



## **ANEXO N°14.1**

# **INFORME DE ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES**

**CARGO N° 14 RES. EX. N°1 / ROL D-018-2019**

**SCM MINERA LUMINA COPPER CHILE**

**DOCUMENTO PREPARADO POR**

**ARCADIS**



**Versión 0**

**MARZO 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	4
2	INTRODUCCIÓN.....	5
3	MARCO METODOLÓGICO .....	6
3.1	CONTEXTO HISTÓRICO DEL MODELO.....	6
3.2	DESCRIPCIÓN MODELO HIDROGEOLÓGICO 2018 Y COMPARACIÓN CON ÚLTIMA VERSIÓN PREVIA (MODELO HIDROGEOLÓGICO 2017).....	7
3.2.1	Dominio del modelo y actualización de la geometría .....	8
3.2.2	Discretización temporal .....	9
3.2.3	Extracciones .....	9
3.2.4	Monitoreo .....	10
3.2.5	Condiciones de borde.....	11
3.2.6	Propiedades hidráulicas .....	13
3.2.7	Calibración .....	13
3.3	PLAN DE MANEJO DINÁMICO (PMD).....	16
3.4	REPORTE DE ACTIVACIÓN DEL PMD. ....	18
3.5	ESCENARIOS DE ESTUDIO .....	21
4	ANÁLISIS DE EFECTOS DEL HECHO INFRACCIONAL .....	22
4.1	Análisis de niveles .....	23
4.1.1	Pozo PMR-01 .....	23
4.1.2	Pozo PMR-12 .....	26
4.2	Resultado simulaciones para distintos escenarios.....	32
5	CONCLUSIONES .....	36
6	REFERENCIAS .....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Actualizaciones efectuadas al modelo numérico.....	7
Figura 3-2: Geometría actualizada en la versión 2018.....	8
Figura 3-3: Dominio activo del modelo 2017 y 2018.....	9
Figura 3-4: Ubicación pozos de monitoreo.....	11
Figura 3-5: Descensos PMR-01, Modelo Act. 2017(ACL). ....	19
Figura 3-6: Descensos PMR-01, Modelo Act. 2018 (ACL). ....	20
Figura 3-7: Descensos PMR-12, Modelo Act. 2018 (ACL). ....	20
Figura 4-1: Ubicación PMR-01.....	24
Figura 4-2: Comparación entre nivel piezométrico PMR-01 y caudales bombeados por SCM MLCC .....	25
Figura 4-3: Estaciones pluviométricas cercanas a PMR-01 (Mayo 2007 – Enero 2019) ..	25
Figura 4-4: Relación entre nivel PMR-01 y caudal bombeado.....	26
Figura 4-5: Ubicación de PMR-12.....	28
Figura 4-6: Comparación entre nivel piezométrico PMR-12 y caudales bombeados por SCM MLCC .....	30
Figura 4-7: Comparación entre nivel piezométrico PMR-12, caudales bombeados por SCM MLCC y caudales bombeados por terceros cercanos a PMR-12 .....	31
Figura 4-8: Estaciones pluviométricas cercanas a PMR-12 (septiembre 2014 – enero 2019) .....	31
Figura 4-9: Relación nivel observado pozo PMR-12 y caudal extraído pozo PR-01 .....	32
Figura 4-10: Niveles simulados en pozo PMR-01, Modelo Act. 2017 (ACL).....	33
Figura 4-11: Niveles simulados en pozo PMR-01, Modelo Act. 2018 (ACL).....	33
Figura 4-12: Niveles simulados en pozo PMR-12, Modelo Act. 2018(ACL).....	34
Figura 4-13: Afloramientos, sector la puerta, Modelo Act. 2017(ACL).....	35
Figura 4-14: Afloramientos, sector la puerta, Modelo Act. 2018(ACL).....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Discretización temporal.....	9
Tabla 3-2: Balance de masa del modelo numérico calibrado .....	14
Tabla 3-3: Comparación de estadígrafos de modelos 2017 y 2018.....	15
Tabla 3-4: Estadígrafos pozos de activación.....	16
Tabla 3-5: Puntos de control PMD .....	17
Tabla 3-6: Activación PMD.....	18
Tabla 3-7: Verificación de Activación PMD .....	19
Tabla 3-8: Descripción de escenarios propuestos relativos al pozo PMR-01 .....	21
Tabla 3-9: Descripción Escenarios propuestos, con relación al pozo PMR-12.....	22
Tabla 4-1: Pozos de extracción cuenca río Pulido y Jorquera.....	29

## 1 RESUMEN

El presente informe técnico presenta los análisis realizados con el objetivo de evaluar los potenciales efectos ambientales asociados al cargo N° 14 de la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019, correspondiente a la no ejecución de las acciones establecidas en el Plan de Monitoreo Robusto, Cantidad, 2015, frente a la activación del Plan de Manejo Dinámico en PMR-01 para el periodo agosto-noviembre 2017 y en PMR-12 para el periodo junio-octubre de 2018.

La evaluación de los potenciales efectos se efectuó mediante la simulación de distintos escenarios, usando el modelo hidrogeológico actualizado a 2017 y 2018, y considerando variaciones en los caudales de extracción de SCM MLCC. El objetivo fue evaluar los niveles que se obtienen debido a la disminución de caudal de extracción en pozos aledaños a los pozos de monitoreo que causaron la activación.

Los resultados obtenidos indican que el efecto de variar los escenarios de extracción en torno al pozo PMR-01 es poco significativo, donde el valor máximo de variación del nivel con respecto al caso base es de 10 cm. Situación similar se observa para el pozo PMR-12, donde la máxima variación en el nivel proyectado con respecto al caso base (activación del PMD) es de aproximadamente 70 cm.

Por lo tanto, si se hubiesen ejecutado las acciones de disminuir el caudal, incluso considerando un escenario conservador (eliminando el bombeo en 6 pozos en el caso del PMR-12), el nivel del acuífero medido en esta zona se mantiene con la misma tendencia.

Adicionalmente, al analizar el nivel histórico en pozos de monitoreo, se visualiza un comportamiento estable, con oscilaciones asociadas a la estacionalidad, por lo que se puede inferir que el comportamiento del nivel está relacionado más bien con variables como lo son la precipitación y caudal de los ríos.

Finalmente, se concluye que no hay efectos producto de no haber activado el PMD, toda vez que los niveles observados en el periodo 2017 y 2018, en las áreas 1 (PMR-01) y área 5 (PMR-12) se han mantenido dentro de los rangos históricos observados.

## 2 INTRODUCCIÓN

Con fecha 19 de febrero de 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) formuló cargos en contra de SCM Minera Lumina Copper Chile (SCM MLCC), mediante la Res. Ex. N°1/Rol D-018-2019. En este contexto, SCM MLCC ha definido presentar un Programa de Cumplimiento (PDC), dentro del cual es requerido hacer entrega de informes de efectos asociados a los hechos, actos u omisiones que constituyen la infracción en que se ha incurrido.

En virtud de lo anterior, el presente informe técnico responde a la necesidad de evaluar los potenciales efectos ambientales asociados al cargo N° 14, el cual se refiere a: “No haber ejecutado las acciones establecidas en el Plan de Monitoreo Robusto, Cantidad, 2015, frente a la activación del Plan de Manejo Dinámico, en tanto:

1. No se ejecutó acción alguna con ocasión de la activación del PMD en PMR-01, en el período comprendido entre agosto y noviembre de 2017.
2. La aplicación no consistente del Plan de Monitoreo Robusto, Cantidad, 2015, frente a la activación del Plan de Manejo Dinámico en PMR-12, en el período comprendido entre junio y octubre de 2018.”

Para la evaluación de los potenciales efectos se simula el nivel de los pozos indicados, considerando distintos escenarios, usando el modelo hidrogeológico. Adicionalmente, se presenta un análisis de los niveles observados en las áreas donde se emplazan los pozos que activaron el PMD.

### **3 MARCO METODOLÓGICO**

El Plan de Manejo Dinámico (PMD) fue definido en el Plan de Monitoreo Robusto (PMR), y tiene como objetivo “adecuar los puntos de extracción de aguas subterráneas de modo de propender a mantener los descensos de los niveles freáticos en los sectores de extracción dentro de los niveles proyectados por el modelo hidrogeológico desarrollado por el Proyecto Caserones, para el sector comprendido entre las instalaciones del proyecto y La Puerta” (SCM MLCC, 2015).

Para evaluar los posibles efectos generados por el hecho de infracción, es decir, la no ejecución de las acciones establecidas en el PMR, producto de la activación del PMD en los pozos de control PMR-01 y PMR-12, se presentan escenarios de simulación, considerando una disminución en los caudales de bombeo. Adicionalmente, se realiza un análisis del comportamiento de los niveles observados en distintos pozos de monitoreo, junto a las extracciones que se realizan en el sector.

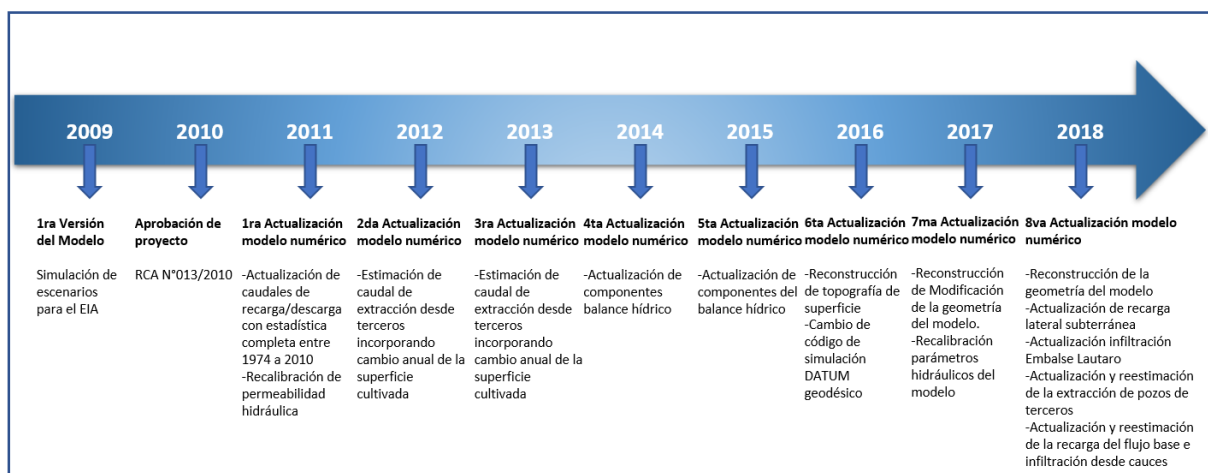
A modo de dar contexto y comprender la herramienta usada para la evaluación de la aplicación del PMD, se presenta un resumen de las principales características del modelo hidrogeológico numérico desarrollado por el proyecto Caserones, el cual ha sido actualizado por Arcadis Chile (ACL), junto a la metodología de cálculo de la activación del PMD.

#### **3.1 CONTEXTO HISTÓRICO DEL MODELO**

La empresa SITAC (2009) construyó para SCM MLCC el primer modelo numérico de la parte alta de la cuenca del río Copiapó, cuyos límites son: por el Este la confluencia del río Ramadillas con la Quebrada La Brea y por el Oeste el sector de La Puerta en el río Copiapó. Este modelo fue utilizado para el EIA “Proyecto Caserones” (RCA 013/2010), en donde se describe el modelo conceptual con detalle del funcionamiento y principales características del sistema hidrogeológico (Anexo VI-4 del EIA).

Posteriormente, mediante aprobación de la Adenda 3 del EIA del proyecto, y como parte de los compromisos adquiridos por SCM MLCC, se han efectuado siete actualizaciones del modelo numérico, incorporado mejoras conceptuales como el método de estimación de caudales de recarga y descarga del balance hídrico, nuevos registros de datos medidos, entre otras. En la Figura 3-1 se muestran las seis actualizaciones realizadas desde el año 2011 al 2016, donde se muestran los principales cambios efectuados.

**Figura 3-1: Actualizaciones efectuadas al modelo numérico**



Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó (2018), elaborado por Arcadis.

### 3.2 DESCRIPCIÓN MODELO HIDROGEOLÓGICO 2018 Y COMPARACIÓN CON ÚLTIMA VERSIÓN PREVIA (MODELO HIDROGEOLÓGICO 2017)

Durante la realización de los trabajos asociados a la actualización 2016, se identificaron oportunidades de mejora al modelo base, ya que se presentaban limitaciones al grado de ajuste de los niveles simulados para los requerimientos de la reportabilidad ambiental, pudiendo inducir a falsas activaciones del PMD. Las principales limitaciones estaban asociadas a la conceptualización hidrogeológica del acuífero y a las discrepancias en la información disponible, tal como se indica a continuación:

1. Desajuste en niveles simulados debido a los efectos de la recarga lateral subterránea
2. Desajuste en niveles simulados debido a los efectos de la infiltración de cauces y embalse
3. Desajuste en niveles simulados debido al efecto de bombeo de terceros (no contar con un catastro de pozos actualizado ni distribución de caudales de bombeo)
4. Desajuste en niveles simulados debido a discrepancias geográficas y topográficas de pozos
5. Desajuste en niveles simulados debido a fenómenos de recarga extrema luego del evento precipitación y escorrentía ocurrido en marzo de 2015.

Por lo anteriormente señalado, en las actualizaciones posteriores (Actualización 2017 y Actualización 2018) se realizaron diversas mejoras. A continuación, se describen las actividades más relevantes para el desarrollo del modelo.

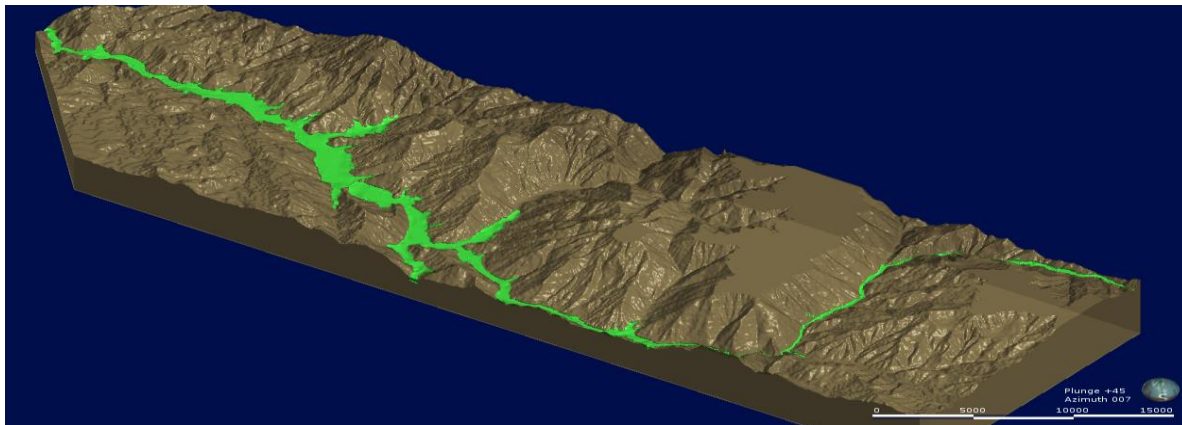
### 3.2.1 Dominio del modelo y actualización de la geometría

Para el modelo 2018, se generó una actualización de la geometría, considerando información de las actualizaciones previas y de pozos de monitoreo que comenzaron a generar información consistente desde el año 2015 como parte del PMR. Luego, la geometría se construye con base en:

- Imagen satelital *Bing Aerial* con una resolución de 1:25.000
- Catastro de pozos PMR de MLCC.
- Campaña geofísica desarrollada por Golder (Gravimetría y ERT) para MLCC en el sector alto del modelo (río Ramadillas).
- Geofísica disponible en el modelo DGA, reportado por HIDROMAS (2013).

Con esta información, a lo largo de esta cuenca, se generó un modelo cuyo relleno alcanza espesores máximos cercano a los 400 m. La mediana se encuentra cercano a los 100 m de espesor y la media es un poco mayor en torno a los 120 m.

**Figura 3-2: Geometría actualizada en la versión 2018**

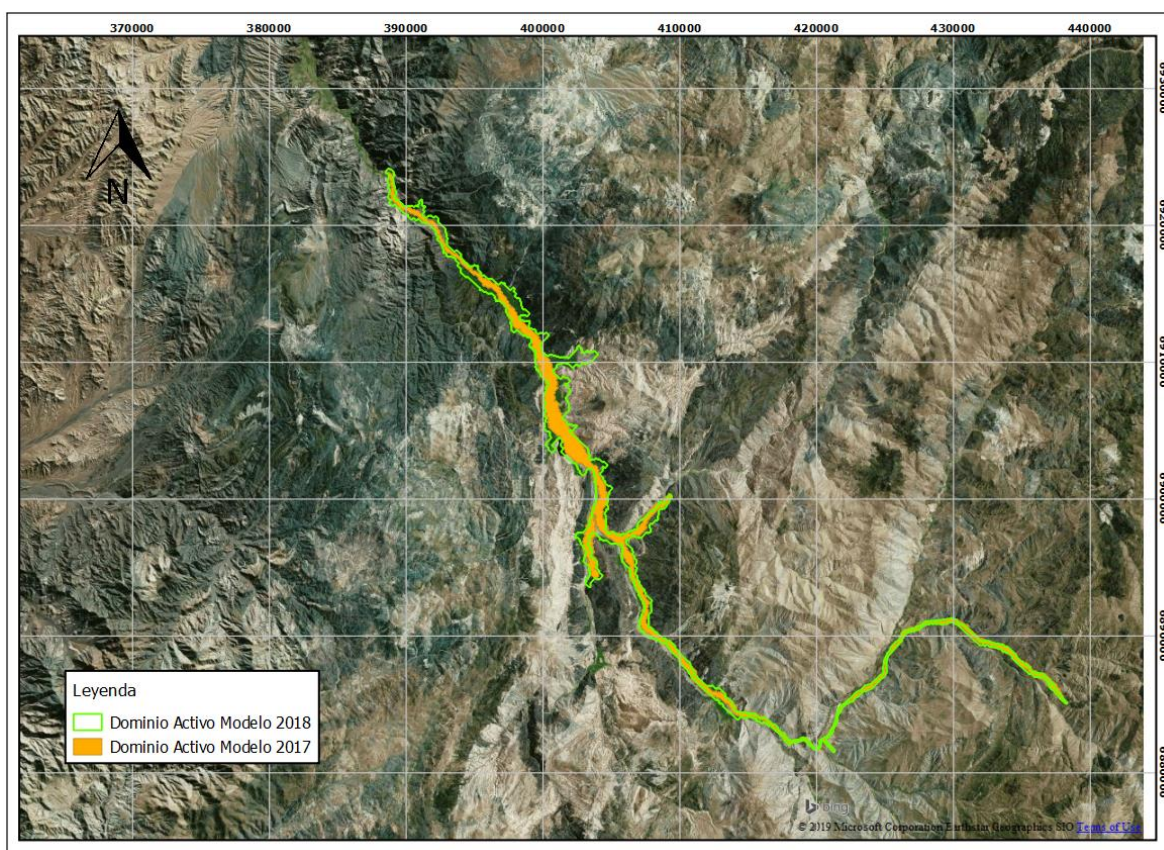


Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó (2018), elaborado por Arcadis.

El dominio del modelo se modificó mínimamente a modo de ser concordante con el dominio del modelo conceptual desarrollado para efectos de la presente actualización (se mantuvo la rotación y extensión del modelo base). En la Figura 3-3 se muestra el dominio activo tanto de la actualización 2017, como la última actualización. El nuevo dominio definido (actualización 2018) es más detallado y abarca más relleno aluvial.



**Figura 3-3: Dominio activo del modelo 2017 y 2018.**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

### 3.2.2 Discretización temporal

El modelo considera la simulación conjunta de un régimen permanente, correspondiente al 31 de enero de 1986, seguido de un régimen transiente a escala mensual. El detalle de la discretización temporal para ambas actualizaciones se presenta en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1: Discretización temporal**

Característica	Act. 2017 (ACL)	Act. 2018 (ACL)
Periodo de calibración	Enero-1986 a Enero-2017	Enero-1986 a Enero-2018
N° Periodos de stress	373 SP de 1 mes de duración cada uno	385 SP de 1 mes de duración cada uno

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

### 3.2.3 Extracciones

De acuerdo con la conceptualización hidrogeológica se simulan 3 grupos de extracciones por bombeo: i) desde pozos de SCM MLCC, ii) desde pozos de terceros y iii) desde pozos

“ficticios” ubicados a la salida del modelo en el sector “La Puerta”, los cuales simulan el flujo subterráneo de salida de la cuenca, estimado en aproximadamente 40 L/s constantes (DGA, 2003). La configuración de las extracciones queda definida como:

- Pozos de SCM MLCC: SCM MLCC cuenta con 31 pozos de bombeo con registro de caudal desde el último trimestre del año 2011, de los cuales 20 se ubican dentro del dominio activo del modelo numérico. De estos 20 pozos, los pozos PAF-1 y PER-1 no presentan bombeo durante todo el período de simulación.
- Pozos de terceros: Se consideran 57 pozos de terceros en la cuenca, cuyo uso principal es el riego. En el documento “Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó Actualización 2018 (diciembre 2016 hasta diciembre 2017)” (Arcadis, 2018) se detalla la metodología de cálculo para sus extracciones.
- Pozos ubicados en el sector La Puerta: corresponde a 9 pozos de extracción ficticios que simulan la salida del caudal en el sector La Puerta, con un caudal total extraído de aproximadamente 40 L/s.

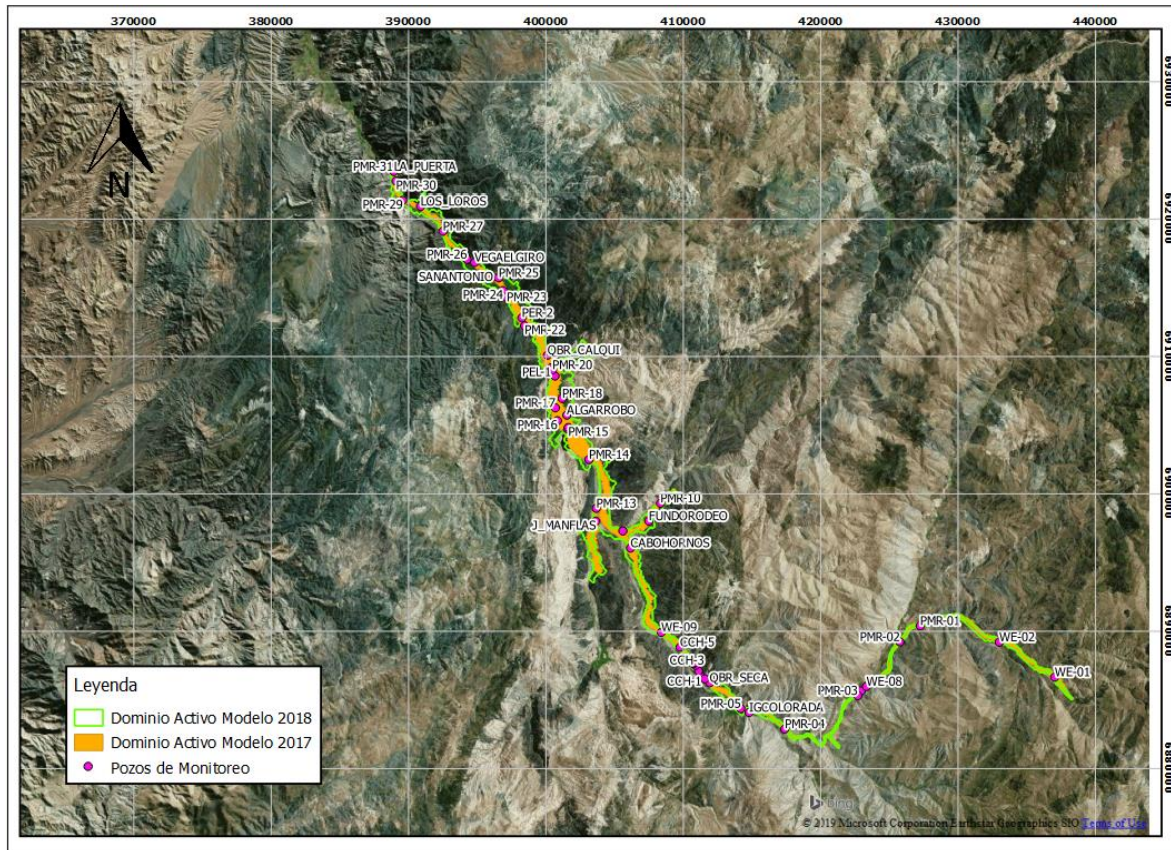
Las Actualizaciones 2018 y 2017 utilizan la misma cantidad de pozos de extracción y difieren en la serie de tiempos utilizadas, ya que el año 2018 tiene una serie que se extiende hasta enero del mismo año.

### **3.2.4 Monitoreo**

En ambos modelos (Actualización 2017 y 2018) se consideró la misma cantidad de pozos de monitoreo (50 pozos). Se debe notar que no todos los pozos tenían la información completa de todo el período de calibración, sin embargo, eran aptos para realizar una calibración robusta de la cuenca en estudio. En la Figura 3-4 se presentan los pozos considerados.



**Figura 3-4: Ubicación pozos de monitoreo.**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019

### 3.2.5 Condiciones de borde

En esta sección se presenta un resumen de las condiciones de borde asociadas a la recarga y descarga del acuífero estudiado, necesarias para la definición de ambos modelos numéricos (Actualización 2017 y 2018).

Las condiciones de borde asociadas a la recarga de agua al acuífero son cuatro:

- Recarga lateral subterránea, que corresponde al flujo de agua subterránea desde las subcuencas aportantes al sistema.
- Infiltración desde el Embalse Lautaro.
- Infiltración desde cauces, que es el aporte del río al acuífero en el sector de La Junta.
- Recarga asociada al flujo base, como la fracción de la precipitación que infiltra y drena al acuífero.

Por otra parte, la descarga del sistema subterráneo impuesta considera el afloramiento del acuífero hacia el río en el sector de La Puerta.

### **3.2.5.1 Recarga lateral subterránea**

La recarga subterránea incluida en el modelo base considera ocho subcuencas aportantes, para las cuales se utilizan ocho pozos de inyección (uno por cuenca) para ingresar los aportes de éstas de forma concentrada en el dominio activo del modelo numérico.

### **3.2.5.2 Infiltración desde el embalse Lautaro**

La metodología para estimar el caudal de infiltración del Embalse Lautaro consiste en un balance hídrico que considera: i) fluviometría de la estación Embalse Lautaro, ii) fluviometría de estación Copiapó en Pastillo para el período entre mayo y enero 2018, iii) precipitación directa en el embalse, iv) evaporación de superficie libre del embalse y, v) la variación del volumen almacenado respecto del mes anterior. De este modo, el caudal de recarga del embalse se definió mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Infiltración}} = (Q_{\text{Pastillo}} + P_p) - (Q_{\text{Copiapó en Emb. Lautaro}} + \text{EVT} + \Delta V)$$

### **3.2.5.3 Infiltración desde cauces**

Las condiciones hidrogeológicas en el sector de La Junta, en el nacimiento del río Copiapó tras la confluencia de los ríos Pulido y Jorquera y posterior afluencia del Manflas, ha favorecido en esta zona la infiltración de agua desde el río al acuífero.

Mediciones de caudales en cada uno de los ríos permite estimar la infiltración desde los cauces mediante un balance de aguas superficiales, donde el caudal infiltrado es igual a la diferencia entre los aportes de los tres ríos afluentes (Pulido, Jorquera y Manflas) y el caudal medido en la estación Río Copiapó en Pastillo (aguas arriba del Embalse Lautaro) más las extracciones superficiales para riego (calculadas para la estimación de extracciones subterráneas de terceros).

### **3.2.5.4 Recarga asociada al flujo base**

La recarga asociada al flujo base representa el aporte de la precipitación que se infiltra en el suelo y drena naturalmente al acuífero.

Se estimó el tiempo de tránsito del flujo base a través de las quebradas que alimentan al acuífero, considerando un largo característico de 6,5 km, una pendiente media de 33 %, una porosidad de 20 % (propia de la arena) y una permeabilidad igual a 3,38 m/d. Cabe señalar que los valores característicos utilizados para estimar el tiempo de tránsito del flujo provienen de la zona alta del río Pulido donde la geometría del acuífero se asemeja a la de las quebradas que se busca representar. Con base a estos antecedentes y usando la ecuación de Darcy, se obtuvo un valor de referencia de tres años de tránsito para el

caudal que ingresa a las quebradas y logra llegar al acuífero principal, contribuyendo así al flujo base.

Esta recarga se incorporó al modelo numérico como pozos de inyección.

### **3.2.5.5 Afloramientos sector La Puerta**

Los caudales de afloramientos de las aguas subterráneas que ocurren desde aguas abajo del Embalse Lautaro hasta el sector “La Puerta” se debe a un estrechamiento del valle y una mayor cercanía del basamento rocoso a la superficie. La serie de caudal de afloramiento del modelo base fue estimada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{afloramientos}} = (Q_{\text{La Puerta}} + \text{EVT}_{\text{vegas}}) - (Q_{\text{Lautaro}} + Q_{\text{filtraciones}})$$

### **3.2.6 Propiedades hidráulicas**

Los parámetros hidráulicos como transmisividad, permeabilidad y almacenamiento del acuífero fueron estimadas el año 2009 mediante análisis de pruebas de bombeo, cuyos resultados indican una variación de la permeabilidad entre los 0,4 a los 163,8 m/d. Complementariamente, en el año 2012 se reportó nuevos resultados de pruebas de bombeo en 3 pozos ubicados aguas abajo del embalse Lautaro donde el valle se ensancha a partir del sector de La Junta. Los resultados del análisis de las pruebas de bombeo indican valores de permeabilidad de 364, 567 y 421 m/d en los pozos de bombeo PDB-1, PPO-1 y PEL-1, respectivamente. Estos valores se utilizaron como referencia para la definición de los parámetros hidráulicos en la fase de calibración.

### **3.2.7 Calibración**

En términos generales, la calibración consiste en la variación sistemática de la conductividad hidráulica y el almacenamiento (porosidad de drenaje) del acuífero para lograr reproducir las variables observadas, la que principalmente corresponden a niveles piezométricos de pozos de monitoreo. Esto significa que en la globalidad del modelo se deben representar razonablemente tanto las cotas de agua como las tendencias de los hidrogramas de todos los pozos.

La calibración se efectuó con el software PEST (Doherty, 2016) utilizando sectores definidos de permeabilidad.

Para analizar los resultados obtenidos en la calibración se presentan una serie de análisis que muestran el funcionamiento del modelo, en términos del balance hídricos y además la respuesta de niveles de este. Estos resultados consideran:

- Análisis del error del balance de masas.
- Parámetros hidráulicos calibrados.

- Estadígrafos de residuales (residual = nivel observado – nivel simulado).
- Hidrogramas de pozos seleccionados.

### 3.2.7.1 Análisis del error del balance de masas

En la Tabla 3-2 se resumen los componentes del balance de masas en base a los flujos simulados por el modelo, comparándose los caudales promedio obtenidos para la Actualización 2017 y Actualización 2018. Se observa que error del balance de masa es inferior al 0,1%, valor que cumple con el criterio sugerido por SEA (2012) (balance de masa inferior al 1%).

**Tabla 3-2: Balance de masa del modelo numérico calibrado**

Componente del balance	Caudal Promedio Act.2017 (ACL)	Caudal Promedio Act.2018 (ACL)
<b>Entradas (L/s)</b>		
Recarga lateral subterránea (*)	418,3	428,2
Recarga desde embalse Lautaro y cauces	1584,9	4563,7
Almacenamiento	364,9	699,7
Total Entradas (L/s)	2368,0	5691,6
<b>Salidas (L/s)</b>		
Extracciones desde pozos de bombeo (**)	898,3	628,8
Afloramientos	552,2	2383,1
Almacenamiento	917,5	2675,2
Total Salidas (L/s)	2368,0	5687,1
<b>Error</b>	<0,1%	<0,1%

(\*) Incluye los aportes de flujos subterráneos de Rodeo, Pulido e Iglesia Colorada,

(\*\*) Incluye la descarga por bombeo desde el sector de La Puerta

Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó (2018), elaborado por Arcadis.

### 3.2.7.2 Parámetros hidráulicos calibrados

Como resultado de la calibración del modelo numérico se obtuvo una heterogeneidad de la distribución de la conductividad hidráulica, la cual viene representada en 50 zonas a lo largo de todo el dominio del modelo, los valores de calibración se encuentran entre 0,005 a 250 m/d.

Puntualmente, las permeabilidades más bajas (1 a 30 m/d) se ubican a lo largo de la quebrada del río Ramadillas, y en la zona de la Puerta, salida del modelo, se debe notar que en estas zonas en particular, el cauce del río se muestra más angosto y presenta una mayor pendiente, lo que genera un gradiente hidráulico mayor, por lo que para alzar los niveles piezométricos dentro de la modelación, se debe disminuir las permeabilidades.

Hacia aguas abajo (hasta confluencia con río Jorquera), las permeabilidades que se presentan muestran una gran heterogeneidad, se observa zonas con permeabilidades sobre 200 m/d adyacentes a permeabilidades con valores bajo 100 m/d.



Por otra parte, las zonas de mayor permeabilidad se presentan en la zona bajo la confluencia con el río Jorquera, aguas arriba del embalse Lautaro, sus valores alcanzan 250 m/d. En esta zona, el cauce se ensancha y su pendiente disminuye, lo que provoca un alza en los niveles piezométricos, para atenuar dicho efecto las permeabilidades debían ser mayores con respecto a las presentadas hacia aguas arriba.

Es importante destacar, que los valores calibrados de permeabilidad son acordes a las pruebas de bombeo que se presentan en el informe de SRK (2016).

La distribución de almacenamiento al igual que las permeabilidades es heterogénea, las zonas de almacenamiento definidas son en total 35, y presentan una configuración diferente a las zonas de permeabilidad. En todo el dominio la porosidad de drenaje (Sy) presenta valores entre 10 y 20%, en especial desde la confluencia con el río Jorquera hacia aguas abajo hasta el sector la puerta. Entre la quebrada del río Ramadillas hasta la quebrada del río Pulido las porosidades disminuyen alcanzando valores por debajo del 10%. Hacia aguas abajo la porosidad sube alcanzando valores cercanos a 20 %, en especial en la zona del embalse Lautaro.

### 3.2.7.3 Estadígrafos

En esta sección se presenta una evaluación cuantitativa del ajuste de la calibración mediante indicadores estadísticos, los cuales son estimados a partir de los residuales de niveles para cada tiempo de simulación (nivel observado – nivel simulado).

En la Tabla 3-3 se presentan los estadígrafos del modelo de actualización 2017 y del modelo de actualización 2018. Se pueden apreciar diferencias en los estadígrafos de ambos modelos, si bien los valores mostrados en la presenta actualización son mayores a los del año 2017, no difieren en forma sustancial, en especial el RMS normalizado y el MAE.

Se debe destacar que el RMS y MAE normalizados presentan valores inferiores a 5% que para el caso del MAE corresponde al criterio que recomienda SEA (2012).

**Tabla 3-3: Comparación de estadígrafos de modelos 2017 y 2018**

Estadígrafo	Act. 2017 (ACL)	Act. 2018 (ACL)	Unidad
ME (Error medio)	0,04	0,92	m
MAE (Error medio absoluto)	5,79	6,56	m
RMS (Error cuadrático medio)	8,41	8,58	m
Residual Min,	-44,45	-29,96	m
Residual Max,	23,20	40,97	m
N° Observaciones	3.642	4.388	-
Rango de datos observados	1.735,69	1.725,69	m
MAE Normalizado	0,33	0,4	%
RMS Normalizado	0,48	0,5	%

Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó (2018), elaborado por Arcadis.

Adicionalmente, en la Tabla 3-4 se presentan los estadígrafos de los pozos que gatillan la activación del plan de manejo, listados anteriormente (PMR).

**Tabla 3-4: Estadígrafos pozos de activación**

Estadígrafo	Act, 2018 (ACL)	Unidad
ME (Error medio)	0,43	m
MAE (Error medio absoluto)	3,31	m
RMS (Error cuadrático medio)	4,73	m
Residual Min,	-22,98	m
Residual Max,	13,13	m
N° Observaciones	517	-
Rango de datos observados	1284,03	m
MAE Normalizado	0,3	%
RMS Normalizado	0,4	%

Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó (2018), elaborado por Arcadis.

Se observa de la tabla anterior, que el valor de error medio es menor a 1 m, y que los valores normalizados, son menores al 1%, por lo que cumple con lo señalado en el documento del SEA (2012).

### 3.3 PLAN DE MANEJO DINÁMICO (PMD)

El PMD propone las debidas acciones y medidas que se deben ejecutar si en el acuífero se observan descensos significativamente mayores a lo estimado por el modelo hidrogeológico desarrollado para la zona de estudio. Para ello, el PMD trabaja con la información recolectada en el PMR, considerando el seguimiento de las variables principales que reflejan el comportamiento hidrogeológico del sistema: niveles de agua subterránea, fluviometría, nivel del embalse Lautaro, y caudal bombeado.

Para la implementación del PMR, se comprometió la habilitación de 31 pozos de monitoreo, distribuidos en 13 áreas definidas dentro de los sectores hidrogeológicos 1 y 2 del acuífero del río Copiapó. De estos 31 pozos, 13 se han definido como pozos de control, y corresponde a los pozos que cierran cada una de las 13 áreas de monitoreo. En estos pozos se verifican los umbrales de activación del PMD, siendo 8 de ellos los que pueden gatillar la aplicación directa del señalado PMD, tal como se indica en la Tabla 3-5. Se indica también que si en los pozos PMR-25 y PMR-29 se cumplen los umbrales de activación del PMD, se realizará un análisis mediante un modelo simplificado para determinar si la activación se produce por las extracciones de SCM MLCC. Cabe mencionar también que, de los pozos indicados, el pozo PMR-09 no fue considerado, debido a que fue construido a mediados del año 2017 y no se encuentra aún estabilizado.



**Tabla 3-5: Puntos de control PMD**

Pozo de control	Verificación umbral de activación	Situación
PMR-01	Directa	Pozo existente
PMR-03	Directa	Pozo habilitado trimestre Feb-Abr 2015
PMR-06	-	Pozo habilitado trimestre Nov 2015-Ene 2016
PMR-09	Directa	Pozo habilitado trimestre May-Jul 2017
PMR-12	Directa	Pozo habilitado en el trimestre Feb-Abr 2016
PMR-14	-	Pozo habilitado trimestre Feb-Abr 2015
PMR-16	-	
PMR-19	Directa	
PMR-22	Directa	
PMR-25	Modelo Simplificado	Pozo habilitado trimestre May-Jul 2015
PMR-29	Modelo Simplificado	
PMR-31	-	Pozo habilitado trimestre Feb-Abr 2015

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Luego, la activación del PMD se produce si se cumple simultáneamente que: i) existe una diferencia mayor a 1 m entre el descenso real y el simulado por el modelo y ii) el descenso proyectado supera en más del 20% al descenso observado. Dicho de otro modo:

$$\text{Criterio 1: } \frac{(DR_{i,t} - DP_{i,t})}{DP_{i,t}} \times 100 > 20\%$$

$$\text{Criterio 2: } DR_{i,t} - DP_{i,t} > 1m$$

Donde:

$DR_{i,t}$ : Descenso registrado para el pozo de control i del PMR en el mes t.

$DP_{i,t}$ : Descenso Proyectado para el pozo de control i del PMR en el mes t.

El modelo numérico establece una comparación entre una situación base y el escenario propuesto por SCM MLCC. Para el caso de la situación base no existe bombeo por parte de SCM MLCC, mientras que en el escenario propuesto (con proyecto). se establece una estrategia de bombeo de SCM MLCC. De esta forma, el cálculo del descenso proyectado considera el nivel simulado en situación con proyecto y sin proyecto, y se calcula de la siguiente manera:

**Descenso Proyectado = Nivel Proyectado Con Extracciones - Nivel Proyectado Sin Extracciones**

$$DP_{i,t} = NPCE_{i,t} - NPSE_{i,t}$$

Donde los subíndices corresponden a:

i: pozo i del PMR

t: índice de 1 a 12 (correspondiente a cada mes del año proyectado)

Adicionalmente, el modelo hidrogeológico determinará el efecto de las extracciones de SCM MLCC sobre el caudal en el sector La Puerta, donde el efecto corregido sobre el caudal en La Puerta no debe superar los 310 L/s.

### 3.4 REPORTE DE ACTIVACIÓN DEL PMD.

Según lo establecido por la metodología anteriormente señalada, se reportó activación del PMD en el pozo PMR-01 para el periodo comprendido entre los meses de agosto y noviembre de 2017, y en el pozo PMR-12 entre los meses de junio y noviembre 2018. La activación en estos pozos se reportó en los respectivos informes trimestrales que dan cuenta del monitoreo establecido en el PMR. Los valores de cada criterio en los meses de activación se presentan en la Tabla 3-6, indicando también el modelo hidrogeológico usado. Los gráficos que muestran la situación de activación reportada se presentan en la Figura 3-5 y la Figura 3-7 para el pozo PMR-01 y PMR-12 respectivamente.

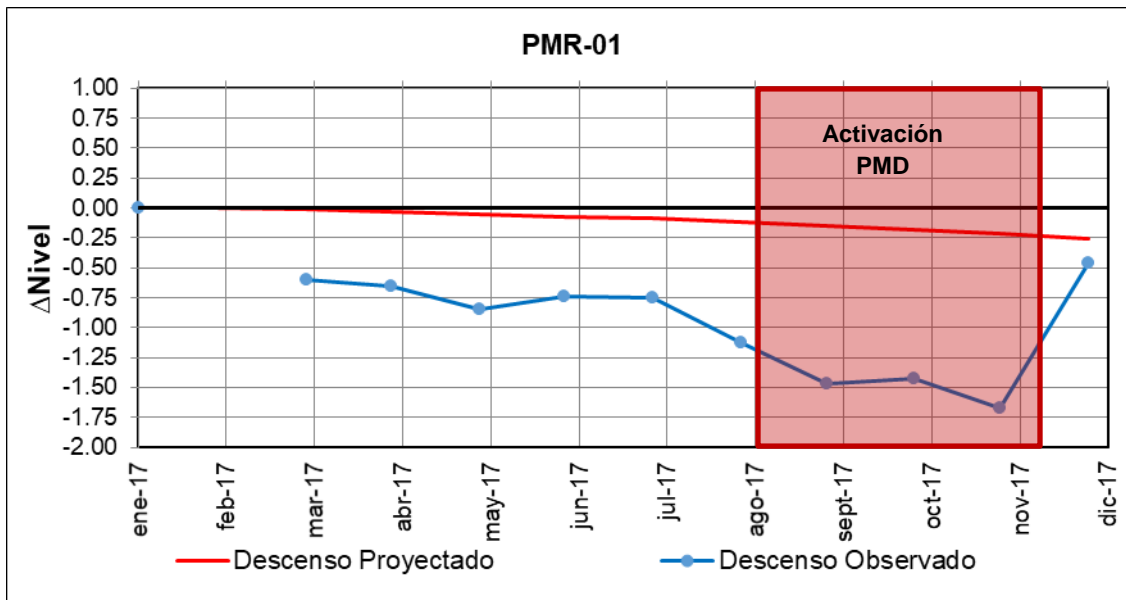
**Tabla 3-6: Activación PMD**

Pozo	Modelo usado	Fecha	Criterio 1 (%)	Criterio 2 (m)
PMR-01	Act. 2017 (ACL)	Agosto 2017	836,94	1,01
PMR-01	Act. 2017 (ACL)	Septiembre 2017	880,64	1,32
PMR-01	Act. 2017 (ACL)	Octubre 2017	672,42	1,24
PMR-01	Act. 2017 (ACL)	Noviembre 2017	662,58	1,45
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Junio 2018	202,39	1,47
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Julio 2018	269,08	2,30
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Agosto 2018	347,22	3,39
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Septiembre 2018	434,58	4,64
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Octubre 2018	512,00	5,69

	(ACL)			
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Noviembre 2018	536,95	6,04
PMR-12	Act. 2018 (ACL)	Diciembre 2018*	-	-

\*No se registran mediciones en ese mes, pozo en mal estado  
Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

**Figura 3-5: Descensos PMR-01, Modelo Act. 2017(ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Tal como se observa en la Tabla 3-6, el pozo PMR-01 se mantuvo activo durante 4 meses, (2 periodos de reportabilidad). Es pertinente señalar que el umbral se superó durante 4 meses, pero hacia el mes de diciembre ya se observa una recuperación en el nivel del pozo.

En los respectivos informes trimestrales que dieron cuenta de esta situación, se señaló que esta activación se relacionaba más bien a las deficiencias en el modelo hidrogeológico 2017, principalmente producto de las diferencias de geometría en el área 1, donde se emplaza el pozo PMR-01.

Por lo anteriormente señalado, y con el fin de verificar que la activación del pozo PMR-01 puede deberse a las deficiencias del modelo hidrológico 2017, se simuló el nivel en el pozo para el periodo 2017, pero usando el modelo hidrológico 2018. Los resultados se presentan en la Tabla 3-7 y Figura 3-6 donde se ve que el pozo se activa solo 2 meses.

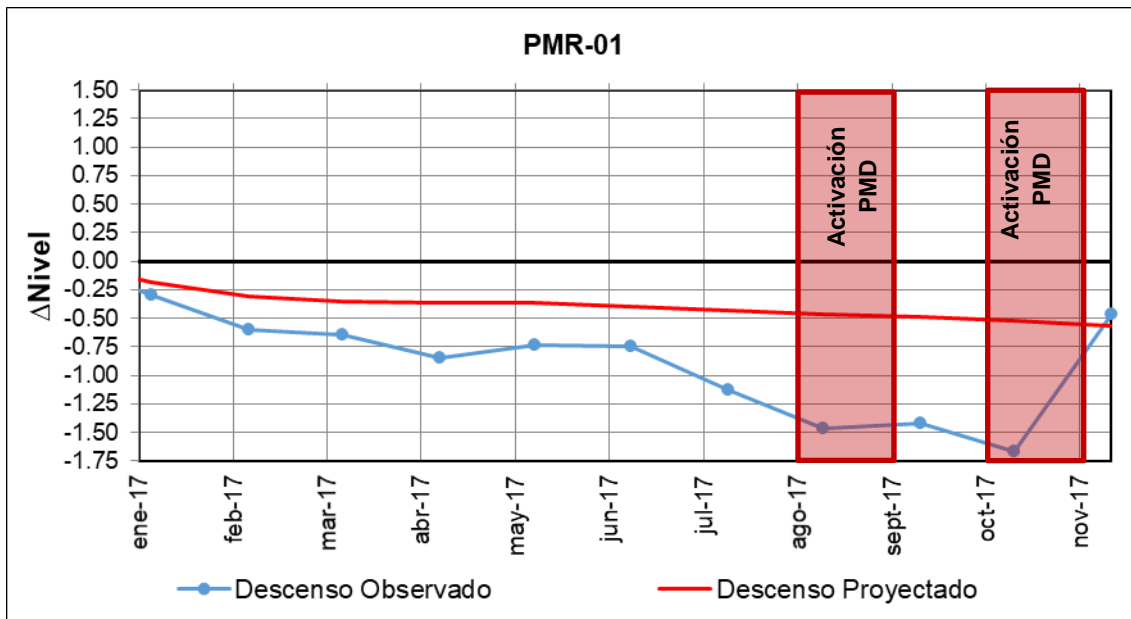
**Tabla 3-7: Verificación de Activación PMD**

Pozo	Modelo usado	Fecha	Criterio 1 (%)	Criterio 2 (m)
PMR-01	Act. 2018	Agosto 2017	217,49	1,01

	(ACL)			
PMR-01	Act. 2018 (ACL)	2018	Octubre 2017	220,54
				1,15

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

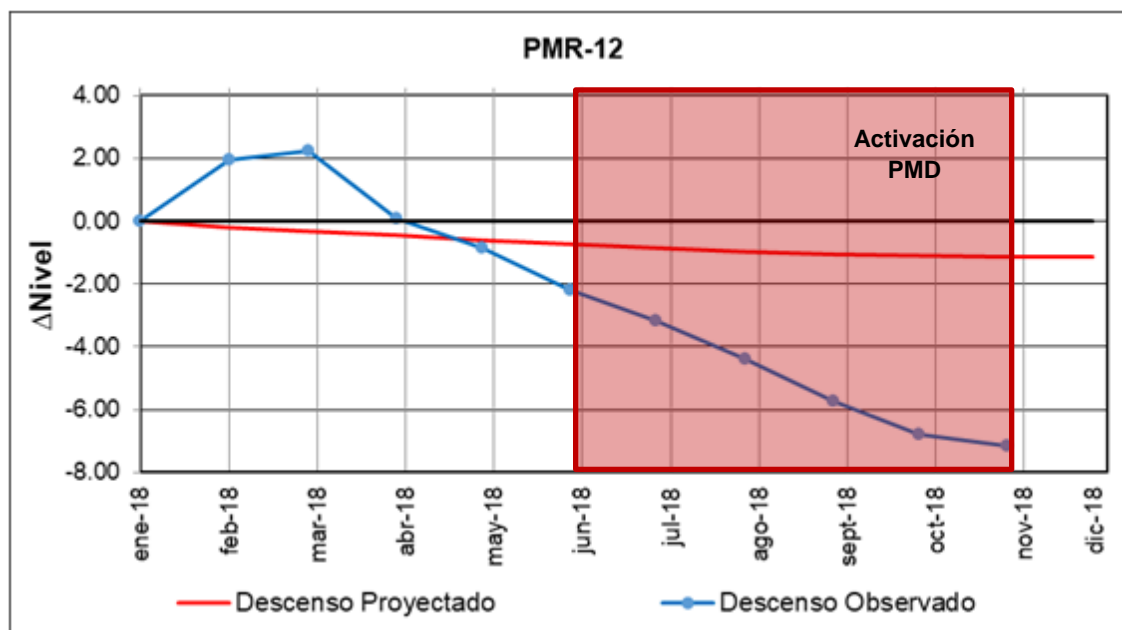
**Figura 3-6: Descensos PMR-01, Modelo Act. 2018 (ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Respecto al pozo PMR-12, la activación se genera entre los meses de junio y noviembre de 2018 (el mes de diciembre no se ha podido evaluar ya que no hay medición en el pozo).

**Figura 3-7: Descensos PMR-12, Modelo Act. 2018 (ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

### 3.5 ESCENARIOS DE ESTUDIO

Dada la activación del PMD en los pozos PMR-01 y PMR-12, se decide analizar distintos escenarios de simulación, considerando variaciones en los caudales de extracción de SCM MLCC. El objetivo es estimar el descenso y por ende los niveles que se obtienen debido a la disminución de caudal de extracción en pozos aledaños a los pozos de monitoreo que causaron la activación.

Estos escenarios incluyen simulaciones con el modelo de la actualización 2017 y la actualización 2018. Los escenarios propuestos para el caso del pozo PMR-01, se presentan en la Tabla 3-8.

**Tabla 3-8: Descripción de escenarios propuestos relativos al pozo PMR-01**

Escenario	Act. 2017 (ACL)	Act. 2018 (ACL)
1	Disminución de bombeo a 50% en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante el mes sucesivo al primer mes de activación.	-
2	Disminución de bombeo a 50% en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 2 meses sucesivos al primer mes de activación.	-
3	Disminución de bombeo a 50%	-

Escenario	Act. 2017 (ACL)	Act. 2018 (ACL)
	en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 3 meses sucesivos al primer mes de activación (Total de meses que se activa el pozo).	
4	Detención total del bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante el mes sucesivo al primer mes de activación.	Detención total del bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante el mes sucesivo al primer mes de activación.
5	Detención total del bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 2 meses sucesivos al primer mes de activación.	Detención total del bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 2 meses sucesivos al primer mes de activación.
6	Detención total de bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 3 meses sucesivos al primer mes de activación (Total de meses que se activa el pozo).	Detención total del bombeo en pozos aledaños (WP-01 y WP-02) durante los 3 meses sucesivos al primer mes de activación (Total de meses que se activa el pozo).

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

En el caso del pozo PMR-12 se tiene que la activación ocurre solo en el modelo numérico de la actualización 2018, en particular desde el mes de junio de ese año. Ya que el pozo permanece activado hasta el fin de la simulación, se decide analizar solo al caso en que se eliminan las extracciones de los pozos aledaños al PMR-12 hasta el final de la simulación, los cuales se presentan en la Tabla 3-9.

**Tabla 3-9: Descripción Escenarios propuestos, con relación al pozo PMR-12**

Escenario	Act. 2017 (ACL)	Act. 2018 (ACL)
1	-	Disminución de bombeo a 0% en pozos aledaños (PR-01, CCH-01, CCH-02, CCH-03, CCH-04 y CCH-05) durante los meses sucesivos al mes de activación hasta el fin de la simulación.

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

## 4 ANÁLISIS DE EFECTOS DEL HECHO INFRACCIONAL

La infracción a que hace referencia el Cargo N° 14 corresponde a la no ejecución de las acciones establecidas en el Plan de Monitoreo Robusto, Cantidad (2015), frente a la activación del Plan de Manejo Dinámico.

En efecto, y como ya se ha señalado, en el periodo comprendido entre los meses de agosto 2017 y enero de 2018, el pozo denominado PMR-01 gatilló la activación del PMD, lo que implicaba que se debía disminuir el caudal de extracción en uno o más pozos de

bombeo en el área de monitoreo. Esta acción no se realizó, debido a que, tal como se indica en informe trimestral agosto-octubre 2017, "...si bien se cumplen las condiciones de activación, es pertinente considerar que, como ya se ha señalado, el modelo hidrogeológico tiene algunas deficiencias, presentándose diferencias de geometría que influyen en que haya un ajuste deficitario en la zona alta de la cuenca. Estas deficiencias serán subsanadas en la actualización del modelo en 2018". Adicionalmente, se señala que "el PMD solo se activa en el área 1 y no en las siguientes áreas, situación que implicaría básicamente una deficiencia del modelo. En el sector de bombeo del río Ramadillas, sólo el pozo WP-01 está operativo, y su operación se realiza para abastecer camiones aljibe, con un caudal promedio del orden de 5 L/s en el presente trimestre, inferior al caudal del derecho de aprovechamiento. En el caso de los pozos de la Quebrada la Brea, no es posible disminuir su operación dado que su función principal es remediar los efectos de las aguas de proceso".

A continuación, se presenta un análisis de los efectos de no haber disminuido el bombeo, para cada pozo. Para entender el contexto de la activación del PMD, se presenta también un análisis de las variables principales que intervienen en el sistema hídrico en las áreas donde se ubican los pozos PMR-01 y PMR-12, junto a los resultados de las simulaciones realizadas con el modelo hidrogeológico.

#### **4.1 Análisis de niveles**

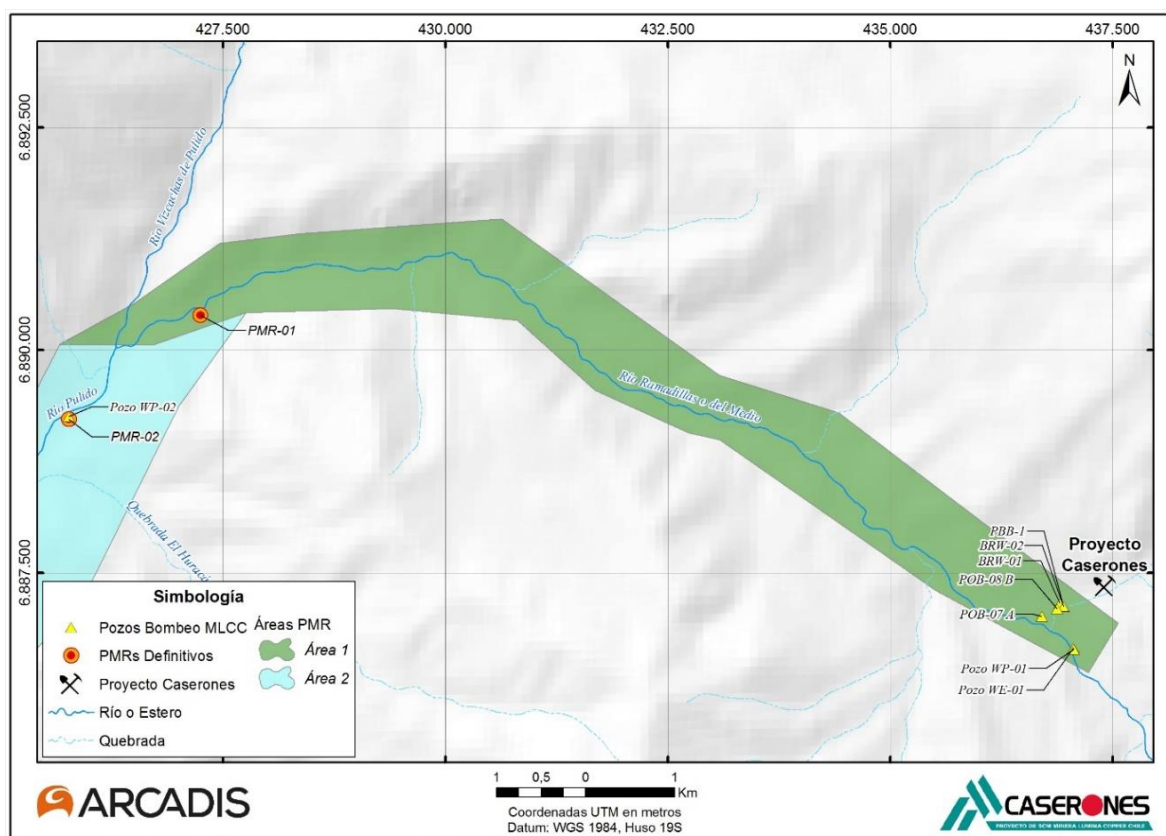
##### **4.1.1 Pozo PMR-01**

El pozo PMR-01 se ubica en el río Ramadillas, cuya zona corresponde al Área 1 del proyecto (ver Figura 4-1). Para realizar el análisis de niveles piezométricos es pertinente considerar que en este sector no hay estaciones fluviométricas, mientras que las estaciones pluviométricas más cercanas corresponden a Iglesia Colorada y Manflas Hacienda. Además, en dicha área sólo existe extracción por parte de SCM MLCC.

El bombeo en esta zona comenzó el año 2012 en los pozos WE-01 y WP-01, donde el primero de ellos detuvo su extracción a mediados del año 2014, manteniendo dicha condición hasta ahora. Adicionalmente, a fines del año 2014 entran en operación los pozos de remediación, localizados en la cabecera del Área 1.



**Figura 4-1: Ubicación PMR-01**



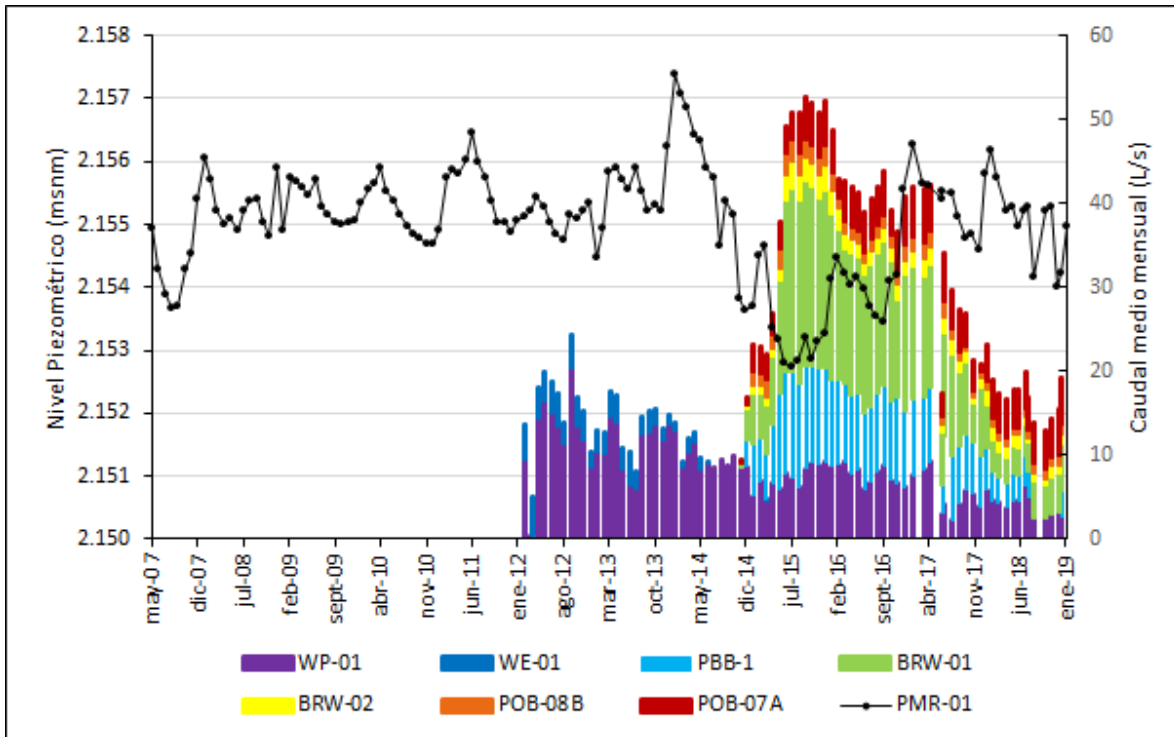
Fuente: Informes trimestrales, Elaborado por Arcadis.

La medición de nivel en este pozo comenzó en mayo de 2007, y los registros muestran que fluctuaron entre 2.154 y 2.156 msnm para el periodo mayo 2007 – enero 2012, y con el comienzo del bombeo no se observa mayor fluctuación en los niveles medidos. En la Figura 4-2 se puede observar que, luego de un aumento de más de 2 m en el nivel del pozo PMR-01 a inicios de 2014, se inició un descenso de nivel del pozo PMR-01, alcanzándose un nivel mínimo en julio de 2015 (con un aumento puntual en marzo de 2015). Posteriormente se observa un nivel con tendencia ascendente, y oscilaciones que se relacionan con la estacionalidad, hasta volver al rango de niveles registrado al inicio de las observaciones. Se visualizan aumentos del nivel hacia los meses estivales de los años 2016, 2017 y 2018, siendo más marcada esta tendencia en los dos últimos años, mientras que en el periodo otoño-invierno van en descenso. En contraposición, en la Figura 4-2 se evidencia que la utilización del pozo WP-01 sigue una tendencia uniforme de descenso del caudal de explotación.

En general se observa que los meses con aumento de nivel se producen posterior a un evento de precipitación, tal como se muestra en la Figura 4-3, si bien hay algunos aumentos de nivel que no tienen relación directa.

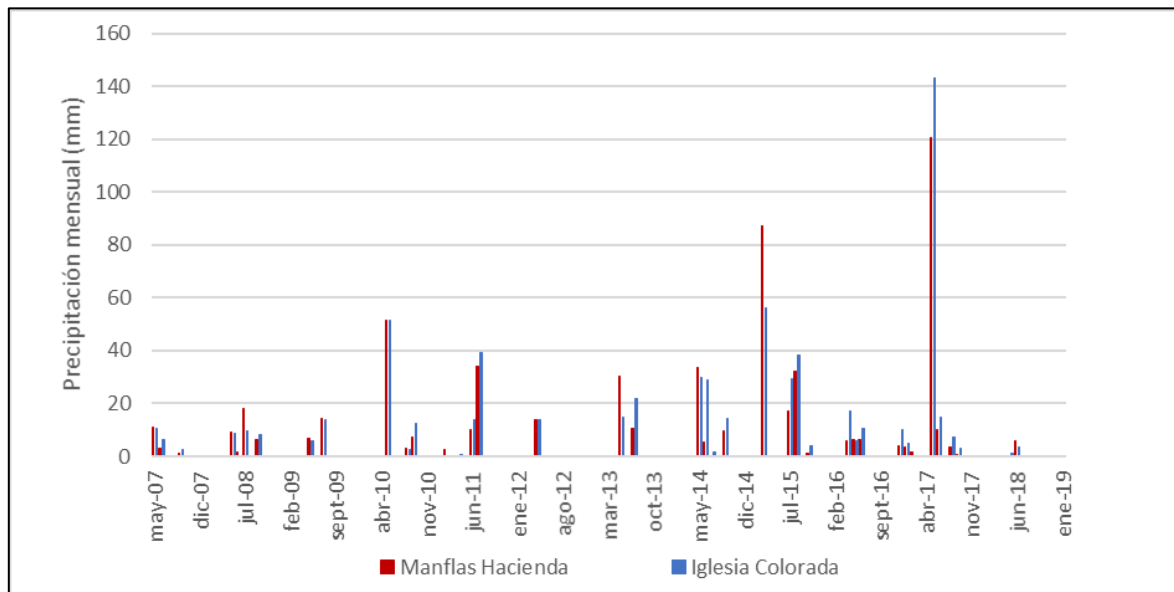


**Figura 4-2: Comparación entre nivel piezométrico PMR-01 y caudales bombeados por SCM MLCC**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

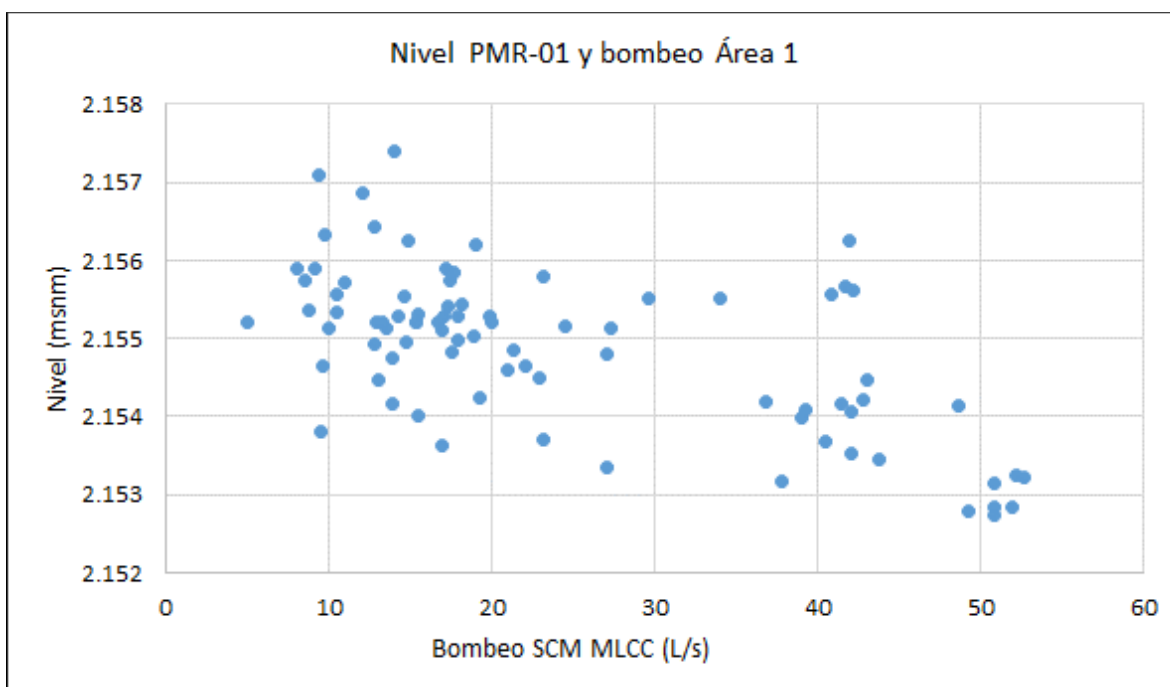
**Figura 4-3: Estaciones pluviométricas cercanas a PMR-01 (Mayo 2007 – Enero 2019)**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Se puede inferir de este análisis que el comportamiento del nivel en el acuífero, medido en este pozo, no sólo se ve afectado por el bombeo de los pozos, sino que también puede estar influenciado por variables como la precipitación o caudal del río. El gráfico de la Figura 4-4 muestra la relación entre el nivel medido y el caudal bombeado total en el Área 1, donde se observa que el nivel no tiene una relación directa con el caudal bombeado.

**Figura 4-4: Relación entre nivel PMR-01 y caudal bombeado**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

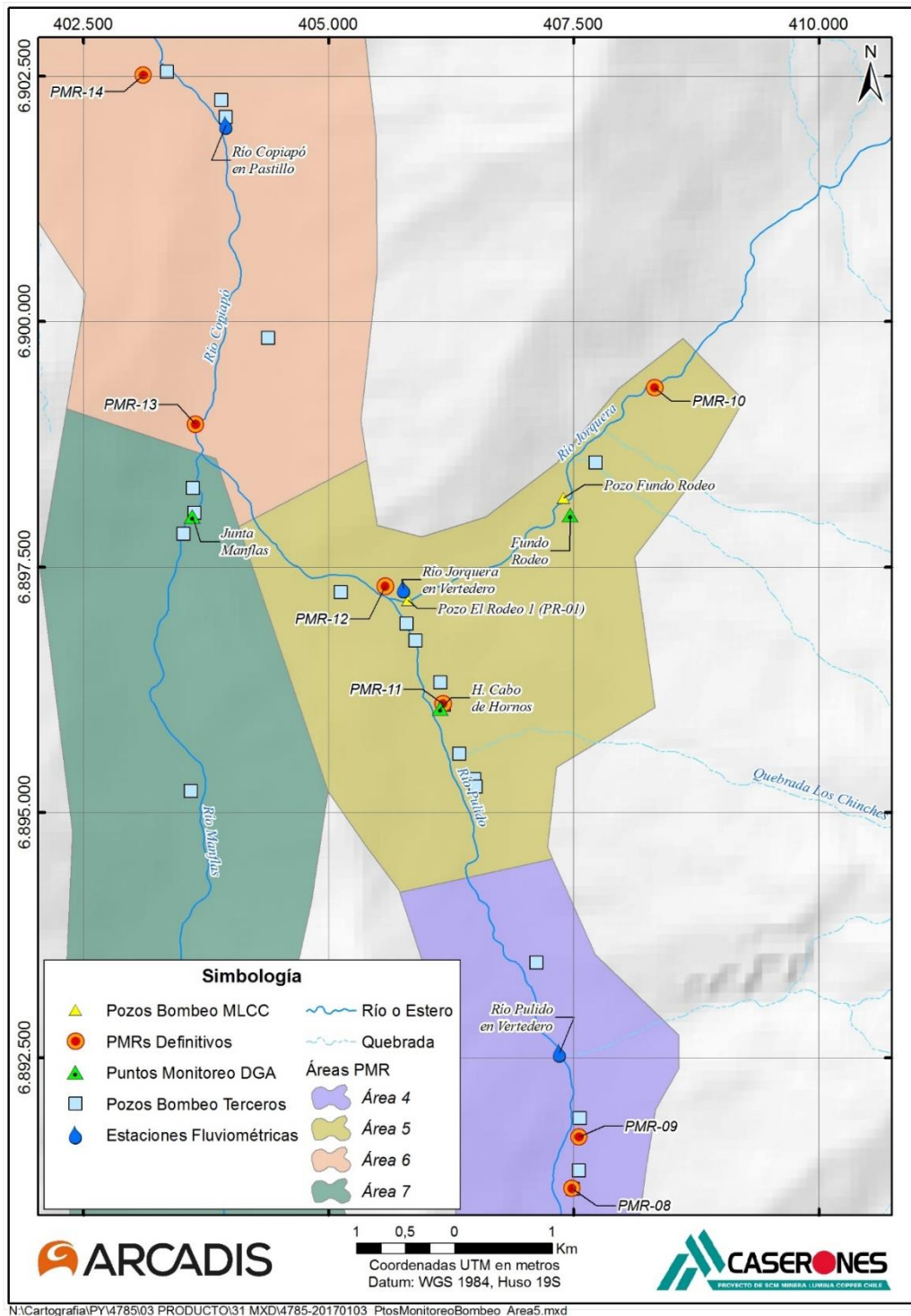
#### 4.1.2 Pozo PMR-12

El pozo PMR-12 se ubica en la confluencia de los ríos Pulido y Jorquera, en la zona correspondiente al Área 5 del proyecto (ver Figura 4-5). El análisis de niveles piezométricos considera dos pozos de extracción asociados a SCM MLCC, de los cuales sólo el pozo El Rodeo 1 (PR-01, más cercano al PMR-12), bombea desde septiembre de 2014. Por su parte, el pozo Fundo Rodeo (PRD-1) no ha realizado ninguna extracción desde que se construyó (deshabilitado). Otras variables incluidas en este análisis corresponden a dos estaciones fluviométricas cercanas: río Jorquera en Vertedero, ubicada aproximadamente 190 m aguas arriba del punto PMR-12 y río Pulido en Vertedero, localizada a 5 km aproximadamente aguas arriba de PMR-12, tres estaciones pluviométricas más cercanas a la zona (Manflas Hacienda, Iglesia Colorada y Lautaro Embalse), algunos pozos de terceros identificados en el área, los cuales fueron

---

clasificados de acuerdo a su cercanía con los pozos de monitoreo circundantes al PMR-12 (PMR-10, PMR-11 y PMR-13).

**Figura 4-5: Ubicación de PMR-12**



Fuente: Informes trimestrales, elaborado por Arcadis.

Es pertinente considerar en este análisis que el pozo PMR-12 fue habilitado a comienzos del año 2016, por lo que no hay información histórica de nivel. Al contrastar la información del pozo de bombeo de SCM MLCC (PR-01) con los niveles del pozo de medición PMR-12 (ver Figura 4-6), se puede apreciar que aquellos meses con mayor extracción no implican una disminución clara en los niveles. En efecto, si se compara el primer año de medición de niveles en PMR-12 (marzo 2016 a enero 2017), la extracción promedio es mayor a la registrada en el último año (marzo 2018 – enero 2019), sin embargo, en dicho periodo los niveles piezométricos aumentaron, a diferencia de lo que ocurrió en el último año.

En la Figura 4-6 se aprecia que la evolución de niveles del pozo PMR-11 (pozo de control del área 4) indica una clara tendencia al alza a partir de marzo de 2018, en tanto que para el mismo período la evolución del nivel del pozo PMR-12 es de descenso. Esta situación indicaría que el descenso de nivel evidenciado en el PMR-12 no está condicionado por un efecto derivado de las extracciones de las áreas ubicadas en la parte superior de la cuenca, descartándose así un efecto derivado de la operación de los pozos CCH-1 al CCH-5.

En la cuenca del río Pulido, aguas abajo del pozo PMR-11, se ubican 4 pozos de terceros según se detalla en la Tabla 4-1. Se puede observar que el total de derechos de aprovechamiento de agua subterránea en el sector del río Pulido ascienden a un caudal de 213 L/s, donde los derechos de SCM MLCC equivalen a un caudal de 25 L/s, es decir, un 11,7 % de los derechos en el sector. Por otra parte, en el caso del sector del río Jorquera el total de derechos alcanza los 140 L/s, en tanto los derechos de MLCC ascienden a 55 L/s, los cuales, a la fecha, no están en uso.

**Tabla 4-1: Pozos de extracción cuenca río Pulido y Jorquera**

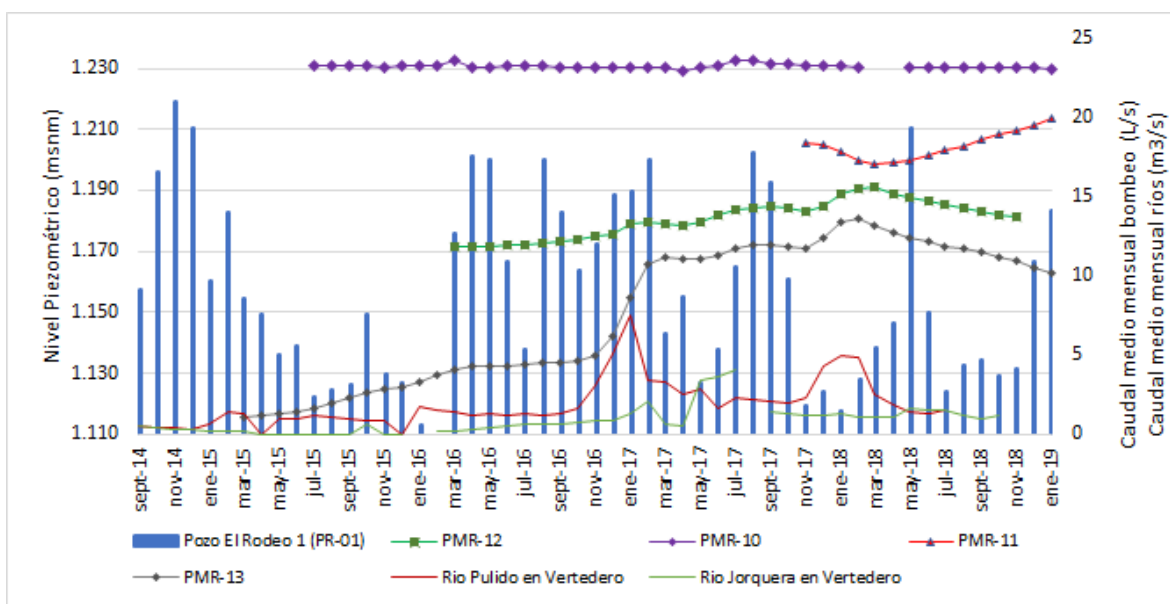
Pozo	Cuenca	Q Derecho [l/s]
PO-96	Pulido	80
PO-103	Pulido	15
PO-136	Pulido	48
PO-120	Pulido	45
PR-01	Pulido	25
<b>Total</b>	<b>Pulido</b>	<b>213</b>
PO-117	Jorquera	85
PRD-01	Jorquera	55
<b>Total</b>	<b>Jorquera</b>	<b>140</b>

Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

De acuerdo con lo anterior, existen antecedentes que explicitan que la influencia de los derechos de terceros en el sector es mayor a la de SCM MLCC (11,7 % en río Pulido).

Al incluir la información del pozo PMR-13 (el cual presenta una tendencia similar al PMR-12) y los caudales observados en las estaciones fluviométricas cercanas, se percibe que lo registrado en el punto PMR-12 sigue un comportamiento similar a la suma de los caudales provenientes de ambos ríos, en particular, las leves alza más notorias se asocian a los *peaks* de caudales en río Pulido (meses estivales del año 2017 y 2018) y de río Jorquera (en los meses pluviales del año 2017). Es importante señalar que las crecidas estivales de río Pulido se vinculan a derretimiento de nieve, mientras que la crecida invernal de río Jorquera coincide con los eventos de precipitación en mayo de 2017 (Figura 4-8).

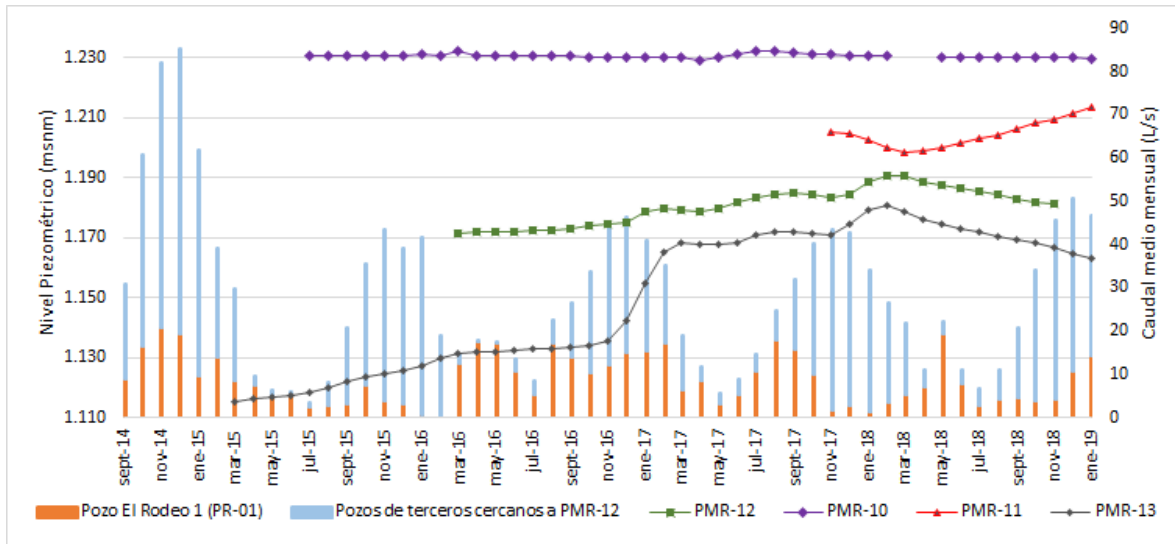
**Figura 4-6: Comparación entre nivel piezométrico PMR-12 y caudales bombeados por SCM MLCC**



Fuente: Elaborado por Arcadis 2019.

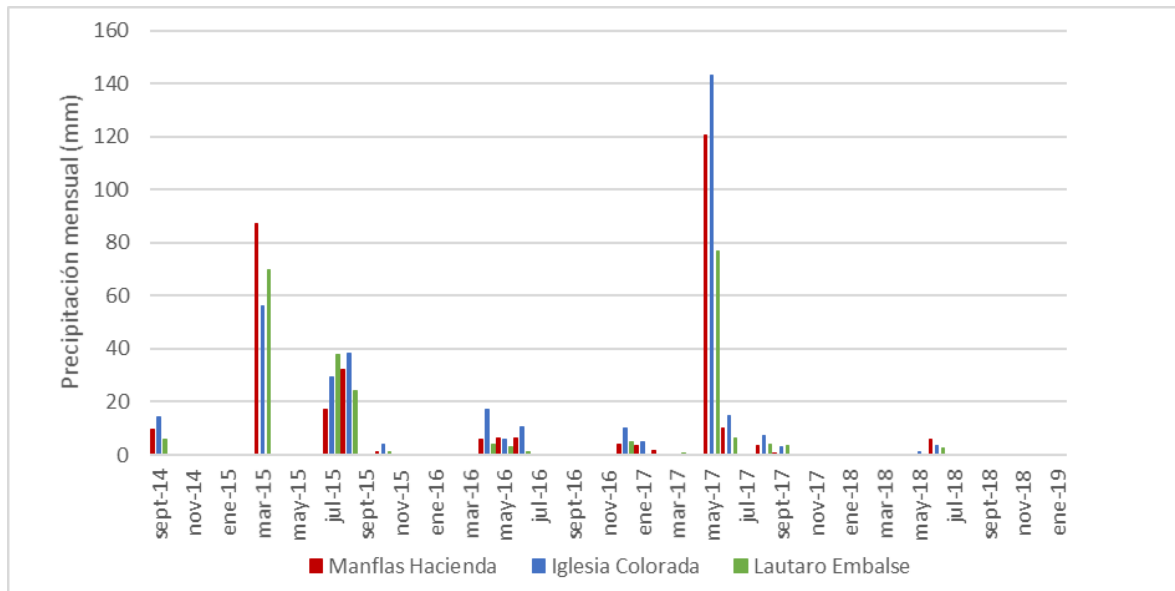
Si se hace la misma comparación entre lo bombeado por pozos de terceros cercanos al PMR-12 para el periodo inicial (marzo 2016 – enero 2017) y el periodo final (marzo 2018 – enero 2019), se tiene que los valores de caudal medio mensual extraído fueron de 12,5 L/s y 18,1 L/s, respectivamente (valores de caudal extraído estimados en Actualización 2018), es decir, se observa un aumento en dichas extracciones.

**Figura 4-7: Comparación entre nivel piezométrico PMR-12, caudales bombeados por SCM MLCC y caudales bombeados por terceros cercanos a PMR-12**



Fuente: Elaborado por Arcadis 2019.

**Figura 4-8: Estaciones pluviométricas cercanas a PMR-12 (septiembre 2014 – enero 2019)**

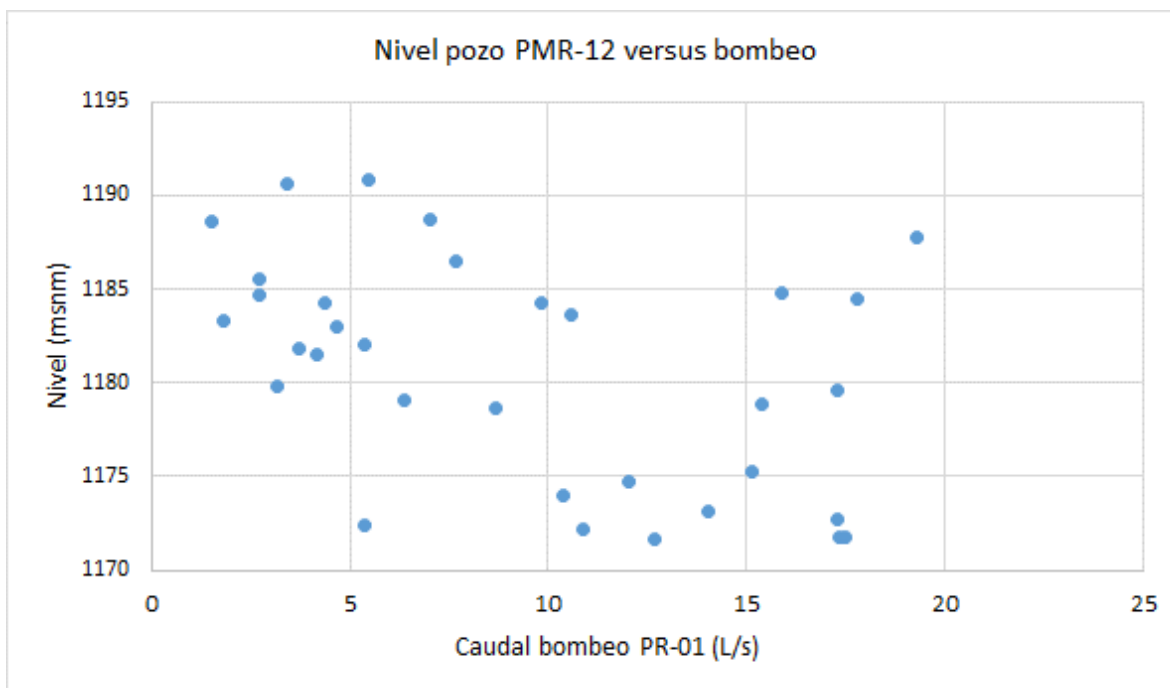


Fuente: Elaborado por Arcadis 2019.

Por otro lado, y dado que sólo se tiene información fluviométrica del río Pulido hasta julio de 2018, no es posible determinar concretamente que el alza se relacione al flujo del río, sin embargo, es posible concluir que en esta zona los niveles se comportan de acuerdo con el caudal que transcurre por los ríos cercanos respectivos y eventualmente a extracciones de terceros. En efecto, en la Figura 4-9 se muestra la relación entre el nivel

registrado y el caudal bombeado en el área, donde se observa que no existe una relación directa entre ambas variables.

**Figura 4-9: Relación nivel observado pozo PMR-12 y caudal extraído pozo PR-01**



Fuente: Elaborado por Arcadis 2019.

Por último, señalar que, en los últimos años, luego del evento ocurrido en mayo de 2017, no se han registrado precipitaciones. El pozo PMR-12 comenzó su medición posterior al evento del año 2015, y, por lo tanto, los registros reflejan una situación hidrológica “atípica” para la zona. En los gráficos mostrados se observa cómo el nivel de este pozo aumentó paulatinamente, especialmente luego del evento de 2017, y, por tanto, el nivel proyectado por el modelo reflejará dicho comportamiento.

## 4.2 Resultado simulaciones para distintos escenarios

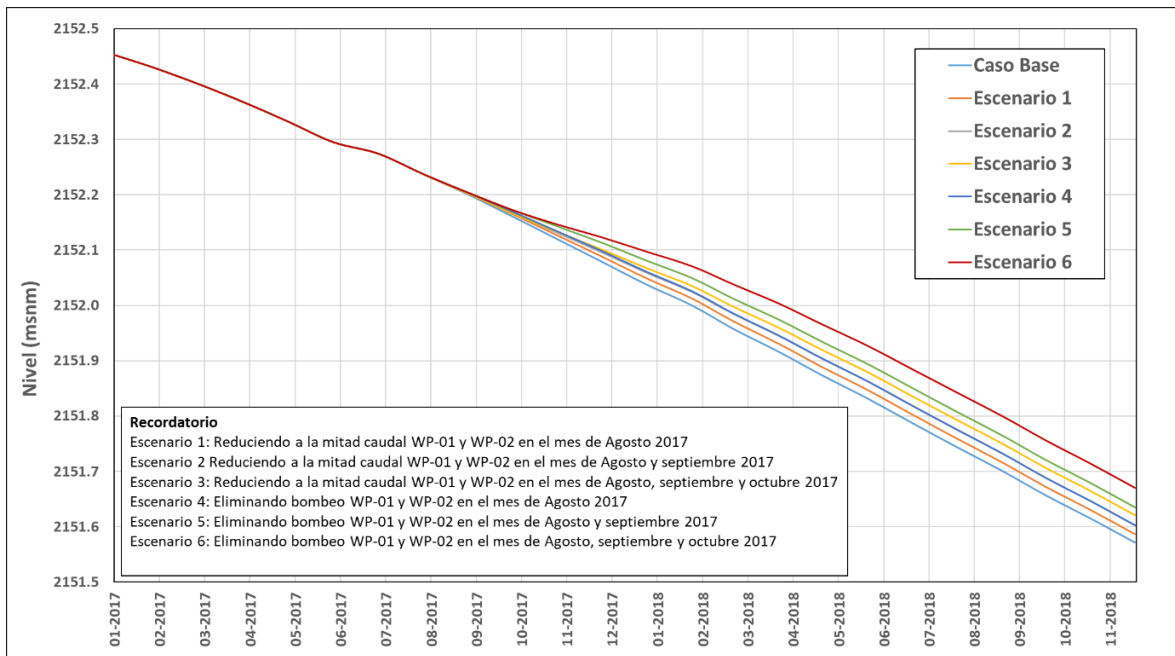
Los resultados al aplicar las condiciones de extracción antes señaladas (ver sección 3.5) para cada escenario, se presentan en la Figura 4-10, Figura 4-11 y Figura 4-12.

En la Figura 4-10 se puede ver que el efecto de variar los escenarios de extracción en torno al pozo PMR-01 es poco significativo. El valor máximo de variación del nivel con respecto al caso base es de 10 cm, alcanzado por el escenario 6.

En la Figura 4-11 se grafica el nivel simulado usando el modelo 2018, obteniéndose valores del nivel similares tanto en los escenarios propuestos como el caso base.

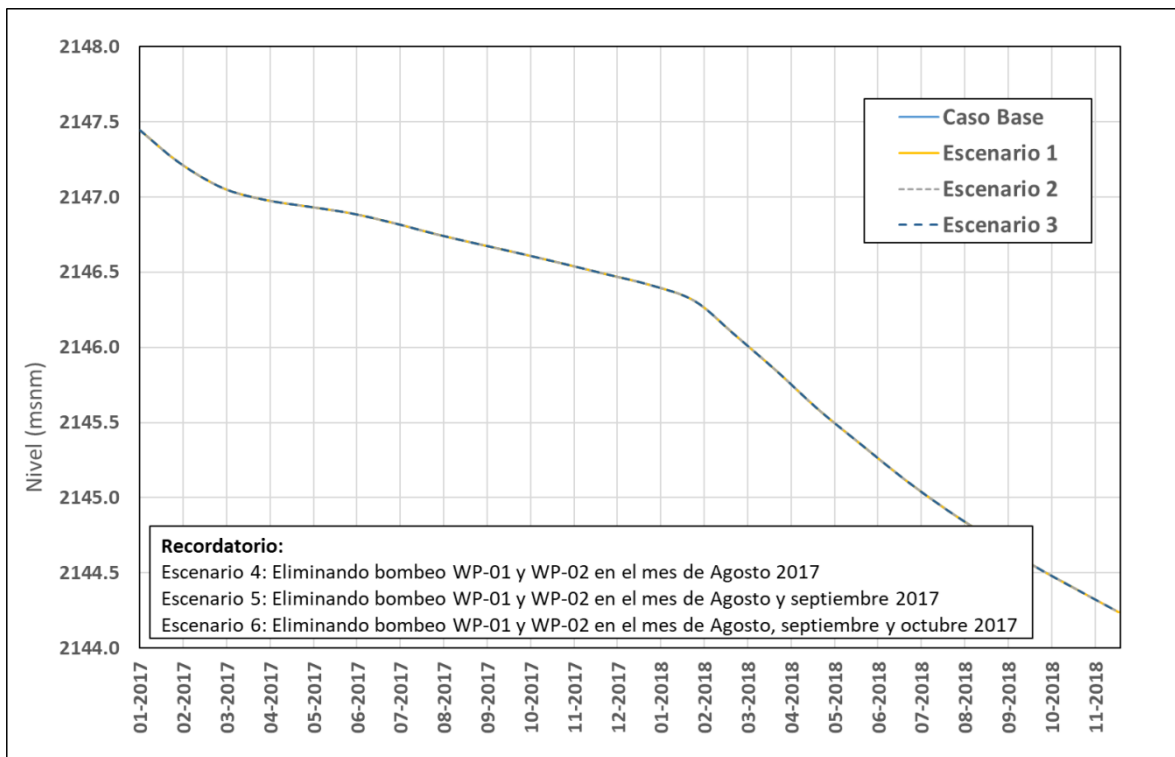


**Figura 4-10: Niveles simulados en pozo PMR-01, Modelo Act. 2017 (ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

**Figura 4-11: Niveles simulados en pozo PMR-01, Modelo Act. 2018 (ACL).**



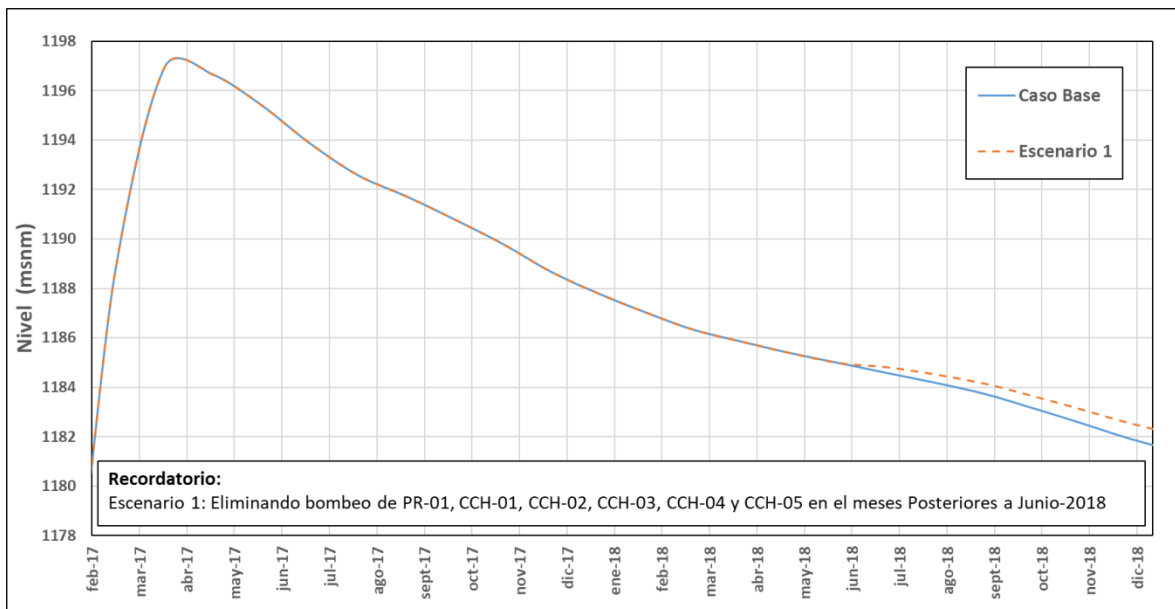
Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Se puede señalar que, a pesar de que el modelo 2018 es menos sensible que el modelo 2017 a los escenarios de extracción propuestos, se registra una activación del PMD solo en los meses de septiembre y noviembre. Esto refuerza la hipótesis planteada en el informe trimestral agosto-octubre 2017, sobre las deficiencias del modelo usado.

Respecto a los resultados para el pozo PMR-12, la Figura 4-12 muestra los niveles considerando la disminución en el bombeo, donde se observa que no hay mayores diferencias en el nivel proyectado. La máxima variación en el nivel proyectado con respecto a la simulación original (caso base) es de aproximadamente 70 cm, y se alcanza en el último mes de simulación.

Es decir que, si se hubiesen ejecutado las acciones de disminuir el caudal, incluso considerando un escenario conservador (eliminando el bombeo en 6 pozos), el nivel del acuífero medido en esta zona se mantiene con la misma tendencia.

**Figura 4-12: Niveles simulados en pozo PMR-12, Modelo Act. 2018(ACL).**



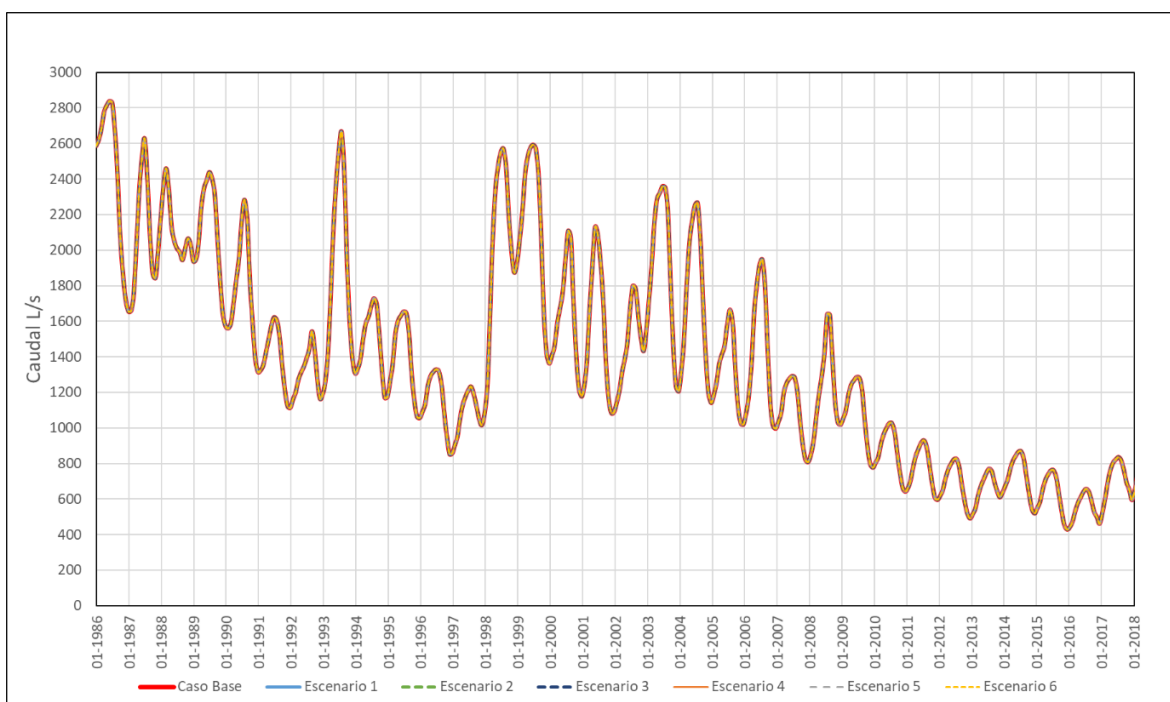
Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

Adicionalmente, es pertinente señalar que los resultados muestran que, si bien se tiene en general que el descenso proyectado con los distintos escenarios propuestos es menor al del caso base (Simulado, con proyecto originalmente), se sigue manteniendo la activación de los pozos. Esto se debe principalmente a que la metodología de cálculo de la activación mide una diferencia de descensos entre los valores registrados y los simulados, por lo tanto, al obtenerse menores descensos con los escenarios propuestos, la diferencia entre descensos (registrado y proyectados) se hace mayor, provocando con mayor certeza la activación.

Adicionalmente, se evaluó el efecto en el sector La Puerta, lugar donde ocurre el afloramiento de las aguas subterráneas. En todo el periodo de análisis, el efecto corregido sobre el caudal en La Puerta no supera los 310 L/s, situación que se mantuvo mientras estuvo activo el PMD. Por último, se verificó en cada escenario simulado que las salidas del sistema (afloramientos en el sector La Puerta) no variaran con respecto al caso base, cuyos resultados se muestran en la Figura 4-13 y la Figura 4-14.

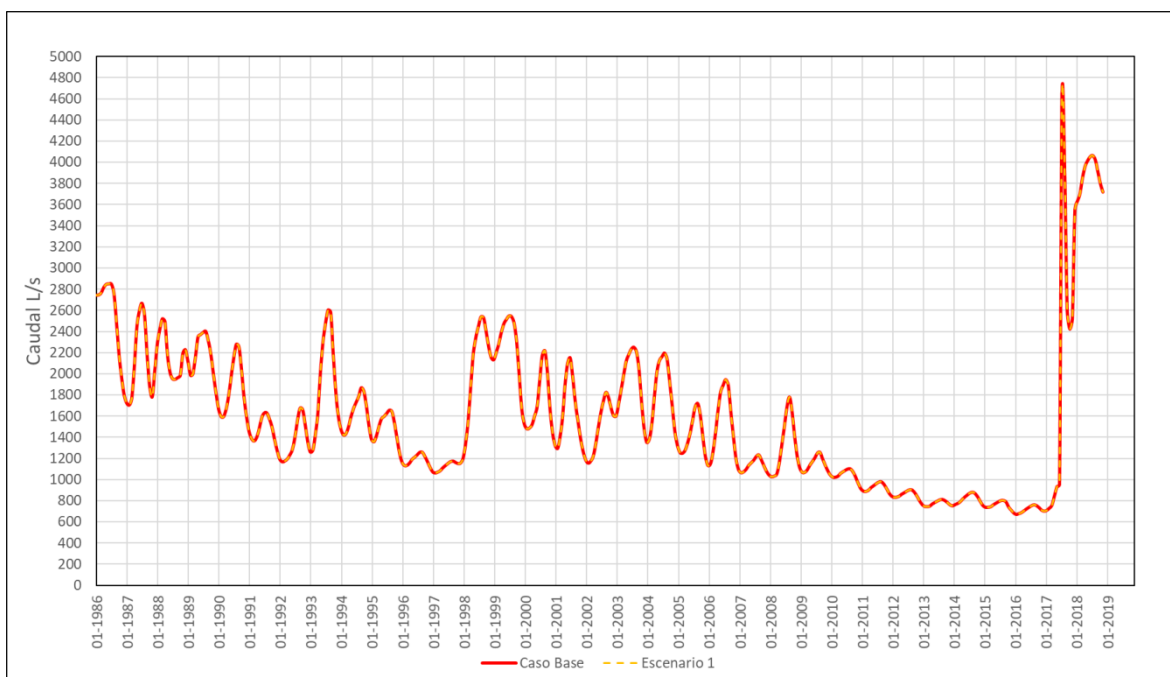
Por lo tanto, si bien hubo activación del PMD, el caudal aflorado en el sector La Puerta no se vio afectado.

**Figura 4-13: Afloramientos, sector la puerta, Modelo Act. 2017(ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

**Figura 4-14: Afloramientos, sector la puerta, Modelo Act. 2018(ACL).**



Fuente: Elaborado por Arcadis, 2019.

## 5 CONCLUSIONES

En el contexto de la activación del PMD en los pozos PMR-01 y PMR-12, se analizaron los efectos de disminuir las extracciones en el modelo numérico con el fin de determinar si el no haber realizado una modificación en las extracciones en los pozos WP-01 y PR-01 generó o no algún efecto negativo. Básicamente se analizaron dos tipos distintos de escenarios:

- 50% de disminución del caudal de extracción en pozos de bombeo aledaños al pozo PMR-01 en los meses sucesivos a la activación del PMD
- Eliminación completa del caudal de extracción en pozos aledaños al pozo PMR-01 y PMR-12 en los meses sucesivos a la activación del PMD

En vista de los resultados, es posible concluir que el modelo en general es poco sensible al caudal de extracción en estas zonas, básicamente por la distancia que existe desde los puntos de extracción hasta los puntos de monitoreo. Esto se relaciona con lo planteado en el análisis, donde se infiere que el comportamiento del nivel en los pozos está relacionado más bien con variables como lo son la precipitación y caudal de los ríos.

Particularmente el pozo PMR-01, presenta activación desde el mes de agosto del año 2017 hasta octubre del mismo año en la modelación, incluso realizando cambios en el bombeo por parte de MLCC (disminuyéndolo a la mitad dicho bombeo y eliminándolo). La

razón por la cual ocurre este efecto puede deberse a que la construcción de la geometría del modelo numérico presentaba poca información real y sólo se disponía de datos obtenidos por el modelo de la DGA y el modelo original. Esta geometría será ajustada en la actualización 2019, con datos robustos de litología y pruebas de bombeo de pozos actualmente construidos en esa zona.

En el caso del pozo PMR-12, a pesar de que se realizaron simulaciones eliminando el bombeo en 6 pozos pertenecientes a MLCC, el modelo no muestra variaciones considerables en los niveles proyectados en comparación con los niveles registrados. Eso puede deberse a que el modelo está altamente condicionado por la recarga incorporada, la cual causa un efecto regulador, evitando que los niveles varíen abruptamente como lo hacen los niveles registrados.

La evaluación de los distintos escenarios simulados muestra que el nivel del pozo PMR-01 y PMR-12 se mantiene en un rango similar al registrado en situación original (activación del PMD y extracción realizada por SCM MLCC). Adicionalmente, al analizar los niveles en otros pozos de monitoreo cercanos se visualiza un comportamiento estable, con oscilaciones asociadas a la estacionalidad (aumento en caudal del río y extracciones de terceros por uso en temporada de riego).

Por lo tanto, respecto al cargo N° 14, se concluye que no hay efectos producto de no haber activado el PMD, toda vez que los niveles observados en el periodo 2017 y 2018, en las áreas 1 (PMR-01) y área 5 (PMR-12) se han mantenido dentro de los rangos históricos observados, y, adicionalmente, no se ha generado un efecto en el caudal de afloramiento en el sector La Puerta producto de las extracciones, manteniéndose el efecto sobre este sector bajo el umbral establecido.

## 6 REFERENCIAS

- ARCADIS (2018). Modelo hidrogeológico cuenca alta del río Copiapó. Actualización 2018 (Diciembre 2016 a diciembre 2017)
- ARCADIS (2018). Monitoreo y reportabilidad de proyecto Caserones asociados al Valle de Copiapó. Informe trimestral mayo-julio 2018.
- ARCADIS (2018). Monitoreo y reportabilidad de proyecto Caserones asociados al Valle de Copiapó. Informe trimestral agosto-octubre 2018.
- ARCADIS (2017). Monitoreo y reportabilidad de proyecto Caserones asociados al Valle de Copiapó. Informe trimestral agosto-octubre 2017.
- COREMA Región de Atacama (2010) Resolución de Calificación Ambiental (RCA, 013/2010). Proyecto Caserones
- DGA (2003). Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del río Copiapó, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación
- Doherty, J. (2016). Model-Independent Parameter Estimation User Manual Part I: PEST, SENSAN and Global Optimisers. 6th Edition Published in 2016. Watermark Numerical Computing.
- HIDROMAS (2013). Actualización de a modelación integrada y subterránea del acuífero de la cuenca del río Copiapó. 245 p.
- MLCC, 2008. Proyecto Caserones (Estudio de Impacto Ambiental). Anexo VI-4.
- MLCC, 2015. Plan de Monitoreo Robusto Recurso Hídrico Cantidad.
- SEA (2012). Documento guía para modelación de aguas subterráneas en el SEIA, Servicio de Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile
- SITAC (2009). Modelo Hidrogeológico, Anexo VI-4, Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Caserones Adenda 3.
- SRK (2016). Modelo hidrogeológico Cuenca Alta del Río Copiapó, Actualización 2015 (Diciembre 2013 a Diciembre 2014), Proyecto Caserones, SCM Minera Lumina Copper Chile, Número Proyecto SRK 02-2161-07