esto en detrimento del Derrame Sur, el cual queda desactivado para este escenario. Este escenario fue presentado en el Informe de Investigación de 20 de Junio de 2018 (IDAEA-CSIC, 2018), dónde se describe con detalle el proceso de modelación.

El resultado de la simulación produce un cambio, en relación con el Caso Base descrito en el Capítulo de Materiales y Métodos, en el comportamiento del sistema hidrogeológico de Soncor en la zona del desborde de cola de pez. Este cambio se traduce en respuestas de los niveles de los pozos de observación ubicados en esta zona, entre ellos los indicadores L1-5 y L1-G4.

A continuación, se presenta la variación de los niveles (L1-5 y L1-G4), tanto para el caso base, como para la Sim-DL1 desarrollada en este apartado, para poder establecer una comparación entre ambas (Figura 6-1 y Figura 6-2). Además, se ha incluido el umbral de la Fase II como referencia.

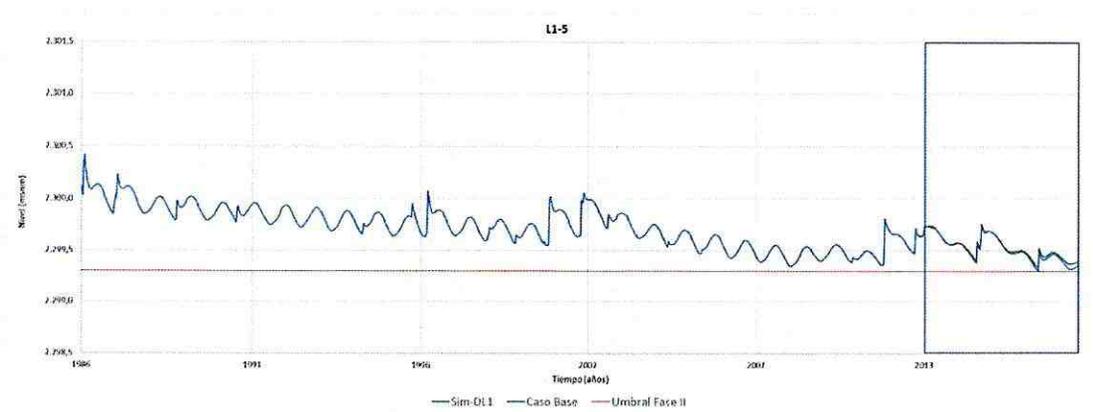


Figura 6-1. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-DL1 para el pozo L1-5. En la Figura 6-3 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: Elaboración propia.

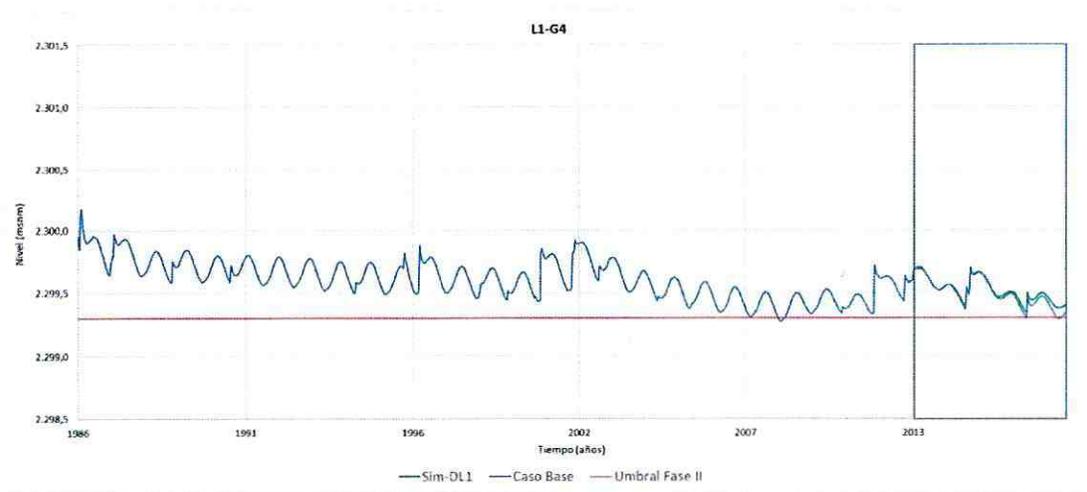


Figura 6-2. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-DL1 para el pozo L1-G4. En la Figura 6-4 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: Elaboración propia.

Para poder hacer observaciones más precisas, a continuación (Figura 6-3 y Figura 6-4) se presenta un detalle ampliado para el período de interés (enero 2013 a mayo 2018).

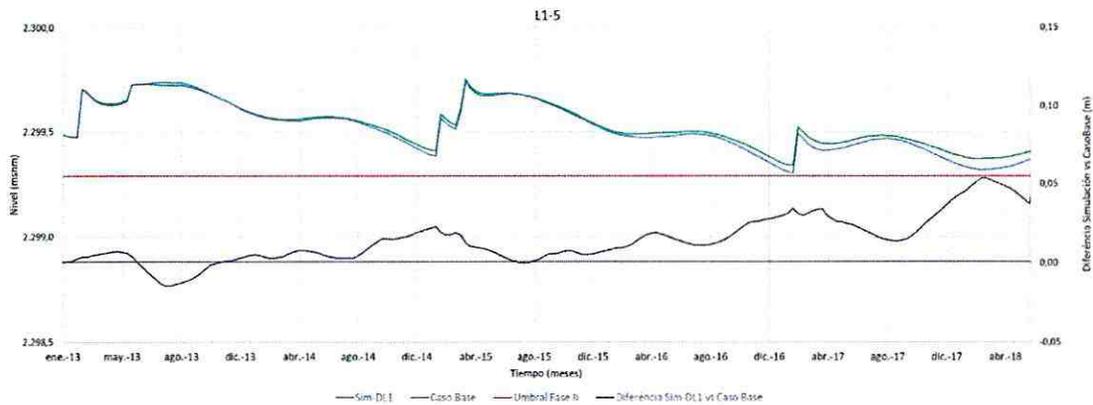


Figura 6-3. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-DL1 y los niveles medidos para el pozo L1-5. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en morado la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia

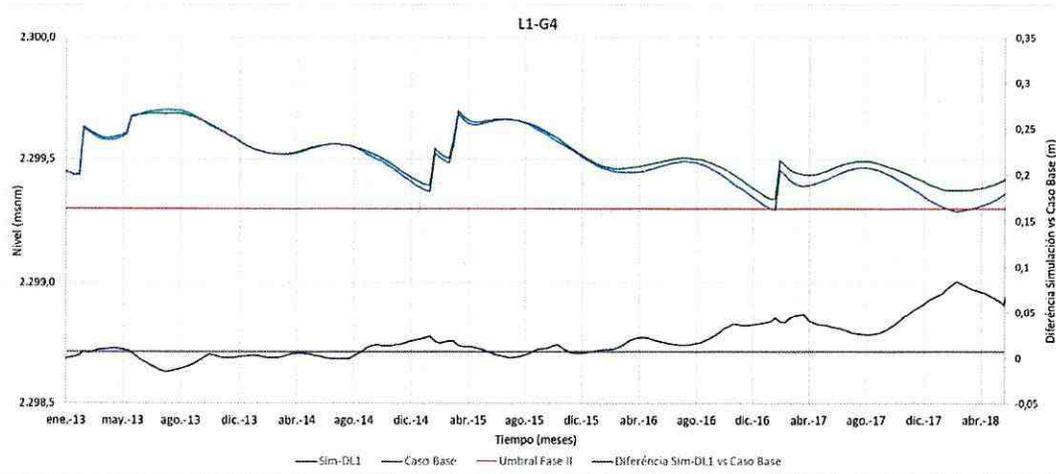


Figura 6-4. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-DL1. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en morado la diferencia que se produce entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia

Se observa como resultado de estas simulaciones, que existe una diferencia cuantificable en los niveles calculados en los indicadores L1-5 y L1-G4, entre el Caso Base a 20 de mayo y la Sim-DL1. Esta diferencia presenta máximos y mínimos, pero tiene una tendencia general creciente en todo el periodo. Las máximas diferencias se dan el 22 de febrero de 2018, y corresponden a 5,39 centímetros en el pozo L1-5, y de 8,42 centímetros en la reglilla L1-G4.

6.1.2 Simulación Dinámica Lagunar 2 (Sim-DL2)

Para poder valorar el efecto conjunto que ha producido el cambio en la dinámica lagunar de desbordes en Barros Negros y el incremento de extracción de salmuera por parte de SQM, se ha realizado una simulación en la que se mantiene la dinámica natural considerada en la evaluación que culminó con la RCA 226/2006 (desborde hacia Cola de Pez) y el anterior escalón de caudal de extracción máximo permitido de SQM (1250 l/s), esto desde Agosto de 2013 a Mayo 2018. Comentar que durante la vigencia de dicho escalón (desde 13 de agosto de 2009 hasta 12 de agosto de 2013), no se activó el PC.

Con esta simulación, se puede valorar el efecto añadido que supone el aumento en el caudal de extracción por parte de SQM (a partir del 13 de agosto de 2013), a la variación producida por el cambio en la dinámica natural en el desborde de Barros Negros.

A continuación se presentan los graficos de los dos indicadores de estado activados (L1-5 y reglilla L1-G4) en los que se muestran los valores calculados para esta simulación y se comparan con los datos reales medidos y con el Caso Base a 20 de mayo de 2018.

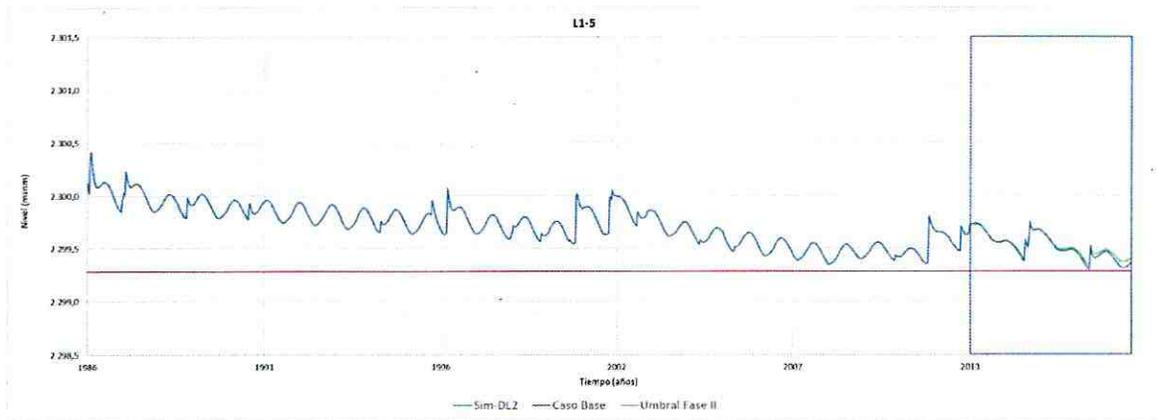


Figura 6-5. Series de nivel calculados para el caso base y para Sim-DL2 para el pozo L1-5. En la Figura 6-7 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia

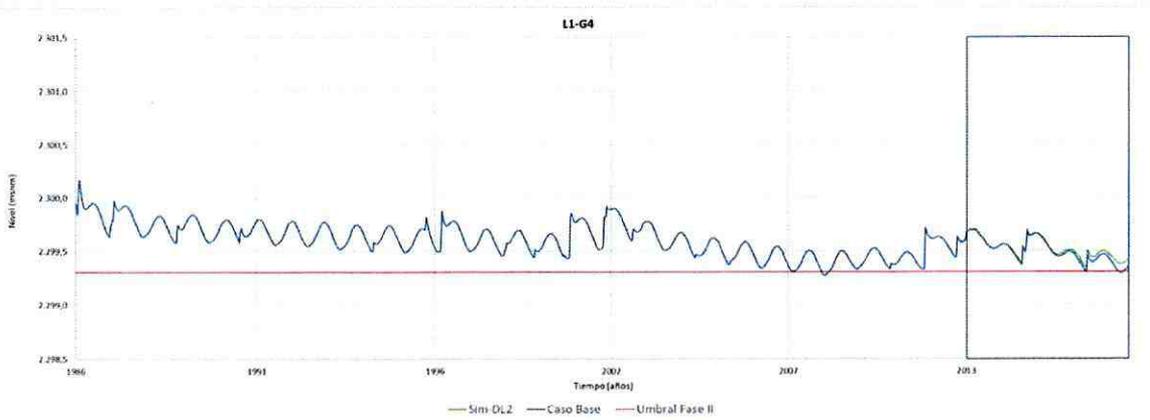


Figura 6-6. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-DL2 para el pozo L1-G4. En la Figura 6-8 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia

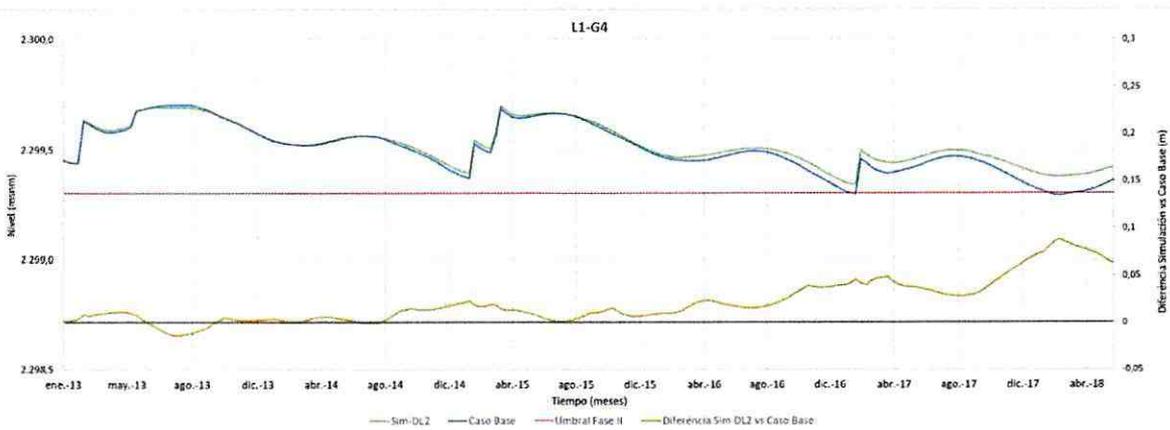


Figura 6-7. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-DL2 el pozo L1-5. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en café la diferencia que se produce entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

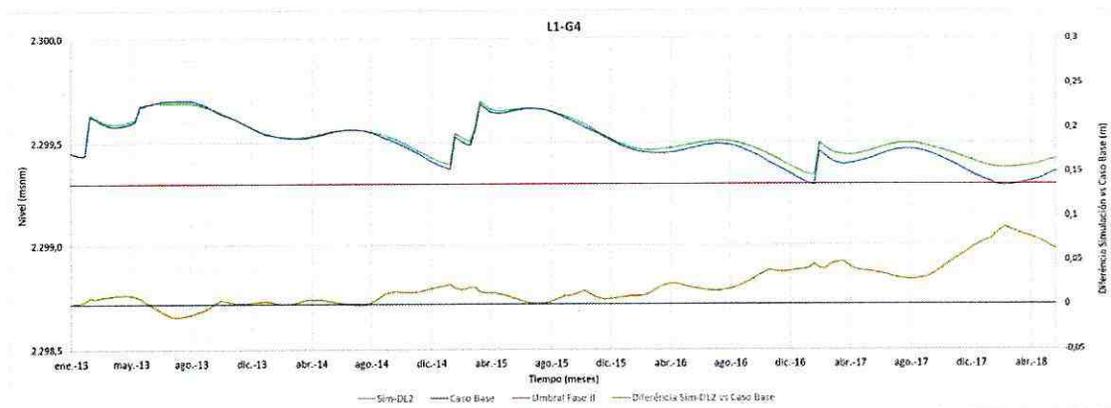


Figura 6-8. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-DL2 para el pozo L1-G4. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en café la diferencia que se produce entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

Se observa como resultado de estas simulaciones que existe una diferencia cuantificable en los niveles calculados en los indicadores L1-5 y L1-G4, entre el Caso Base a 20 de mayo de 2018 y la Sim-DL2. Esta diferencia presenta máximos y mínimos, pero tiene una tendencia general creciente en todo el periodo. Las máximas diferencias se dan el 22 febrero de 2018, y corresponden a 5,81 centímetros en el pozo L1-5, y de 8,74 centímetros en la reglilla L1-G4.

6.2 Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones

Se han analizado los datos de precipitación de 5 estaciones meteorológicas en el periodo 1978 – 2017, las cuales se han seleccionado debido a que cuentan con periodos de mayor longitud de registros con información completa. Los datos faltantes fueron rellenados a partir de correlaciones con estaciones cercanas (IDAEA-CSIC, 2017). En la Tabla 6-1 se presenta la información general de las estaciones y su ubicación se observa en la Figura 6-9.

Tabla 6-1. Información general de estaciones meteorológicas consideradas para el presente análisis. Fuente: elaboración propia.

ID	Estación	Origen	UTM (m) (WGS 84)		Cota (msnm)
			Este	Norte	
1	Camar	DGA	605.954	7.411.015	2.700
2	Chaxa	SQM	583.500	7.424.261	2.300
3	Peine	DGA	596.045	7.380.388	2.460
4	Rio Grande	DGA	585.709	7.494.705	3.250
5	Socaire	DGA	613.011	7.391.031	3.251

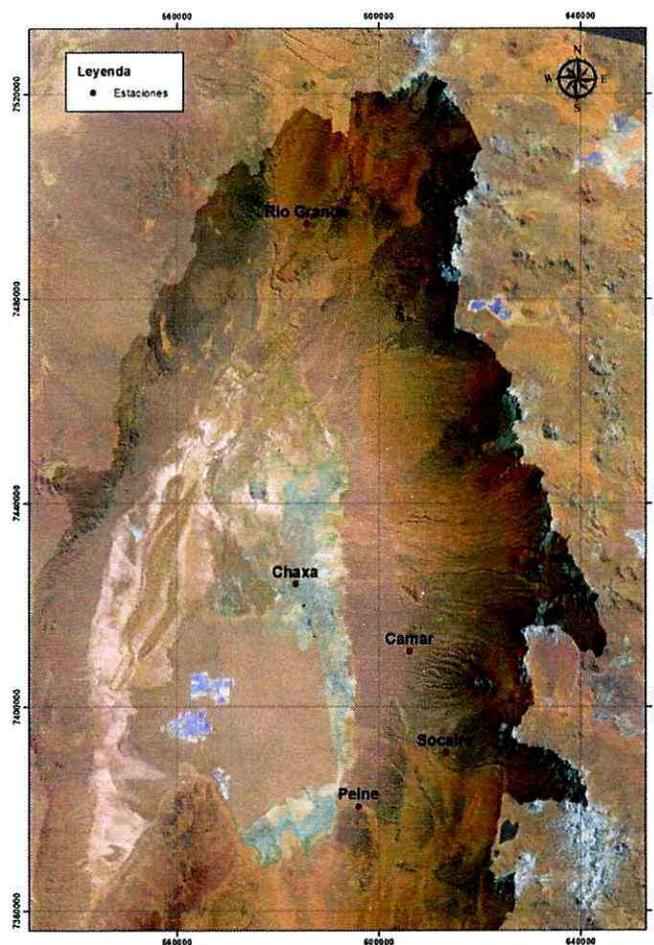


Figura 6-9. Localización de estaciones meteorológicas seleccionadas. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6-10 se presenta la precipitación anual para las estaciones analizadas. Al respecto se considera que no es posible apreciar una tendencia en las variaciones de la precipitación, sin embargo, se observa un comportamiento temporal similar en las estaciones, con eventos extremos tanto de altas precipitaciones, como de precipitaciones prácticamente nulas.

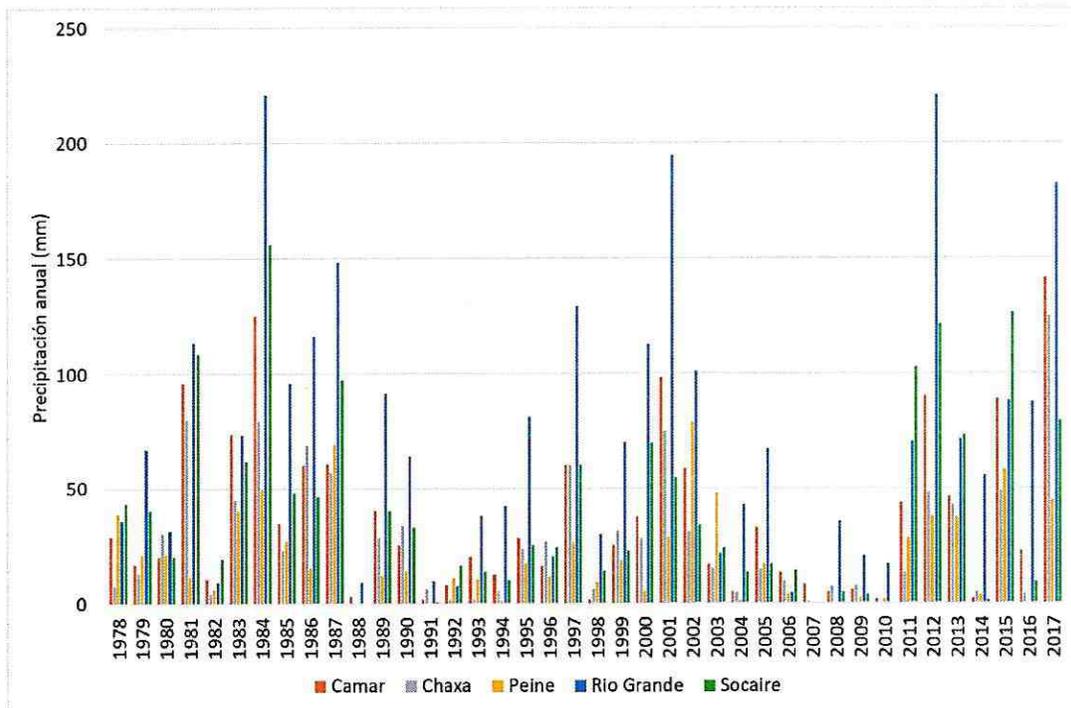


Figura 6-10. Registro de la precipitación anual para las estaciones seleccionadas en el análisis. Fuente: elaboración propia.

Considerando la alta variabilidad de las precipitaciones, se ha optado por caracterizar los años y periodos en función de la variación respecto a su valor medio. Para esto se ha utilizado el índice de humedad planteado por (Custodio & Llamas, 2001):

$$Z = \frac{X_i}{\bar{X}}$$

Donde:

Z: Índice de Humedad

X_i : Precipitación en un año i

\bar{X} : Módulo pluviométrico anual medio, que es la suma de la pluviometría diaria de cada año y se promedian los valores anuales obtenidos.

En el caso de que Z sea mayor que 1, se habla de un año húmedo o en caso contrario, de un año seco. Para el presente análisis, se ha modificado el índice de humedad restando una unidad, con el fin de obtener una mejor visualización gráfica (ver Figura 6-11). Los valores positivos son los que están por encima de la media, y viceversa.

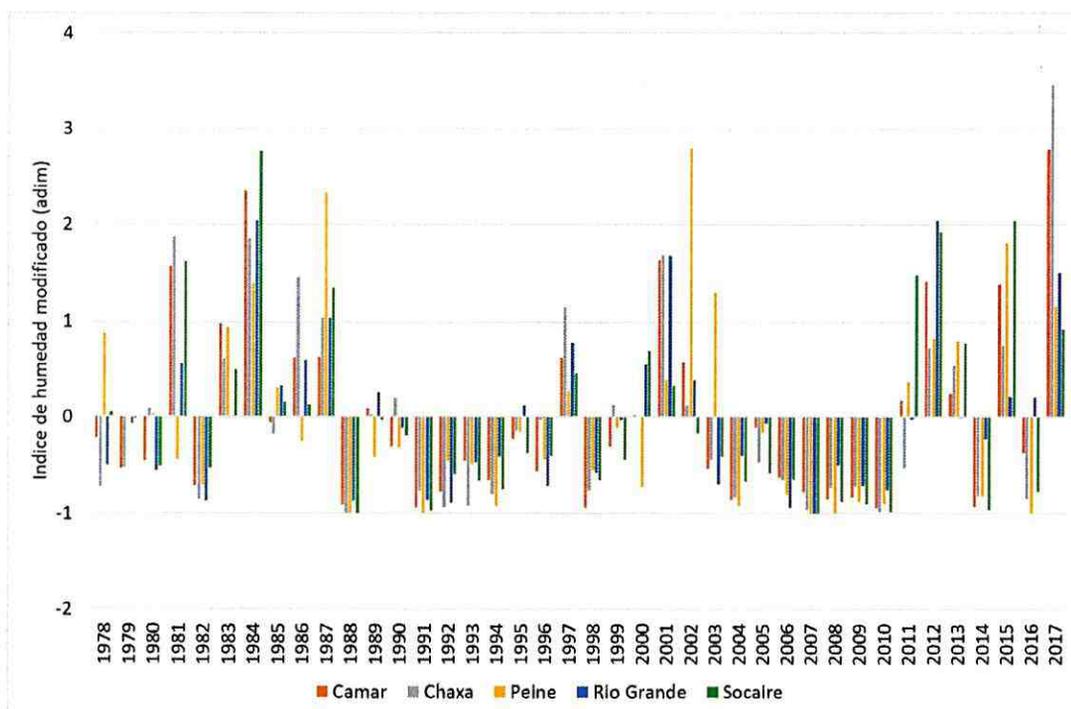


Figura 6-11. Índice de humedad modificado. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6-11 se observa que el índice de humedad calculado es del mismo orden para todas las estaciones en cada año, por tanto, con el fin de simplificar el análisis, en la Figura 6-12 se presenta el promedio de este índice.

Las variaciones del índice dan cuenta de un comportamiento cíclico en las precipitaciones anuales, con periodos secos de duración variable entre 7 y 9 años (índice menor a cero) y periodos

húmedos de duración entre 6 y 7 años (índice mayor a cero). De acuerdo con este análisis, los últimos años con registro (2011-2017) corresponden a un periodo húmedo de características similares a los periodos húmedos anteriores, con lo cual es posible inferir que la variable presenta un comportamiento cíclico estable en el tiempo, lo que se reflejaría de manera directa en la recarga, y por lo tanto no se justifica una cuantificación de esta componente como posible causal de la activación del PC en los puntos L1-5 y L1-G4.

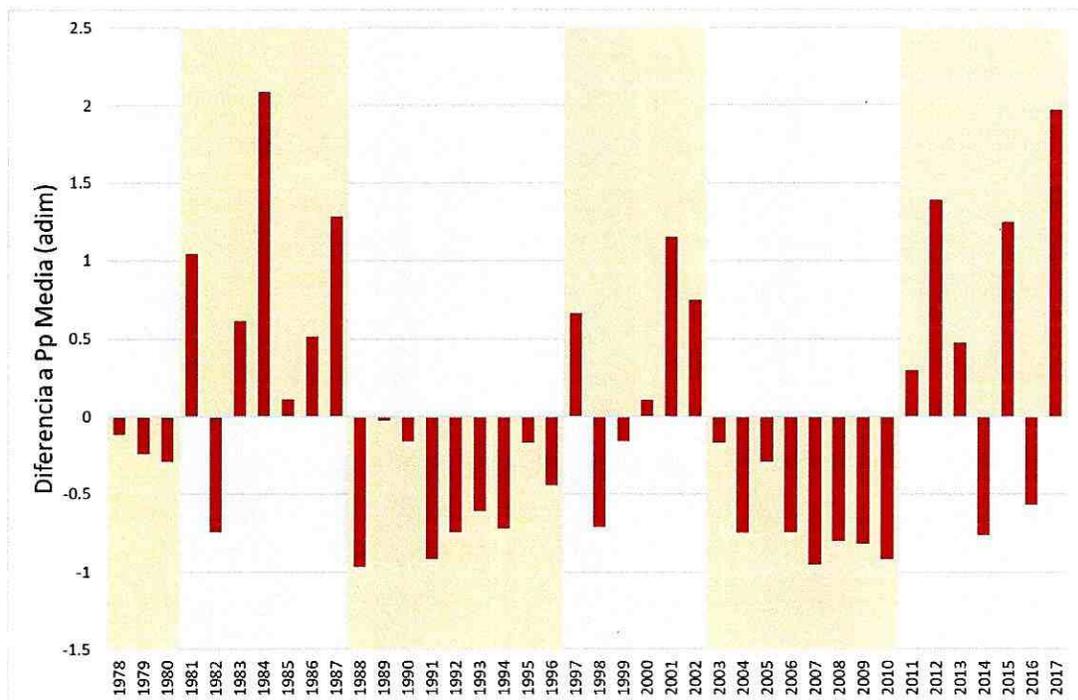


Figura 6-12. Índice de humedad promedio y ciclos de precipitación. Fuente: elaboración propia.

6.3 Efecto extracciones de salmuera

Este conjunto de simulaciones analiza, a partir del Caso Base detallado en Capítulo de Materiales y Métodos, el efecto que producen las extracciones de salmuera por parte de SQM y ABL en los niveles piezométricos del sector de Soncor, concretamente en los indicadores de estado del PC (pozo L1-5 y reglilla L1-G4), para el día que se produjo la activación de la fase II (20 de mayo de 2018). En todas ellas la dinámica lagunar se ha simulado del siguiente modo:

- Cola de Pez: activo hasta 2012, de 2013 a 2017 activación intermitente según imágenes satelitales, y a partir de 2017 inactivo.
- Derrame Sur: inactivo hasta 2012, y a partir de 2013 activación intermitente según imágenes satelitales.

La Sim-EX3 tiene por objetivo determinar el efecto que produjo el aumento de caudal por parte de SQM el 13 de agosto de 2013 (de 1250 l/s máximos permitidos a 1500 l/s) en los niveles de los indicadores de estado activados. Para ello se ha desarrollado este escenario en el que se mantiene el caudal de 1250 l/s hasta la fecha de activación de la Fase II (20 de mayo de 2018) sin considerar el aumento de escalón de SQM, y manteniendo las extracciones de ABL (382 l/s).

La Sim-EX4 considera el efecto que ha producido en los indicadores de estado del PC la subida de escalón por parte de ABL el 28 de septiembre de 2016 (de 142 l/s máximos permitidos hasta los 382 l/s a 20 de mayo de 2018). Con este fin, esta simulación mantiene el caudal de extracción de 142 l/s, desde el 28 de septiembre de 2016 y hasta el final del período modelado (20 de mayo de 2018), manteniendo además las tasas de extracción reales de SQM.

La Sim-EX5 tiene por objetivo valorar el efecto conjunto de ambas compañías en la activación de los indicadores de estado del PC. Por este motivo, esta simulación mantiene, para ambas compañías, el escalón de extracción máximo permitido anterior a la fecha de activación de los indicadores de estado (esto es 1250 l/s por parte de SQM y 142 l/s por parte de ABL) hasta el fin de la simulación (20 de mayo de 2018).

La Tabla 6-2 muestra los caudales de extracción netos de salmuera para cada uno de los operadores durante el último escalón evaluado a 20 de mayo de 2018. La Figura 6-13 presenta en un gráfico las tasas de bombeo para cada una de las simulaciones que valoran el efecto de las extracciones para SQM mientras que la Figura 6-14 presenta el mismo gráfico para las extracciones de ABL.

Tabla 6-2. Caudal de extracción neto de salmuera para cada una de los operadores durante el último escalón evaluado (a mayo de 2018). Fuente: elaboración propia

Id	SQM	ABL
SIM-EX3	1250 l/s	382 l/s
SIM-EX4	1500 l/s	142 l/s
SIM-EX5	1250 l/s	142 l/s



Figura 6-13. Caudales de extracción neta de salmuera implementados para las distintas simulaciones de la empresa SQM. Fuente: elaboración propia



Figura 6-14. Caudales de extracción de salmuera implementados para las distintas simulaciones para la empresa ABL. Fuente: elaboración propia

6.3.1 Simulación Extracciones 3 (Sim-EX3)

Para la Sim-EX3, se calcula una diferencia máxima de niveles de 0,53 cm para el pozo L1-5 a 20 de mayo de 2018, y de 0,41 cm para la regilla L1-G4 en la misma fecha. El efecto para el L1-5 es notorio a partir del 5 de mayo de 2015, mientras que para el pozo L1-G4, el cambio empieza a manifestarse a partir del 23 de abril del 2016.

En las Figura 6-15, Figura 6-16, Figura 6-17 y Figura 6-18 se muestran los niveles calculados para el Caso Base y la Sim-EX3.

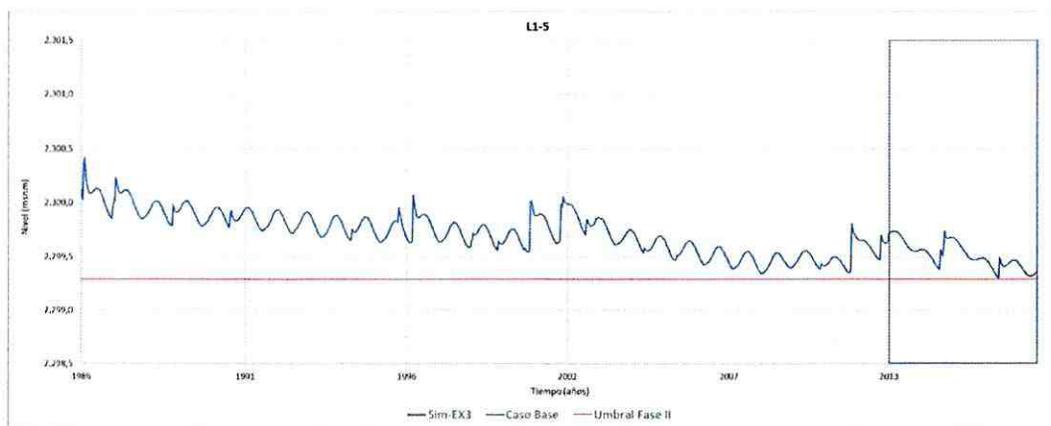


Figura 6-15. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX3 Para el pozo L1-5. En la Figura 6-17 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

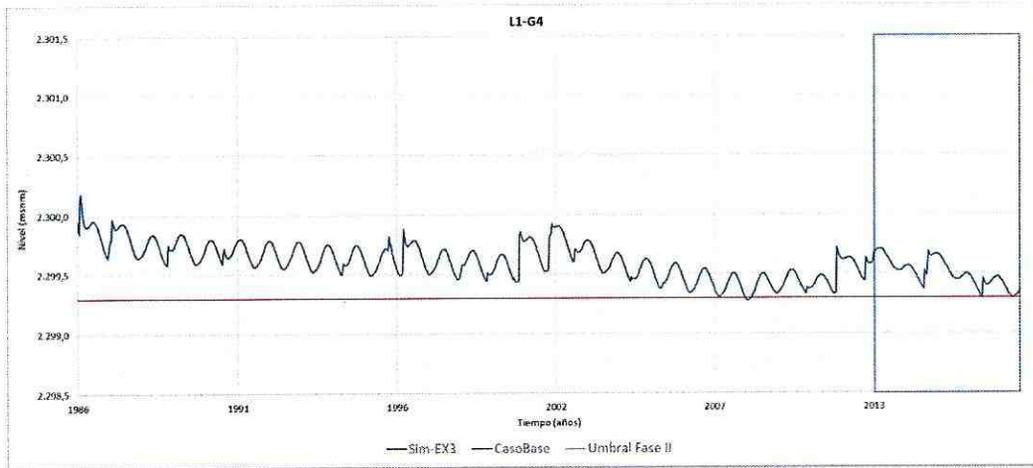


Figura 6-16. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX3. Para el pozo L1-G4. En la Figura 6-18 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

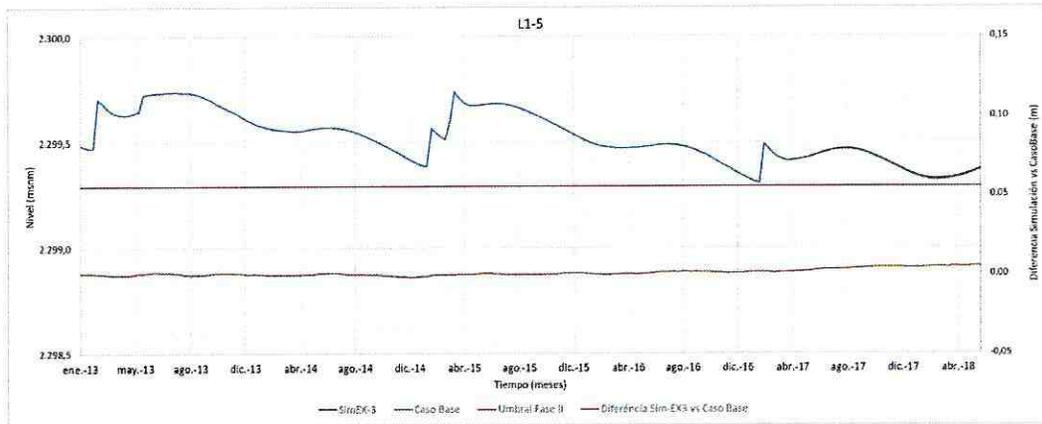


Figura 6-17. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX3. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en café la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

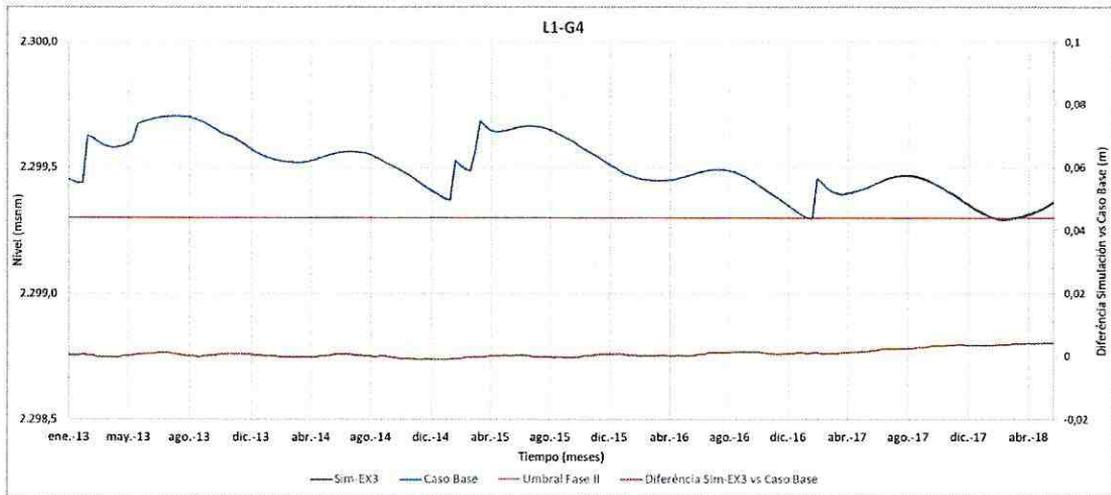


Figura 6-18. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX3. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en café la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

6.3.2 Simulación Extracciones 4 (Sim-EX4)

El análisis de diferencias entre los niveles calculados en la Sim-EX4 y los calculados para el Caso Base, muestran una diferencia para el pozo L1-5 de 0,07 cm y de 0,05 cm para la reglilla L1-G4 al final del período simulado (20 de mayo de 2018).

En las Figura 6-19, Figura 6-20, Figura 6-21 y Figura 6-22 se muestran los niveles calculado para el Caso Base y Sim-EX4.

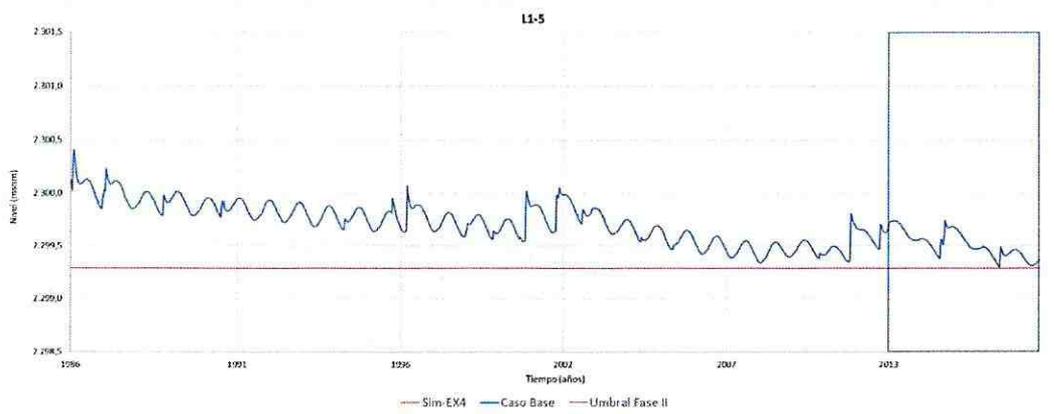


Figura 6-19. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX4 Para el pozo L1-5. En la Figura 6-21 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

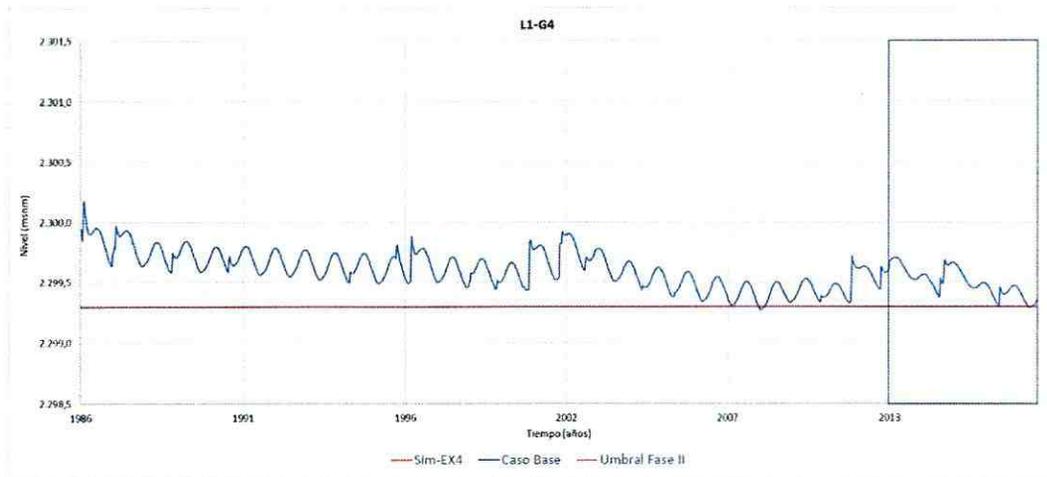


Figura 6-20. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX4 Para el pozo L1-G4. En la Figura 6-22 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

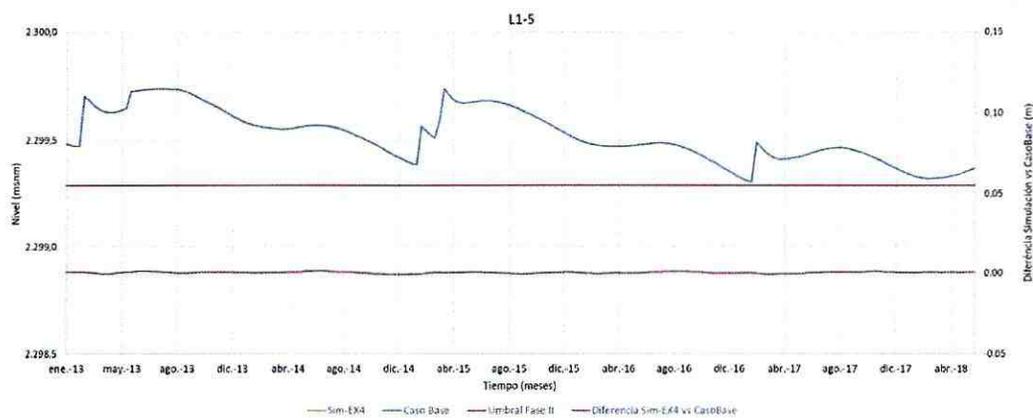


Figura 6-21. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX4. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en morado la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

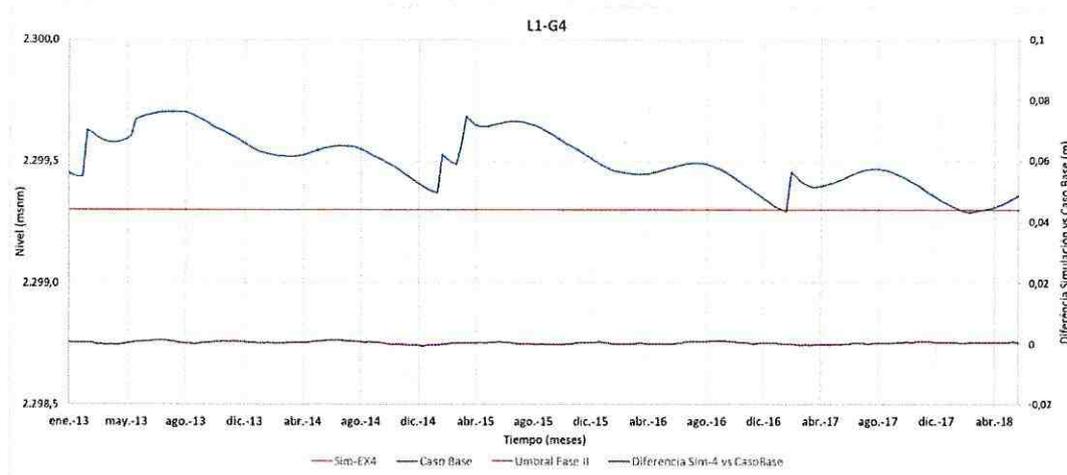


Figura 6-22. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX4. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en morado la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

6.3.3 Simulación Extracciones 5 (Sim-EX5)

El mayor aumento se produce en la Sim-EX5, con una diferencia máxima respecto al Caso Base a 20 de mayo de 2018, de 0,58 cm para el pozo L1-5, y de 0,46 cm para el pozo L1-G4 ambos máximos a 20 de mayo de 2018. Este resultado era de esperar puesto que muestra el efecto conjunto del aumento de caudal de extracción de ambas empresas (de 1250 a 1500 l/s a partir de 2013 por parte de SQM y de 142 l/s a 382 l/s a partir de 2016 en escalones sucesivos de 60 l/s cada 6 meses por parte de ABL).

En las Figura 6-23, Figura 6-24, Figura 6-25 y Figura 6-26 se muestran los niveles calculado para el caso base y Sim-EX5.

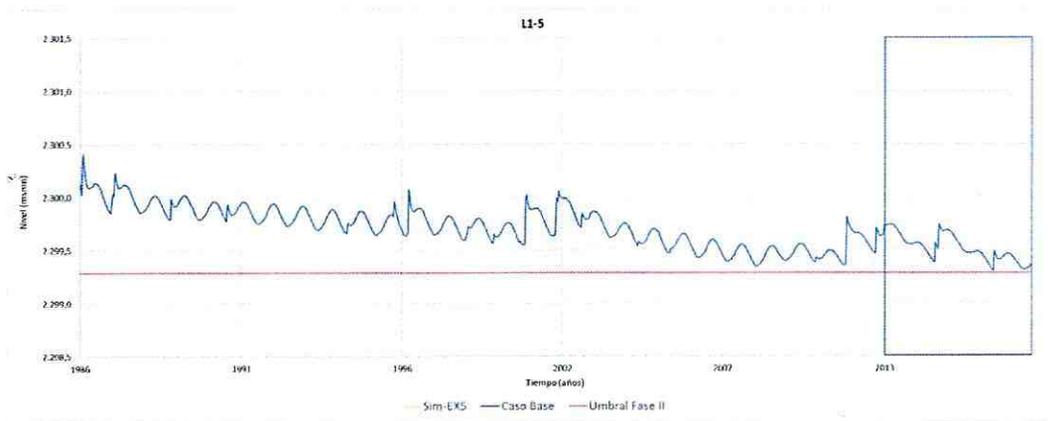


Figura 6-23. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX5 para el pozo L1-5. En la Figura 6-25 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

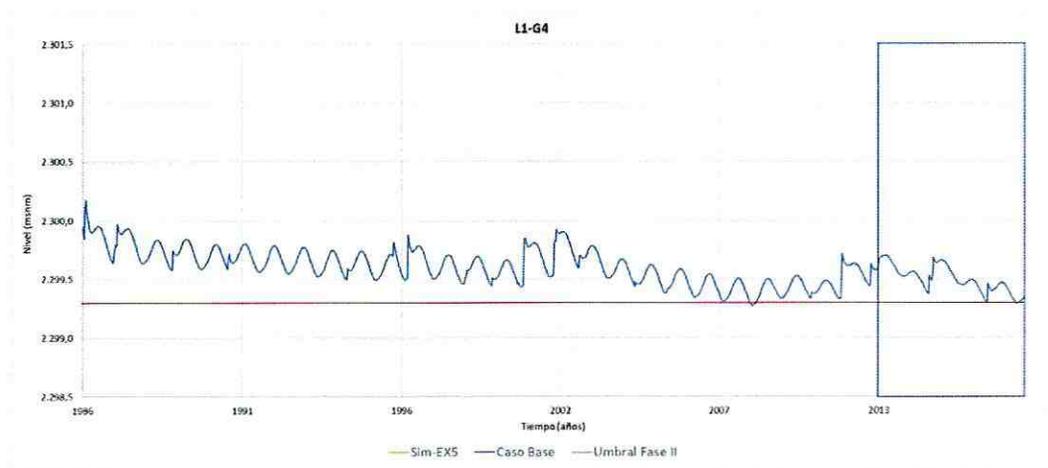


Figura 6-24. Series de nivel calculados para el caso base y para la Sim-EX5 para el pozo L1-G4. En la Figura 6-26 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: elaboración propia.

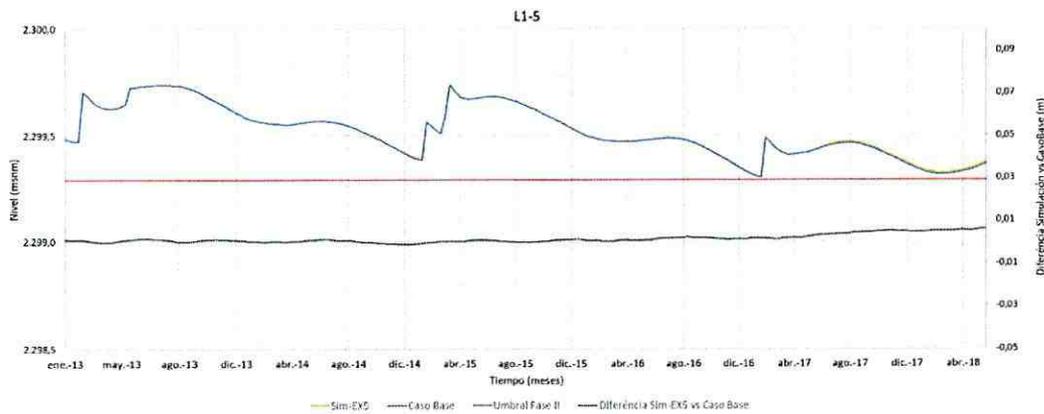


Figura 6-25. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX5. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

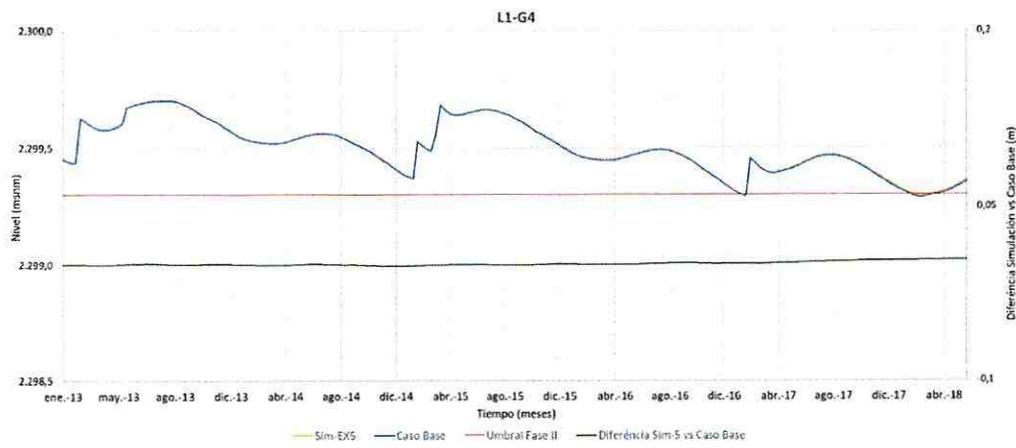


Figura 6-26. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la Sim-EX5. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que los cambios de tendencia en los niveles son similares a las otras simulaciones, siendo para el L1-5 notorias a partir del 20 de diciembre de 2014, mientras que para la regilla L1-G4, los cambios empiezan a manifestarse a partir del 23 de abril del 2016.

La Tabla 6-3 resume las diferencias máximas entre los niveles calculados para cada una de las simulaciones de extracción de salmuera y los niveles calculados para el Caso Base.

Tabla 6-3. Detalle de las diferencias (en cm) máximas (Simulación vs Caso base) calculadas para cada una de las simulaciones de extracción de salmuera, al 20 de mayo de 2018. En la tabla se han indicado además los caudales de cada uno de los operadores al final del período valorado para cada una de las simulaciones. Fuente: elaboración propia.

Id	SQM	ABL	Diferencia (cm)	
			L1-5	L1-G4
SIM-EX3	1250 l/s	300 l/s	0,53	0,41
SIM-EX4	1500 l/s	142 l/s	0,07	0,05
SIM-EX5	1250 l/s	142 l/s	0,58	0,46

7 CUANTIFICACIÓN DE COMPONENTES

Con el objetivo de establecer una referencia de nivel mínimo y máximo para la cuantificación de cada uno de los componentes que afectan al sistema, se tomará como referencia de nivel mínimo en cada uno de los indicadores el Caso Base descrito en el Capítulo de Materiales y Métodos, y para el nivel máximo, se ha desarrollado un nuevo escenario sintético de simulación, en el que se implementan las condiciones más optimistas para el sistema en términos de nivel. Esto es:

- Se mantiene la dinámica lagunar descrita en la evaluación de la RCA226/2006, es decir, todo el desborde de la Laguna de Barros Negros se mantiene por el sector de Cola de Pez.
- Se mantiene la última condición de extracción de salmuera de SQM y ABL para la cual no se verificaron alteraciones en los indicadores de estado de los objetos de protección, esto es, una extracción de 1250 l/s para SQM a partir del 13 de agosto de 2013, y de 142 l/s de ABL a partir del 28 de septiembre de 2016.

De esta forma, para la cuantificación de las componentes en cada uno de los indicadores (L1-5 y L1-G4), se toma como valor de referencia inicial, o valor "0", el nivel mínimo del Caso Base, y a partir de ahí se calcula la diferencia de nivel (cm) que se obtiene en cada simulación y para cada indicador al 20 de mayo de 2018. La diferencia de nivel obtenida, se cuantifica porcentualmente tomando como referencia la diferencias entre el caso Base y el caso optimista descrito anteriormente, que corresponde a los niveles máximos teóricos, y que corresponde al 100%.

En la Figura 7-1 se presenta, a modo de ejemplo, un esquema del proceso de cuantificación porcentual que se ha desarrollado para cada una de las simulaciones respecto a cada uno de los indicadores del PC.

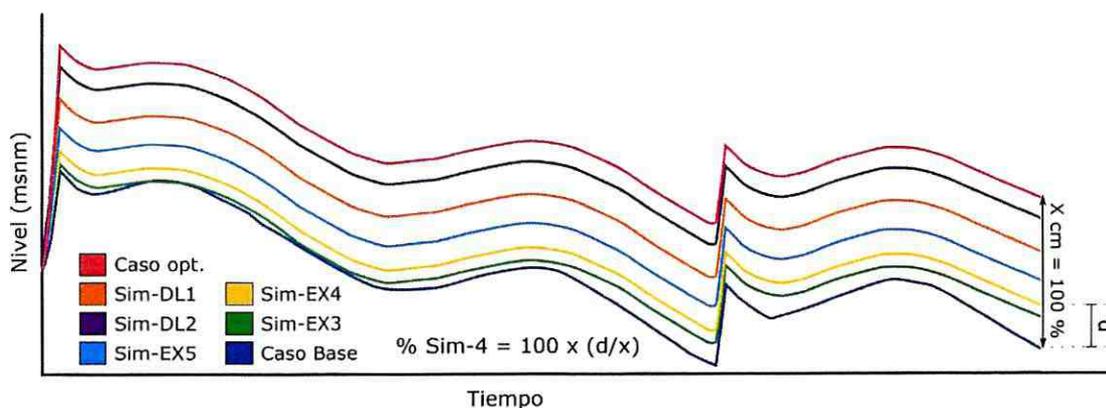


Figura 7-1. Esquema que muestra la metodología de cuantificación del efecto de cada uno de los componentes analizados en este estudio. La altura “d” representa la diferencia entre el nivel de la Sim-EX4 y el caso Base a 20 de mayo de 2018. La altura “x” representa la diferencia entre el nivel del caso optimista y el caso base a 20 de mayo de 2018. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los graficos para cada uno de los indicadores de estado L1-5 y L1-G4, con el Caso Optimista vs el Caso Base, y las diferencias entre ambos, para el período desde el 1 de enero de 2013* al 20 de mayo de 2018, para una mejor visualización.

*Esta no es una fecha relevante para el análisis, es simplemente para una mejor visualización del periodo que interesa para este análisis, esto corresponde al momento previo al aumento del último escalón autorizado de SQM (Agosto 2013).

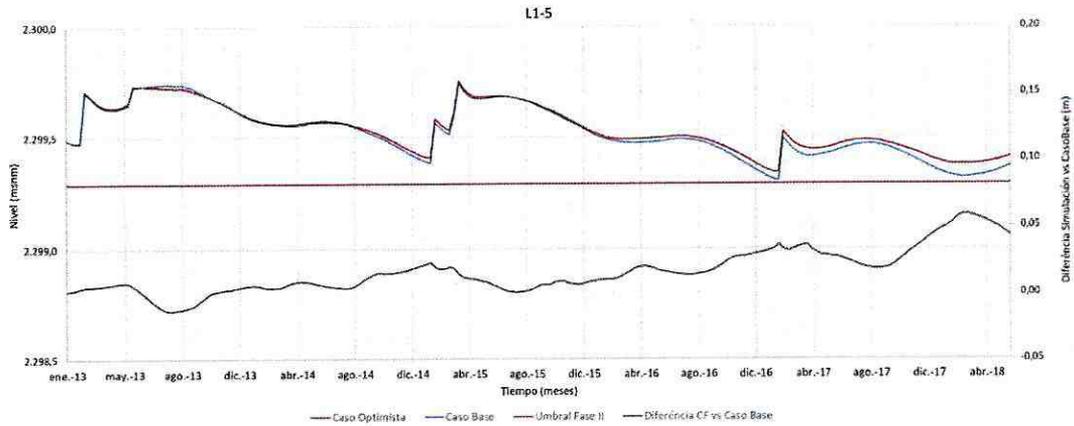


Figura 7-2. Detalle de los niveles calculados para el caso base, caso optimista para el pozo L1-5. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde oscuro la diferencia entre los niveles del caso optimista y del caso base. Fuente: elaboración propia.

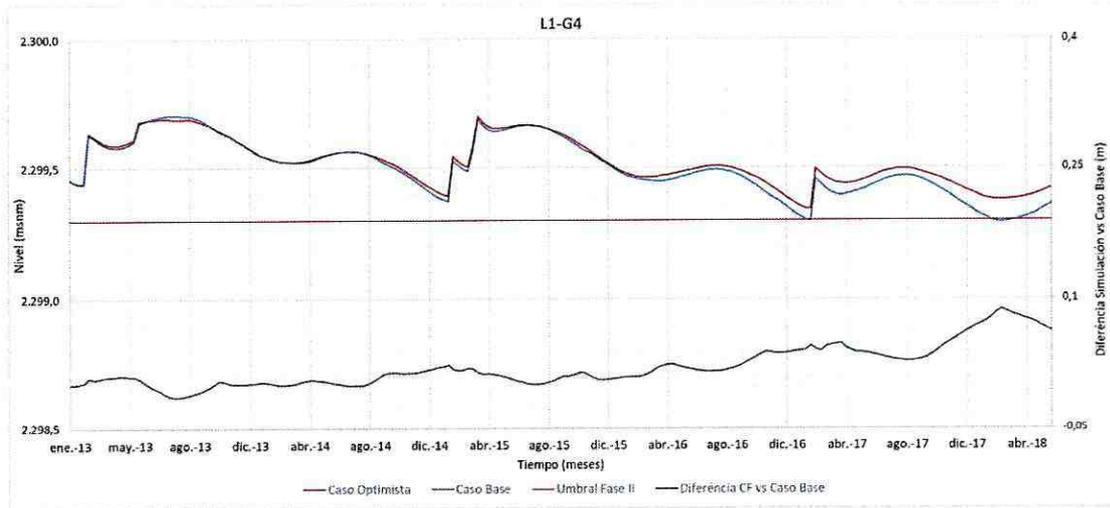


Figura 7-3. Detalle de los niveles calculados para el caso base, caso optimista y los niveles medidos para el pozo L1-G4. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde oscuro la diferencia entre los niveles del caso optimista y del caso base. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 7-1 se detallan las diferencias entre cada una de las simulaciones (a fecha 20 de mayo de 2018) para cada uno de los puntos, y su cuantificación porcentual de implicancia sobre la variación de los niveles de cada uno de los indicadores de estado del PC.

Tabla 7-1. Resultado de las diferencias para cada punto y para cada una de las simulaciones, y la cuantificación porcentual del efecto de cada uno de los componentes sobre el nivel calculado en los indicadores L1-5 y L1-G4 a 20 de mayo de 2018.

	Dif. L1-G4(cm)	Dif. L1-5 (cm)	% Efecto L1-G4	% Efecto L1-5
Caso Base	-	-	-	-
Sim-DL1	5,88	3,73	93,4	87,4
Sim-DL2	6,27	4,22	99,6	98,8
Sim-EX3	0,41	0,54	6,6	12,6
Sim-EX4	0,05	0,07	0,8	1,7
Sim-EX5	0,46	0,59	7,3	13,7
Caso Optimista	6,30	4,27	100	100

La Figura 7-4 muestra de forma gráfica las diferencias de nivel obtenidas entre cada simulación y el Caso Base, a 20 de mayo de 2018, y para cada indicador. Se puede observar que las mayores diferencias se dan en las simulaciones correspondientes al cambio de la dinámica lagunar.

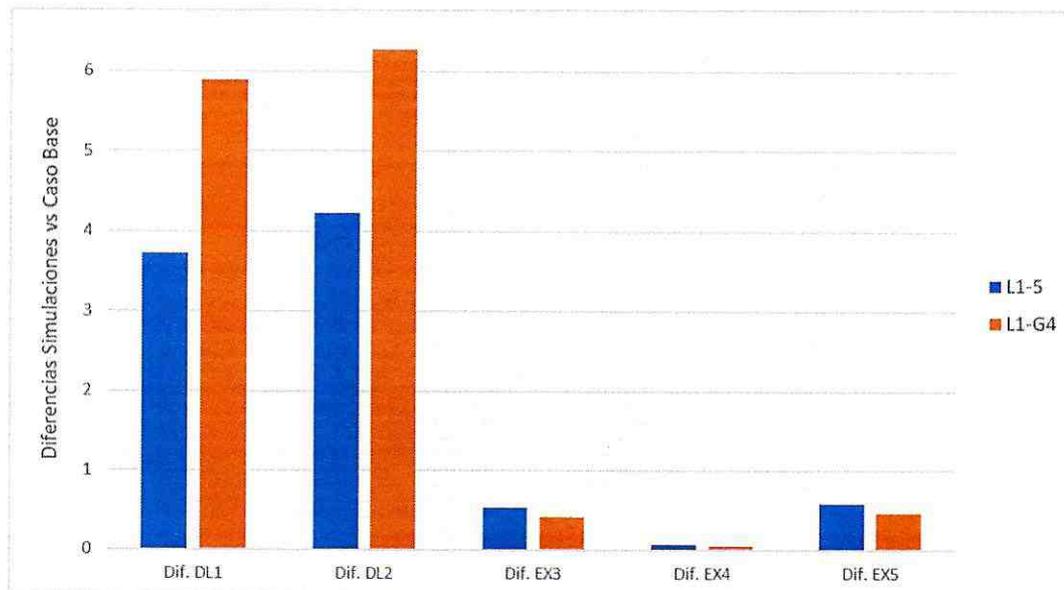


Figura 7-4. Valores de diferencias calculadas a 20 de mayo de 2018 (cm) para cada una de las simulaciones y el caso base, para cada uno de los puntos. Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 7-5 muestra la cuantificación porcentual resultante de las diferencias calculadas. En ella se observa que las simulaciones correspondientes al cambio de la dinámica lagunar son las que presentan un mayor porcentaje de efecto en los niveles. Las 3 simulaciones que hacen referencia a las extracciones de salmuera, tanto de SQM como de terceros (ABL), resultan en diferencias de nivel de una magnitud notoriamente menor que el efecto que genera el cambio de dinámica lagunar.

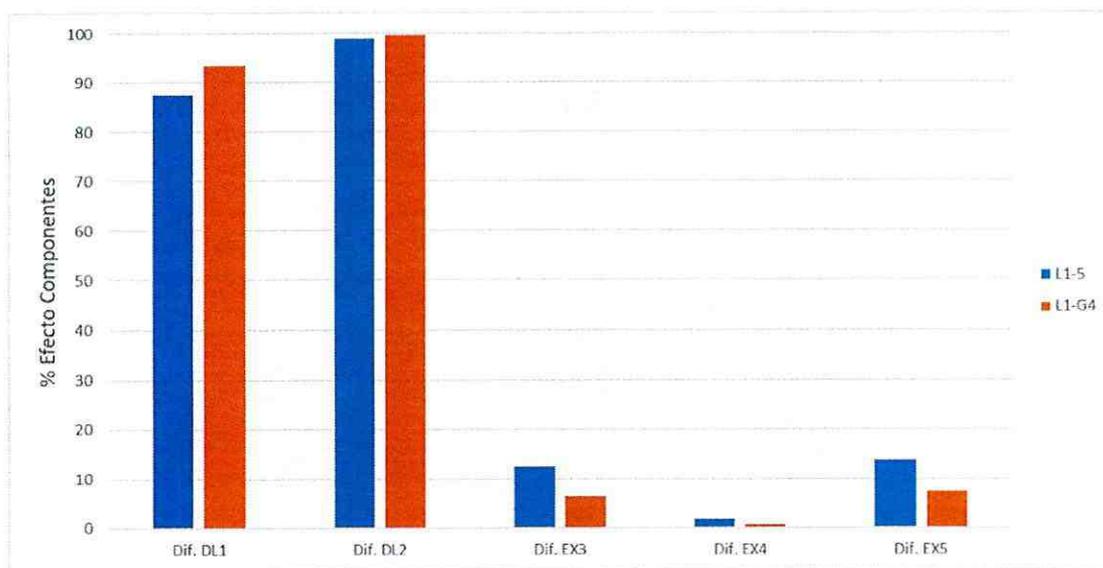


Figura 7-5. Cuantificación porcentual de cada una de las simulaciones respecto al nivel de referencia (caso optimista – caso base). Fuente: Elaboración Propia

A modo de resumen de este apartado, y de acuerdo con el análisis presentado, se confirma que la activación de la Fase II de los indicadores L1-5 y L1-G4 del PC es consecuencia principal de un cambio en la dinámica lagunar del Sector de Soncor. Si bien las extracciones también tienen una incidencia en la variación de los niveles en estos puntos, pero no es la principal causa de la activación, en términos que el efecto del bombeo no es capaz de activar el PC por sí sólo, y corresponde, más bien, al efecto del descenso previsto al evaluar el proyecto, como consecuencia del bombeo de salmuera autorizado.

En referencia a las simulaciones sobre las extracciones de cada actor, se concluye que a la fecha de activación del PC, SQM provoca un efecto levemente mayor sobre los niveles (Sim-EX3), que el que tiene ABL (Sim-EX4).

La Tabla 7-2 muestra el resumen de la cuantificación del efecto de cada uno de las componentes estudiadas (Dinámica lagunar y Extracciones), además de discretizar las extracciones según el actor (SQM o ABL). El cálculo del porcentaje se ha realizado con el promedio de cada uno de los indicadores, en cada una de las simulaciones, obteniendo un valor porcentual aproximado.

Tabla 7-2. Rango de la cuantificación del efecto (% aproximado) para cada uno de los indicadores, según los efectos estudiados de la dinámica lagunar y las extracciones de salmuera. Fuente: elaboración propia

Efectos Simulados	Rango de cuantificación del efecto (% aprox.)
	Promedio indicadores
Dinámica lagunar	91
Extracciones SQM	8
Extracciones ABL	1

8 PRONÓSTICO DE LA EFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE CONTINGENCIA

Este apartado aborda un compromiso adquirido en el Informe de Investigación del 20 de Junio de 2018 (IDAEA-CSIC, 2018), en el que se comprometía la entrega de un informe del pronóstico de la efectividad de la medida de contingencia a los 6 meses de su aplicación. Con este fin, se ha realizado una simulación al 20 de noviembre de 2018, para determinar el efecto inmediato esperado en los niveles de los indicadores L1-5 y L1-G4 que puede generar la medida de reducción de caudal de salmuera implementada. Esta proyección se ha realizado tanto para esta simulación, como para el Caso Base (con el caudal de extracción de SQM de 1500 l/s, y de ABL según lo aprobado en la RCA21/2016). Esto permite cuantificar el efecto de la medida de mitigación, respecto al Caso Base.

Tras la activación de la Fase II se procedió a reducir el caudal del bombeo de salmuera al caudal autorizado en el escalón anterior al vigente (esto es, 1250 l/s). Por lo tanto, referente a SQM, esta simulación se ha realizado con las extracciones reales a 20 de mayo de 2018, y a partir de entonces se ha proyectado la reducción de caudal establecido en la RCA226/2006, esto es 250 l/s. Esta simulación contempla además, la devolución de salmuera comprometida en el Programa de Cumplimiento (Programa de Cumplimiento Refundido, Expediente F-041-2016, 05/06/2018). Referente a ABL, las extracciones de salmuera se han proyectado a partir del 1 de enero de 2018, según lo establecido en la RCA21/2016.

En las Figura 8-1 y Figura 8-2, se muestran los resultados de los niveles calculados para esta simulación comparándolos con los niveles del caso base. Para una mejor visualización, la Figura 8-3 y Figura 8-4 se muestra una ampliación de la gráfica (entre el 1 de enero de 2013 y el 20 de noviembre de 2018), así como las diferencias entre la simulación y el Caso Base para cada uno de los indicadores.

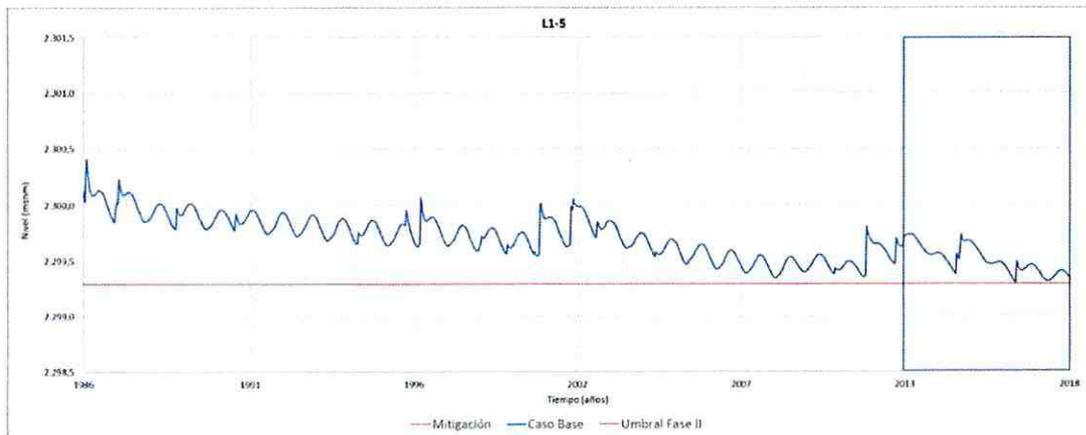


Figura 8-1. Series de nivel calculados para el caso base y para la simulación de mitigación para el pozo L1-5. En la Figura 8-3 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: Elaboración propia.

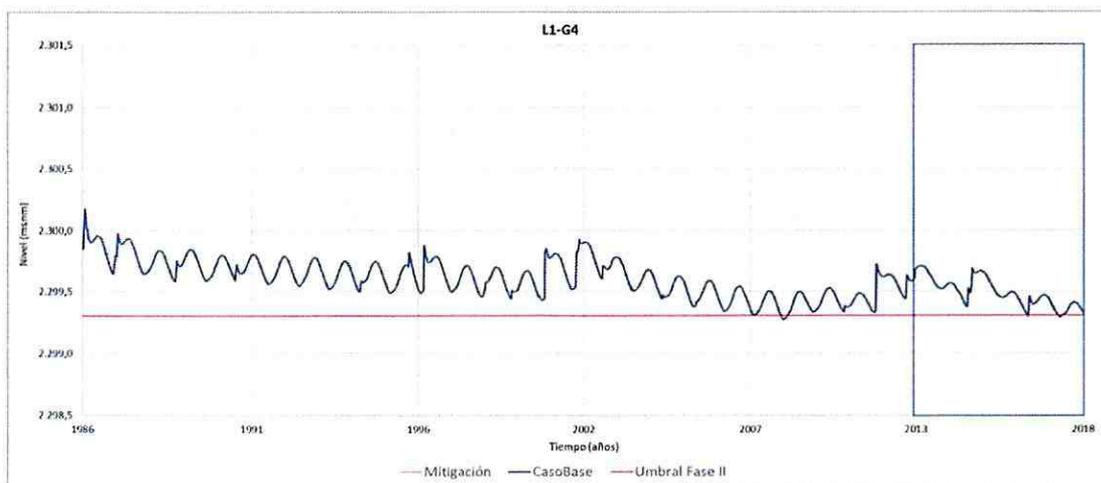


Figura 8-2. Series de nivel calculados para el caso base y para la simulación de mitigación para el pozo L1-G4. En la Figura 8-4 se observa un detalle de esta gráfica marcado en esta figura como un recuadro. Fuente: Elaboración propia.

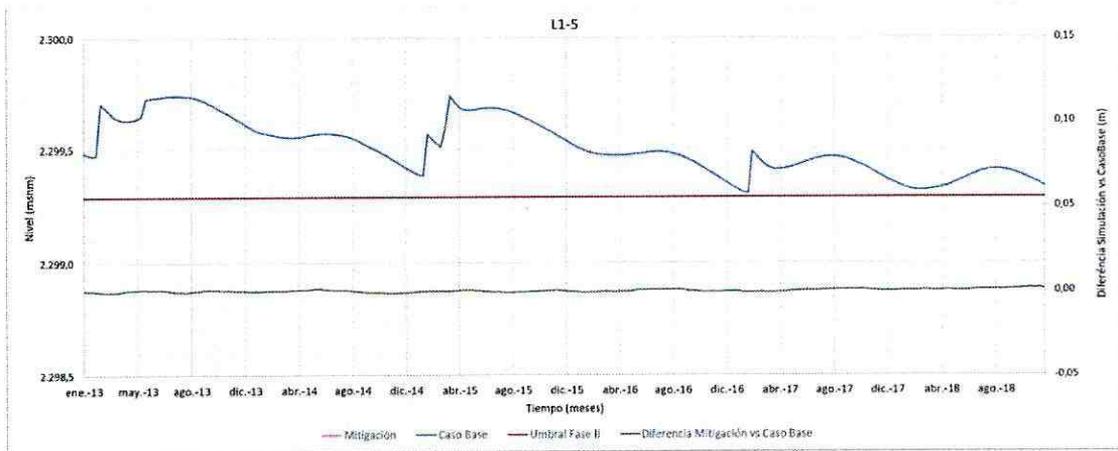


Figura 8-3. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la simulación de mitigación. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia

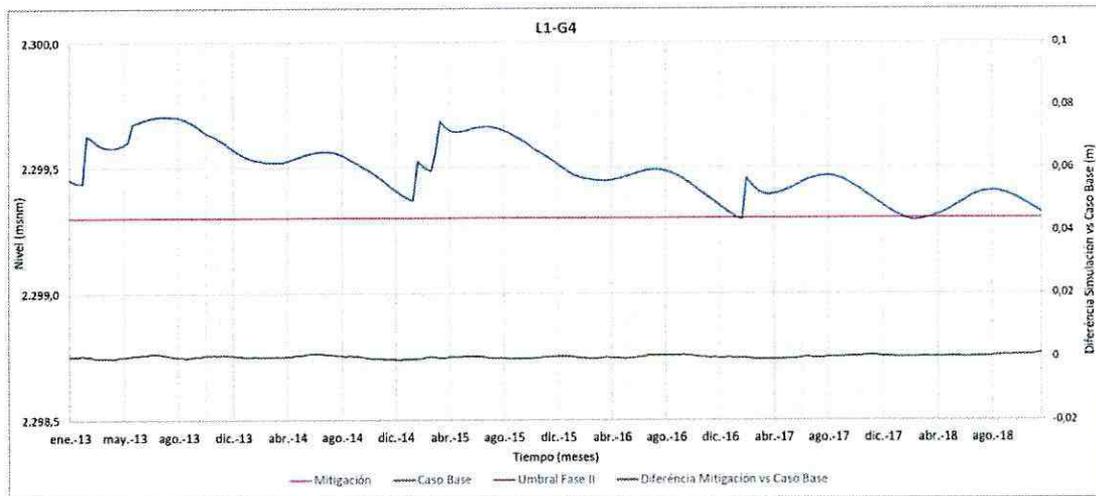


Figura 8-4. Detalle de los niveles calculados para el caso base, para la simulación de mitigación. En la gráfica se ha incluido en rojo el umbral de Fase II y en verde la diferencia entre los niveles de la simulación y del caso base. Fuente: elaboración propia

Tal y como se puede observar en las figuras de detalle (Figura 8-3 y Figura 8-4) no se aprecia un cambio relevante entre la simulación y el Caso Base en ninguno de los pozos. Para poder precisar

la variación que supondría esta medida a futuro, la Tabla 8-1 muestra las diferencias para el día 20 de noviembre (simulación – Caso Base) para ambos puntos del PC.

Tabla 8-1. Diferencias entre la simulación de medida de mitigación y el Caso Base (cm) para el día 20 de noviembre de 2018 (en adelante Sim-CB).

Pozo	Sim-CB (cm)
L1-5	0,17
L1-G4	0,12

Se observa que, según el modelo numérico local, tras 6 meses desde la implementación de la medida de mitigación, la diferencia de nivel respecto al Caso Base en los indicadores L1-5 y L1-G4 aumentaría en 1,7 mm y 1,2 mm respectivamente. Por lo tanto, la aplicación de esta medida de mitigación sobre las extracciones de salmuera de SQM impacta en unos 0,15 cm de promedio entre ambos indicadores. Así entonces, se concluye que la medida de mitigación aplicada no genera un incremento significativo en los niveles.

9 DISCUSIÓN

- Se han revisado las proyecciones del Modelo Regional original, durante el proceso de Evaluación Ambiental (DICTUC, 2004) y se ha podido observar que, lo predicho no se ajusta a la tendencia observada en ninguno de los dos indicadores (L1-G4 y L1-5). La posibles causas de esta diferencia fueron: (1) Se utilizaron geometrías poco precisas en el entorno de las lagunas; (2) El modelo DICTUC consistió en una integración anual; (3) Se simularon procesos y magnitudes de recarga y extracciones diferentes a lo ocurrido en estos años.
- A raíz del Informe de Investigación de 20 de junio de 2018 se propusieron 3 tipos de simulaciones con el fin de cuantificar la relevancia relativa de cada componente identificada en el informe de investigación como causas de la activación del PC (IDAEA-CSIC, 2018), estas son:
 - a) Efecto del cambio en la dinámica lagunar;
 - b) Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones;
 - c) Efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo.

Dichas simulaciones se comparan con el caso Base del Informe de Investigación de 20 de junio de 2018 (IDAEA-CSIC, 2018). La simulación y cuantificación del efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones se ha descartado dado que no se ha constatado ninguna tendencia (ni ascendente, ni descendente) de la precipitación a lo largo de todo el periodo observado con datos meteorológicos (1978 – 2018).

- En cada simulación se calcula el diferencial que se produciría en los niveles piezométricos. Según la RCA, se requiere identificar las causas de la activación y el potencial efecto adicional del bombeo, lo que implica un cálculo porcentual. Para estos efectos, se ha definido una simulación que no contempla ni el cambio en la dinámica lagunar ni los últimos cambios producidos en los escalones de extracción de salmuera. Esto representaría el caso más favorable con el que contrastaría el resto de simulaciones.

- Las simulaciones 1 y 2 muestran la diferencia en el comportamiento entre la simulación actual (representando el Caso Base) y el hecho que no se hubiera producido durante los últimos años un cambio en dinámica lagunar. La simulación 2 es igual que la 1, pero con el añadido del efecto del bombeo de SQM. Con el resultado de las simulaciones, se pone de manifiesto que el efecto principal sobre la evolución de los niveles en los últimos años es el cambio producido por la dinámica lagunar (87,4% - 93,4%).
- Las simulaciones 3 y 4 demuestran que hay un efecto cuantificable, pero no capaz de activar el plan de contingencia por sí sólo, del bombeo que realiza SQM (12,6% - 6,6%) y ABL (1,7% - 0.87%) sobre los niveles en estos puntos.
- En general, a fecha 20 de Mayo 2018, el cambio de la dinámica natural de desborde de la laguna daría cuenta del 91% del diferencial de nivel como causa de activación de la Fase II del PC; un 8% sería producto del cambio de escalón de extracción de SQM y el 1% restante debido al cambio de escalón de ABL.
- Se observa que, para todas las simulaciones que analizan el efecto de las extracciones, la variación del nivel es más notoria para el pozo L1-5 que para la reglilla L1-G4. Esto no sucede así en la simulación del efecto del cambio de la dinámica lagunar, donde el efecto es más importante en la reglilla L1-G4 que en el pozo L1-5. Se deduce que el pozo L1-5 está hidráulicamente más conectado con el comportamiento del núcleo por su mayor profundidad. Por otro lado, la reglilla L1-G4, por su naturaleza somera es más sensible a las variaciones naturales del sistema dinámico de las lagunas y sus procesos de desborde superficial.
- Además, se ha realizado una simulación a 20 de noviembre de 2018, para ver el efecto inmediato en los niveles de los indicadores L1-5 y L1-G4 que puede generar la medida de mitigación relacionada con la disminución de la extracción de salmuera de SQM (compromiso adquirido en el Informe de Investigación del 20 de Junio de 2018 (IDAEA-CSIC, 2018). Se pronostica con el modelo que tras 6 meses desde la implementación de la

medida, el nivel en el puntos del PC L1-5 y L1-G4, aumentará en 1,7 mm y 1,2 mm respectivamente.

10 CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

1. A partir de lo expuesto en el documento de 20 de Junio 2018 se propusieron 3 tipos de simulaciones para cuantificar la relevancia relativa de cada componente identificada en el informe de investigación como causas de la activación del PC:
 - a) Efecto del cambio en la dinámica lagunar (Sim-DL1 y 2)
 - b) Efecto de la disminución de la recarga directa por precipitaciones. Se ha descartado simular dicho efecto dado que no se ha constatado ninguna tendencia en los datos de precipitación.
 - c) Efecto de la extracción de salmuera desde el núcleo (Sim-EX3, 4 y 5)
2. Se cuantifica el efecto de dichas simulaciones entre el caso base realista (IDAEA-CSIC, 2018) y el caso más optimista (sin cambio en la dinámica lagunar, ni teniendo en cuenta el incremento de caudal producido por último escalon productivo de SQM y ABL).
3. En general, al 20 de Mayo 2018, el cambio de la dinámica natural de desborde de la laguna daría cuenta del 91% del diferencial de nivel como causa de activación de la Fase II del PC; un 8% sería producto del cambio de escalón de extracción de SQM y el 1% restante debido al cambio de escalón de ABL.
4. El pozo L1-5 está hidráulicamente más conectado con el comportamiento del núcleo por su mayor profundidad, y la reglilla L1-G4, por su naturaleza más somera, es más sensible a las variaciones naturales del sistema dinámico de las lagunas y sus procesos de desborde.
5. Se pronostica con el modelo que tras 6 meses desde la implementación de la medida de mitigación (20 de noviembre de 2018), el nivel en los puntos del PC L1-5 y L1-G4, aumentará en 1,7 mm y 1,2 mm respectivamente.



ANEXOS DIGITALES

CARPETA	SUBCARPETA	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
CasoBase	Estacionario	DensidadVariable/"Archivo"	Modelo en Densidad Variable en estado estacionario para el Sistema Soncor
		Flujo/"Archivo"	Modelo de flujo en estado estacionario para el Sistema Soncor
	Transitorio	DensidadVariable/"Archivo"	Modelo en Densidad Variable en estado transitorio para el Sistema Soncor
CasoOptimista		ModSonc_Trans_DV_CasoOptimista.fem	Simulación descrita en el capítulo 9
Sim-DL1		ModSonc_Trans_DV_ContinuidadLagunarConEfectoSQM.fem	Simulación de continuidad lagunar con efecto de SQM
Sim-DL2		ModSonc_Trans_DV_ContinuidadLagunarSinEfectoSQM.fem	Simulación de continuidad lagunar sin efecto de SQM
Sim-EX3		BC_SimulacionesSIM_1_TV14.xlsx	Excel en donde se interpola los tiempos del regional con los del modelo local para establecer las condiciones de contorno en el escenario de extracción 3
		ModSonc_Transitorio_Sim_EX3.fem	Simulación correspondiente al escenario de extracción 3
Sim-EX4		BC_SIM2-TV15.xlsx	Excel en donde se interpola los tiempos del regional con los del modelo local para establecer las condiciones de contorno en el escenario de extracción 4
		ModSonc_Transitorio_Sim_EX4.fem	Simulación correspondiente al escenario de extracción 4
Sim-EX5		BC_SimulacionesSIM_3_TV16.xlsx	Excel en donde se interpola los tiempos del regional con los del modelo local para establecer las condiciones de contorno en el escenario de extracción 5

CARPETA	SUBCARPETA	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
		ModSonc_Transitorio_Sim_EX5.fem	Simulación correspondiente al escenario de extracción 5
Sim-MedidaMitigación		ModSonc_Trans_DV_MedidaMitigación.fem	Simulación correspondiente a la medida de mitigación
-	-	Heads.pow	Corresponde al archivo de niveles del modelo



COMPROBANTE REPORTE DE AVISO/CONTINGENCIA/INCIDENTE

La División de Fiscalización de la Superintendencia del Medio Ambiente informa a Ud. que se ha recibido mediante el Sistema de Seguimiento Ambiental la siguiente información:

Plan de Contingencia:	SI
------------------------------	----

Proyecto:	CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACION MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA		
Titular:	SQM SALAR S.A.		
Resolución Exenta N°:	226	Organismo:	Comisión Regional del Medio Ambiente
Año:	2006	Región:	II Región de Antofagasta
Considerando:	11.2.3	Condiciones, compromisos o medidas de la RCA:	Extracto: 11.2.3 Acciones a implementar en cada fase del plan de contingencias b) Fase II: La activación de esta fase conlleva las siguientes acciones: i) activación de las medidas de mitigación tendientes a asegurar el funcionamiento del sistema en condiciones naturales, y ii) aviso a la COREMA de la II Región (actual SMA)

Fecha y Hora del Aviso/Contingencia/Incidente	20-05-2018 11:45:00
Tipo Aviso/Contingencia/Incidente:	- Crecidas o disminución de cursos o cuerpos de agua
Dirección:	San Pedro de Atacama, El Loa, Región de Antofagasta
Descripción:	Con fecha 20 de mayo de 2018, se registraron en la reglilla L1-G4 y en el pozo L1-5 ambos del Sistema Soncor, mediciones de niveles inferiores al umbral de activación de la Fase II. En efecto, respecto de la reglilla L1-G4 se registró un nivel de 2299,29 msnm y en el pozo L1-5 se registró un nivel de 2299,28 msnm (ambos Datum WGS-84). Aclaramos que el tipo de aviso seleccionado en el listado anterior no representa el tipo de situación que se está reportando aquí, se seleccionó "Crecidas de cursos o cuerpos de agua" para lograr ingresar este aviso en la presente plataforma.

Componente Ambiental Afectada	- Agua
Medidas Implementadas:	(i) Reducción de caudal de bombeo al escalón anterior al vigente; (ii) Etapa de investigación: la Fase II del PC del sistema lacustre Soncor se puede activar por efecto del bombeo de salmuera desde el núcleo del Salar o por disminución de la recarga superficial de agua. La disminución de la recarga superficial puede ser el resultado de

una sequía hidrológica o un efecto de terceros. La etapa de investigación contempla realizar un análisis detallado de la información obtenida mediante el Plan de Seguimiento Ambiental en términos del comportamiento de los componentes del balance hídrico del sistema lacustre (recargas, descargas u otros antecedentes) y, sobre esta base, determinar la causa de la activación de la Fase II del PC.;

Los documentos adjuntos:

Antecedentes
- Carta GMPL 069_18 Timbrada.pdf

Antecedentes
- Informe_Investigacion_PC_SQM.pdf

Antecedentes
- Informe Cuantificación de componentes_PC_L15_L1G4.pdf



Cod: RIA3676

Fecha: 21-05-2018 11:24:35



El presente certificado únicamente da cuenta de la recepción de la información reportada en el Sistema de Seguimiento Ambiental, cuya integridad y veracidad es de exclusiva responsabilidad del titular del proyecto.