



ORD : 117/

ANT. :

1. Resolución Exenta N°1/D-014-2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente, del 05 de Mayo de 2015, que formula cargos a Compañía Minera Maricunga S.A.
2. Oficio Ord. D.S.C. N°756 de la Superintendencia del Medio Ambiente, del 08 de Mayo de 2016.
3. Expediente de sanción D-014-2015 del proyecto/instalación KINROSS-REFUGIO.
4. Expediente de fiscalización DFZ-2015-8-III-RCA-IA del proyecto/instalación KINROSS-REFUGIO.
5. Resolución Exenta N°5/D-014-2015 de la superintendencia del Medio Ambiente, del 19 de Junio de 2015, que solicita integrar formalmente al análisis los descargos y documentos Anexos presentados por Compañía Maricunga S.A. en contra de la Resolución Exenta N°1/D-014-2015.

MAT. :

Se pronuncia acerca de la situación actual de las extracciones de agua subterránea desde el campo de pozos de Pantanillo y su relación con el estado de la vegetación del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda.

INCL. :

1. ANEXO con datos meteorológicos y fluviométricos de la subcuenca Ciénaga Redonda (digital).
2. CD con documentación complementaria.

SANTIAGO, 04 de diciembre de 2015

**DE: MÓNICA MUSALEM JARA
JEFA DEPTO. DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

A: SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

En el Resuelvo VIII de la Resolución Exenta N°1/D-014-2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), del 05 de Mayo de 2015, se procedió a oficiar a este Servicio, para que se pronuncie "acerca de la situación actual de las extracciones de agua subterránea desde el campo de pozos de Pantanillo y su relación con el estado de la vegetación del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda.". Además, a través de la Resolución Exenta N°5/D-014-2015, la SMA pidió a este Departamento que "integre al pronunciamiento técnico requerido en el Resuelvo VIII de la Resolución Exenta N°1, previamente individualizada, el análisis del contenido de los descargos y documentos anexos que correspondan", esto en atención a los antecedentes incluidos por el titular Compañía Minera Maricunga S.A. (CMM) en su formulación de descargos. Sobre estos requerimientos, este Departamento informa lo siguiente:

1. Documentación revisada:

Mediante el Ord. D.S.C. N°756 de la SMA, del 08 de Mayo de 2015, dicho Servicio remitió íntegramente los siguientes antecedentes: (i) los documentos individualizados en el Considerando 22 de la Resolución Exenta N°1/D-014-2015, a saber: "una versión revisada de los modelos numéricos Pantanillo, que sustentan el memorándum técnico 0992155008-Mt025-20 Oct. 2010 – Anexo R – Modelo Flujo de Agua Subterránea en Campo de Pozos Pantanillo", y el software "Groundwater Modeling System" (GMS), de Aquaveo, número de serie GMS-01879, (ii) el Informe de Fiscalización Ambiental DFZ-2015-8-III-RCA-IA y sus Anexos, junto con la información de seguimiento ambiental analizada en dicho informe, y (iii) la denuncia efectuada por el Ministerio de Medio Ambiente.

Se ha procedido con la revisión y análisis técnico de los antecedentes entregados y de la información complementaria que se ha considerado relevante. A continuación, se describe brevemente el trabajo de revisión realizado.

1.1. Resoluciones de Calificación Ambiental de proyectos relacionadas con el presente análisis

- RCA N°002/1994, de la COREMA de la III Región, que aprobó ambientalmente el EIA 'Proyecto Minero Refugio'
- RCA N°032/2000, de la COREMA III Región, que aprobó ambientalmente la DIA 'Modificación Proyecto Refugio'
- RCA N°004/2004, de la COREMA III Región, que aprobó ambientalmente la DIA 'Modificación Instalaciones y Diseños Proyecto Refugio'
- RCA N°268/2009, de la COREMA III Región, que aprobó ambientalmente la DIA 'Optimización Proceso Productivo Proyecto Refugio'
- RCA N°045/2011, de la Comisión de Evaluación de la III Región, que aprobó ambientalmente la DIA 'Modificación Proyecto Minero Refugio Racionalización de la Operación Mina Planta'

1.2. Análisis de la Tendencia Histórica de Vegetación Azonal Hídrica sector Ciénaga Redonda, Barros Negros y Pantanillo. Altiplano Región de Atacama (SAG, 2013)- Denuncia efectuada por el Ministerio de Medio Ambiente

Este documento presenta antecedentes técnicos que sustentan los cambios temporales (1995 a 2012) y espaciales de la condición hídrica de las vegas presentes en el corredor biológico que une la Laguna Negro Francisco con el Salar de Maricunga. Las vegas incluidas son Ciénaga Redonda, Valle Ancho y Pantanillo.

1.3. Antecedentes hidrogeológicos relevantes en la zona de estudio

1.3.1. Análisis de la situación hidrológica e hidrogeológica de la cuenca del Salar de Maricunga, III Región¹. S.D.T. 225(DGA, 2006)

Este estudio se refiere al balance hídrico de la cuenca Ciénaga Redonda y la factibilidad de constituir derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas en la zona. Con estos objetivos, el documento define un modelo conceptual del acuífero que incluye la descripción de interacción con las vegas presentes. El informe concluye señalando que cualquier extracción disminuirá el nivel freático y con ello disminuirá la superficie evaporante y recomienda no constituir nuevos derechos de aprovechamiento y elaborar un modelo numérico para predecir los efectos de los bombeos.

1.3.2. Mapa Hidrogeológico de la cuenca Salar de Maricunga: Sector Ciénaga Redonda² (SERNAGEOMIN, 2000)

Este documento presenta una descripción de la subcuenca sector Ciénaga Redonda de la cuenca hidrográfica Salar de Maricunga. Incluye la definición de sus límites, su geología, su

¹Documento disponible en línea: <http://documentos.dga.cl/REH5045.pdf>

²Documento incluido como respaldo digital en el CD adjunto a este Oficio

litología y las propiedades hidrogeológicas que definen los acuíferos intergranulares existentes en la zona. El mapa presenta un perfil hidrogeológico longitudinal al valle Ciénaga Redonda donde se propone una distribución vertical de los materiales depositados en la subcuenca, la ubicación del nivel freático y la ubicación de las vegas existentes en la zona. En el numeral 3.2 de este Oficio se analiza en mayor profundidad este antecedente.

1.3.3. Memorando Técnico "Modelación Flujo de Agua Subterránea en Campo de Pozos Pantanillo, Mina Maricunga, III Región, Chile" (GolderAssociates, 2010)

El documento de Golder 2010, elaborado para Kinross Gold, presenta los resultados de un "modelo preliminar" de flujo de agua subterránea que tiene por objetivo evaluar en forma cuantitativa los efectos derivados de la denominada "operación actual" (2005 a 2010) y "operación futura" (2010 a 2017), planificada para el campo de pozos Pantanillo, el cual abastece de agua la operación de la Mina Maricunga.

1.3.4. Modelo de Flujo de Agua Subterránea en Campo de Pozos Pantanillo, desarrollado en el software "Groundwater Modeling System" (GMS)

Esta herramienta matemática es el respaldo del Memorando Técnico "Modelación Flujo de Agua Subterránea en Campo de Pozos Pantanillo, Mina Maricunga, III Región, Chile" (Golder Associates, 2010). El área de estudio del modelo numérico de flujo comprende parte del valle Ciénaga Redonda. Hacia el norte, el modelo limita poco antes de la vega Valle Ancho. Por el sur-oeste, el modelo llega hasta el estrechamiento del cauce del río Astaburuaga en su camino a la Laguna del Negro Francisco. Por el sur, el modelo abarca parte de la cabecera del río Astaburuaga. El área modelada incluye la vega Pantanillo y los humedales del río Astaburuaga, como los únicos Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT). Dentro del numeral 0 de este Oficio se profundiza la revisión del modelo de flujo.

1.3.5. Informe Técnico "Caracterización Hidrogeológica Sistema Acuífero Ciénaga Redonda" (HIDROMAS, 2015)

Este documento fue presentado como Anexo 1 en los descargos de CMM en Junio de este año y ha sido revisado con motivo de la elaboración del presente Oficio. Dicho Anexo incluye datos de caudales de bombeo y de niveles de los pozos RA-1 y RA-2, en períodos que complementan los antecedentes conocidos por este Departamento, así como también complementan los datos entregados previamente por la SMA a este Servicio. Resulta relevante señalar que el Informe Técnico valida el Informe DGA 2006, mencionado antes en el punto 1. En el numeral 3.4.4 de este Oficio se formulan observaciones a este antecedente.

1.3.6. Informe de Fiscalización Ambiental (SMA), código DFZ-2015-8-III-RCA-IA, y sus Anexos

Este informe presenta los resultados de las actividades de fiscalización realizadas por la SMA en noviembre de 2014. Incluye antecedentes relevantes en cuanto a niveles freáticos medidos en el acuífero y describe la condición seca en que se encuentran distintos sectores de las vegas en el corredor biológico. Para la vega Pantanillo se informa la inexistencia de afloramientos y reporta profundidad del agua entre 3 y 4 metros bajo la superficie del terreno.

2. Acerca de la situación actual de las extracciones de aguas subterráneas desde el campo de pozos de Pantanillo:

En este apartado se informa acerca del estado actual de las extracciones de agua subterránea en el llamado "Campo de pozos de Pantanillo". Para tales fines, se ha incluido información de los derechos de agua subterránea otorgados por este Servicio, tanto en el área de Pantanillo como en el resto del área que comprende el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda.

2.1. Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda

Dentro del área denominada corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, la DGA ha constituido derechos de aguas subterráneas³ por un total de 618 l/s, los cuales se pueden

³Se incluyen en CD adjunto a este Oficio las Resoluciones de Constitución de Derechos de Aprovechamientos de Aguas Subterráneas que totalizan 618 l/s.

agrupar en dos sectores, a saber: 1) campo de pozos de Pantanillo (3 pozos con un total de 258 l/s), y 2) pozos situados al norte, entre vega Barros Negros y vega Ciénaga Redonda (4 pozos con un total de 360 l/s). En la **Tabla 1** se incluyen características generales de las extracciones autorizadas por DGA y en la **Figura 1** se indica la ubicación de los pozos relativa a las vegas existentes en la zona.

Con respecto al primer grupo, cabe señalar que el campo de pozos Pantanillo está conformado por los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, los que se ubican en el sector sur del corredor biológico, a aproximadamente 2500 metros, 1600 metros y 400 metros de la vega Pantanillo, respectivamente. Los pozos del segundo grupo se ubican en el norte del corredor biológico, siendo el pozo P-17 el más próximo a un sistema vegetacional, aproximadamente a 1800 metros al norte de vega Barros Negros.

Cabe señalar que los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en Pantanillo fueron otorgados por la DGA en Julio de 1992 y, a la fecha, no se han otorgado nuevos derechos. Esta situación fue informada a la SMA mediante el Ord. DGA Región de Atacama N°170⁴, del 09 de Marzo del 2015, donde se indica que "*de acuerdo a los registros de esta Dirección Regional, no se tienen antecedentes que den cuenta de extracciones continuas y permanentes de aguas subterráneas distintas a las captaciones que abastecen de agua fresca al referido proyecto minero.*".

Tabla 1: Derechos de aprovechamiento aguas subterráneas otorgados por DGA en el corredor Biológico Pantanillo - Ciénaga Redonda.

	ID pozo	ID expediente DGA	Nº Resolución	Ubicación Coordenadas UTM Este – Sur (WGS84, H19)	Caudal Otorgado (l/s)	Fecha constitución del derecho
Campo de Pozos Pantanillo	RA-1	ND-0302-249	284	496.408– 6.965.389	108	24/07/1992
	RA-2	ND-0302-262	283	495.499– 6.963.820	105	24/07/1992
	RA-3	ND-0302-265	282	496.792–6.966.035	45	24/07/1992
Pozo Inversiones y Asesorías en RRHH S.A.	P-17	ND-0302-556	81	500.114 – 6.985.295	170	02/04/2007
Pozo Inversiones y Asesorías en RRHH S.A.	P-18	ND-0302-556	81	500.109 –6.985.590	170	02/04/2007
Minera Anglo Cominco Limitada	P-35	N.D.-III-60	163	499.452 –6.992.934	100	27/04/1989
Minera Anglo Cominco Limitada	P-36	N.D.-III-60	163	499.353 –6.992.959	100	27/04/1989

⁴Documento incluido como respaldo digital en el CD adjunto a este Oficio

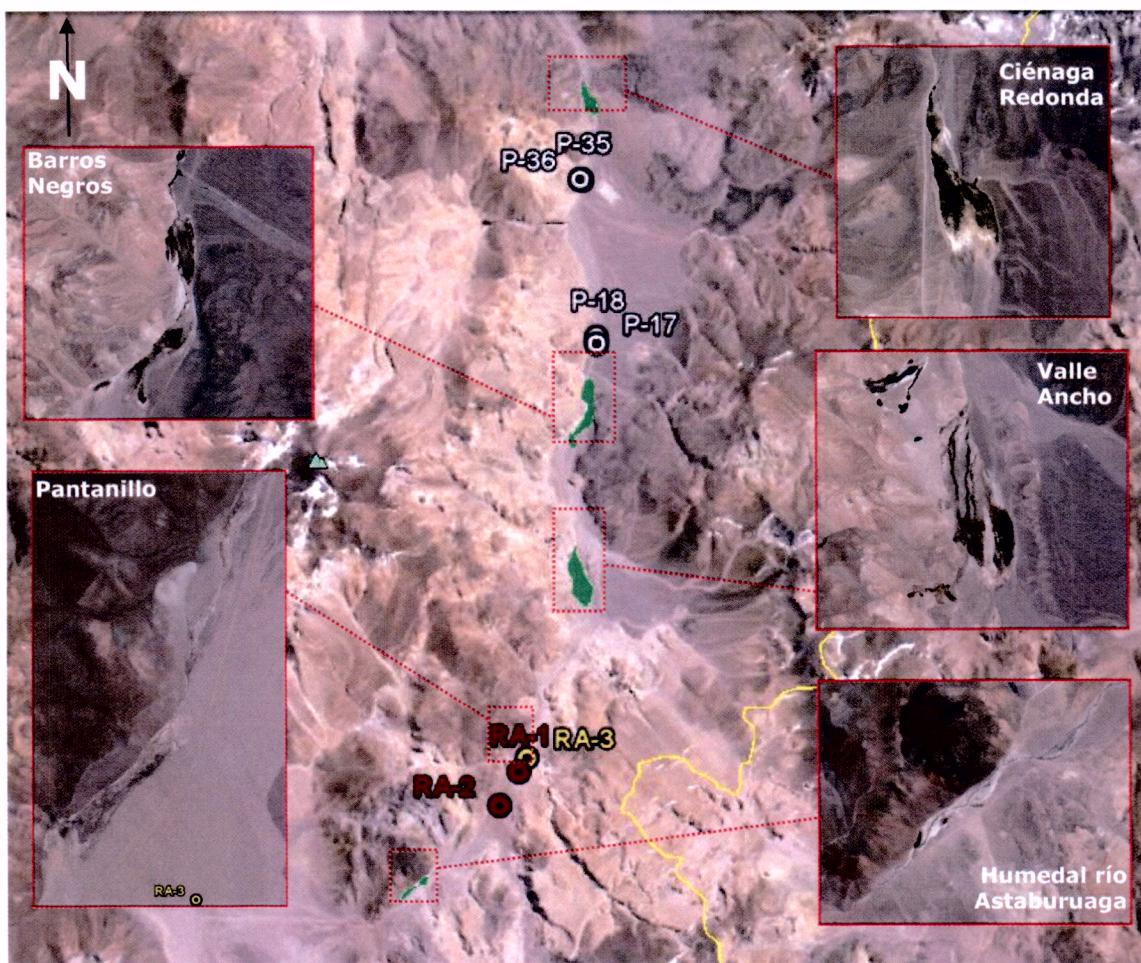


Figura 1: Ubicación de las extracciones autorizadas por DGA en el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda. Los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 corresponden al campo de pozos de Pantanillo. A modo de ubicación referencial, se muestran las principales vegas existentes en el corredor, a saber: Pantanillo, Valle Ancho, Barros Negros, Ciénaga redonda y el humedal existente en río Astaburuaga, en dirección a la Laguna Negro Francisco. (Elaboración DGA, sobre imagen Google Earth).

2.2. Registros de pozos de extracción RA-1 y RA-2 y verificación de las condiciones de las Resoluciones de Calificación Ambiental

Los siguientes extractos de Resoluciones de Calificación Ambiental dan cuenta de la autorización vigente para la explotación del campo de pozos de Pantanillo, a saber:

- RCA N°004/2004, Resuelvo N°3.3 – Letra h):

"*El consumo medio de agua será de 341 m3/h. (95 l/s).*".

- RCA N°045/2011, Considerando N°3.9.6:

"*El proyecto en evaluación no utilizará más recursos hídricos que los declarados en el Proyecto "Modificación instalaciones y diseños Proyecto Refugio", aprobado ambientalmente mediante RCA N° 004 del año 2004, de la COREMA de la Región de Atacama, es decir 95 l/seg en promedio anual.*".

En materia de seguimiento ambiental, la única exigencia de que el titular reporte datos de caudales se establece en el Considerando 3.9.6 de la RCA N°045/2011⁵, donde se expresa que "Actualmente el Titular mantiene flujómetro y piezómetro de registro continuo sobre los dos pozos de extracción, para **envío de reportes trimestrales a la DGA de cada pozo de extracción**. El Titular entregará un **reporte adicional**, en el cual informará el consumo efectivo y el proyectado con un **periodo de control de carácter anual** –enero a diciembre-. El formato propuesto se adjunta en el Anexo N° 7 de la Adenda 1". (Énfasis agregado).

⁵Revisado el expediente público del proyecto en www.sea.gob.cl, no consta el inicio de la fase de construcción.

A este respecto, este Departamento informa que el titular ha remitido mediante las cartas SMA-019-11, del 11 de Noviembre de 2011, y SMAC-033-013, del 21 de Febrero de 2013⁶, las extracciones correspondientes al periodo Enero 2009 a Septiembre 2012, informadas como caudales medios mensuales en los pozos RA-1 y RA-2.

La **Figura 2** presenta una gráfica con los caudales medios mensuales del periodo 2009-2012, extraídos desde los pozos RA-1 y RA-2, donde se verifica que el caudal medio mensual total alcanza máximos que no superan los 95 l/s, valor límite establecido en las Resoluciones de Calificación Ambiental. De acuerdo a los reportes del titular, el pozo RA-3 no ha sido utilizado.

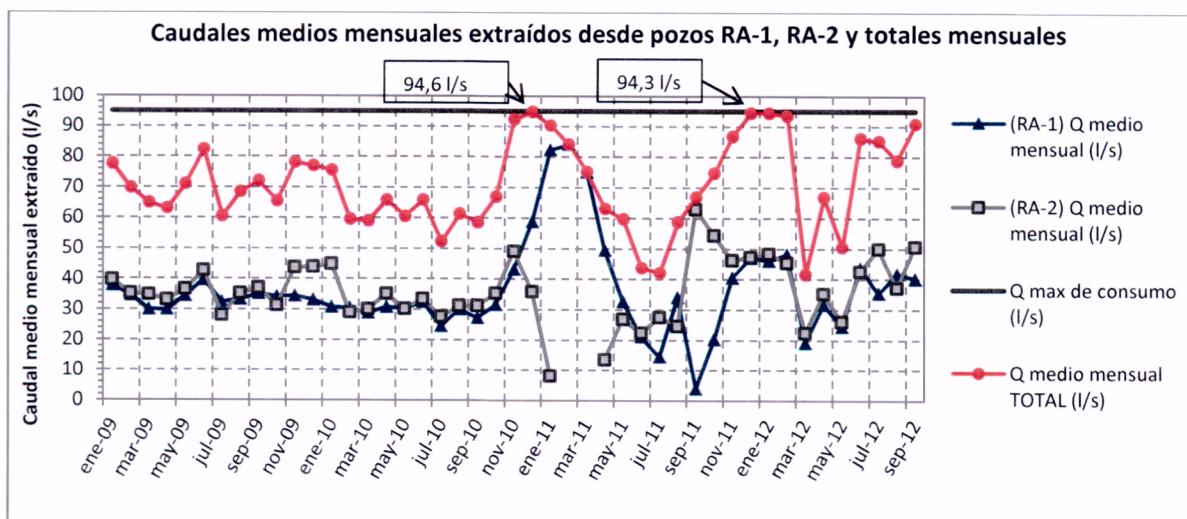


Figura 2: Caudales medios mensuales reportados para los pozos RA-1 y RA-2, en el periodo 2009-2012. (Elaboración DGA, sobre datos reportados por el titular).

Utilizando los datos reportados por el titular, se determinaron los caudales medios anuales, los cuales se grafican en la **Figura 3**.

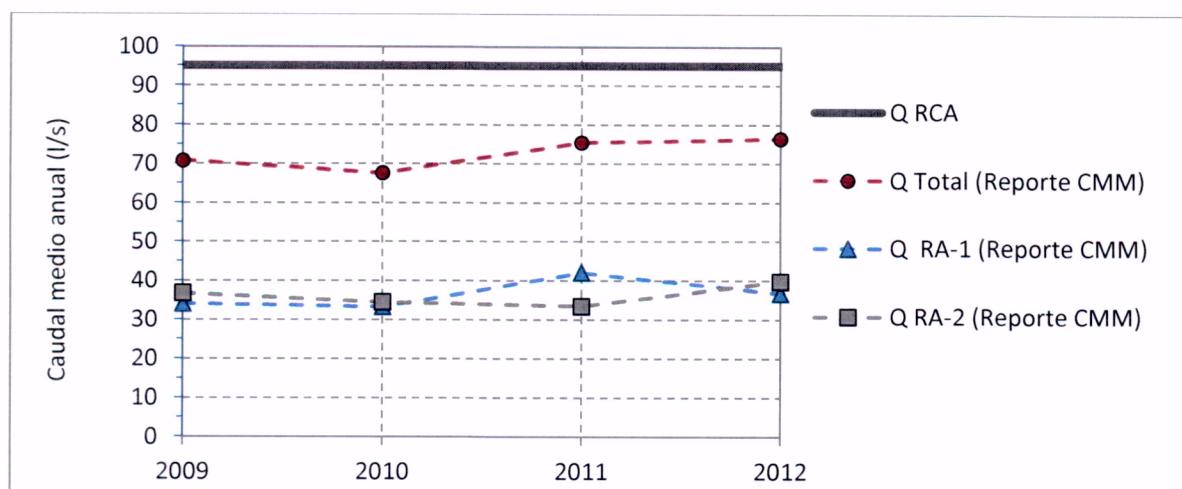


Figura 3: Caudales medios anuales extraídos desde los pozos RA-1 y RA-2 durante el periodo 2009 a 2012 (cálculos basados en datos mensuales reportados por CMM, presentados en la **Figura 2**). (Elaboración DGA, sobre datos reportados por el titular).

Por su parte, revisado el Informe Técnico "Caracterización Hidrogeológica Sistema Acuífero Ciénaga Redonda" (HIDROMAS, 2015) (antecedente 1.3.5, incorporado como Anexo 1 en los descargos del titular en el pasado mes de Junio), se observa que el titular cuenta con información extendida de caudales medios mensuales entre los años 2009 y 2015, ello sólo en el formato de gráficas de comportamiento.

Se verificó para el periodo 2009-2012 la coincidencia entre los caudales medios mensuales reportados por el titular a la DGA en Febrero de 2013 y los caudales medios mensuales extraídos visualmente desde el Anexo 1 de los descargos. De la comparación entre datos del mismo periodo antes señalado, se encontró que en el 93% de los casos la diferencia resulta menor o igual a 3 l/s (equivalente a 259 m³/d). Se consideró esta diferencia como admisible entre los datos comparados, debido a inexactitudes inherentes al proceso de lectura de la Figura 4.11 del Anexo 1 antes citado. Por otro lado, de un total de 88 comparaciones realizadas

⁶Documentos incluidos como respaldo digital en el CD adjunto a este Oficio

con los datos de caudales medios mensuales, se encontraron 6 casos (7%) con una diferencia mayor a ± 3 l/s, las que se consideran diferencias mayores, no atribuibles a inexactitudes inherentes a la inspección visual. La **Figura 4** muestra que, para el pozo RA-1, las mayores diferencias ocurren en los meses de Febrero y Agosto de 2011, mientras que, para el pozo RA-2, éstas se detectaron en los meses de Mayo-2009, Octubre-2009, Enero-2010 y Agosto-2011. En términos de extracciones totales (suma de extracciones de los pozos RA-1 y RA-2), las mayores diferencias se producen en los meses de Enero-2010 (11,8 l/s), Agosto-2011 (13,8 l/s) y Noviembre-2011 (5,6 l/s).

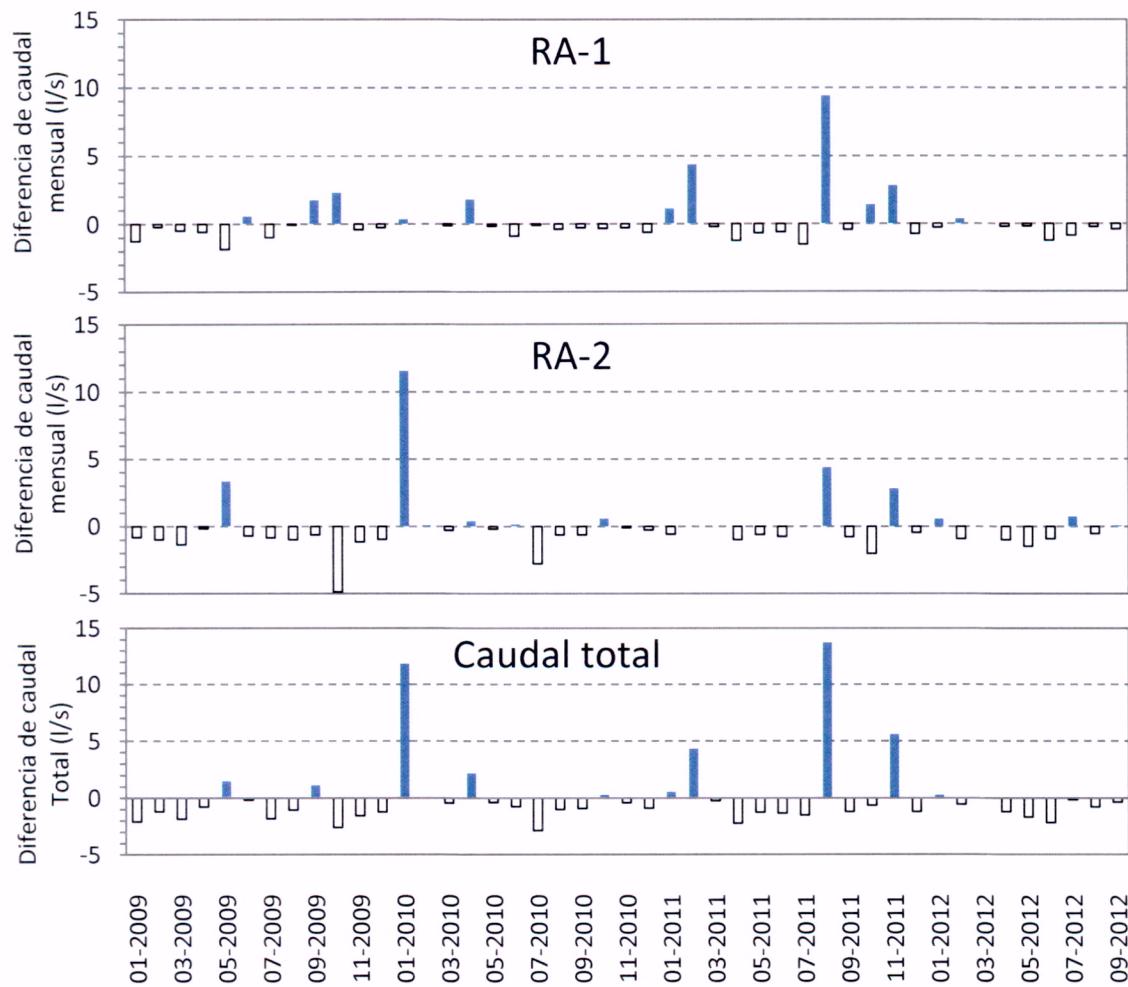


Figura 4: Diferencias entre los caudales medios mensuales explotados por CMM en los pozos RA-1 y RA-2, en base a los datos reportados por el titular a la DGA y aquellos incluidos en los descargos presentados en Junio de 2015 (extraídos de la Figura 4.11 del Anexo 1 de los descargos). De la comparación del caudal medio mensual total extraído desde el campo de pozos Pantanillo, se detectaron diferencias mayores a 3 l/s entre ambas fuentes de información, pesquisándose las mayores diferencias en Enero de 2010 (11,8 l/s), Agosto de 2011 (13,8 l/s) y Noviembre de 2011 (5,6 l/s). (Elaboración DGA).

Respecto de las extracciones totales anuales efectuadas desde el campo de pozos en Pantanillo, expresadas como promedios anuales, también se detectaron diferencias entre las dos fuentes de información proporcionadas por el titular. En la **Figura 5** se grafican los datos para el período coincidente (2009-2012), reflejando la magnitud de las diferencias existentes entre los caudales reportados por el titular a la DGA (tipificados como "Q Total (Reporte CMM)") y los informados en sus descargos (tipificados como "Q Total (Descargos)").

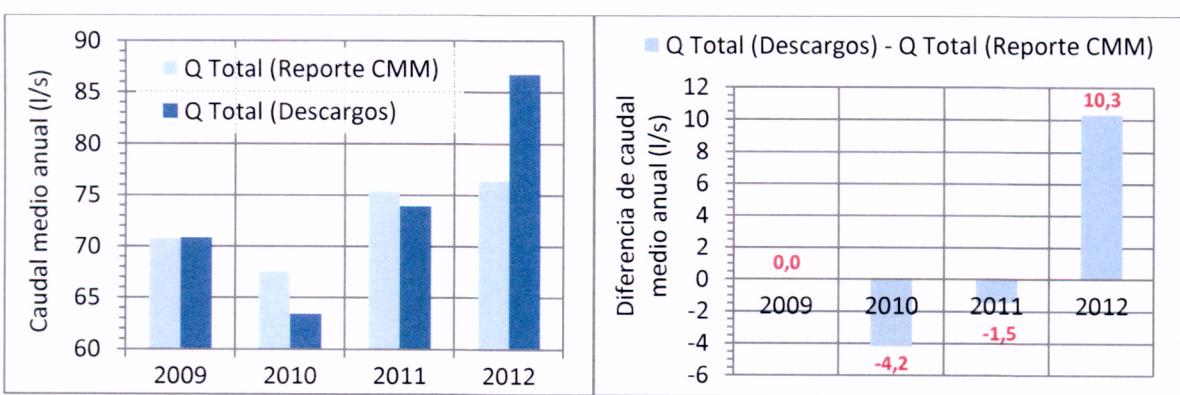


Figura 5: (Izquierda) Caudales medios anuales reportados por el titular como extracción total desde el campo de pozos en Pantanillo; Q Total (Reporte CMM) corresponde a caudales medios anuales computados a partir de los datos mensuales reportados a DGA en Febrero de 2013 y Q Total (Descargos) corresponde a los datos informados por el titular en sus descargas (Tabla 4.3 del Anexo 1, de junio de 2015). (Derecha) Diferencia entre extracciones medias anuales, estimada como: Q Total (Descargos) - Q Total (Reporte CMM); se observa que la extracción informada en los descargas resulta menor a la informada a la DGA para los años 2010 y 2011, mientras que para el año 2012 resulta mayor en un total de 10,3 l/s. (Elaboración DGA).

En base a la comparación entre los datos de extracciones de agua subterránea desde el campo de pozos Pantanillo, se puede señalar lo siguiente:

- El titular dispone de datos de extracciones en períodos que este Servicio no ha tenido a la vista dentro de los informes de seguimiento ambiental reportados por el titular, específicamente entre Octubre de 2012 a Marzo de 2015 (estos registros fueron incluidos en los descargas como datos medios mensuales).
- Para el período con datos comparables (2009-2012), se detectaron diferencias de caudales medios mensuales mayores a 3 l/s en 6 casos. Las diferencias no son atribuibles a errores en la extracción de datos desde gráficas. En coherencia, en términos de caudales medios anuales, de los cuatro años comparados se detectaron diferencias en los años 2010, 2011 y 2012.

En la **Figura 6** se muestra la evolución de los caudales medios mensuales extraídos desde el campo de pozos Pantanillo, desde el año 2009 hasta el año 2012 (reporte enviado a DGA en Febrero de 2013) y desde el año 2012 hasta el año 2015, adicionando la información recogida desde el Informe Técnico (HIDROMAS, 2015). En la gráfica se observa que el caudal medio mensual total tiene sus máximos en Diciembre-2010, Diciembre-2011 a Febrero-2012 (con extracciones promedio cercanas a los 95 l/s) y Octubre a Diciembre del año 2012 (con extracciones promedio sobre los 95 l/s).

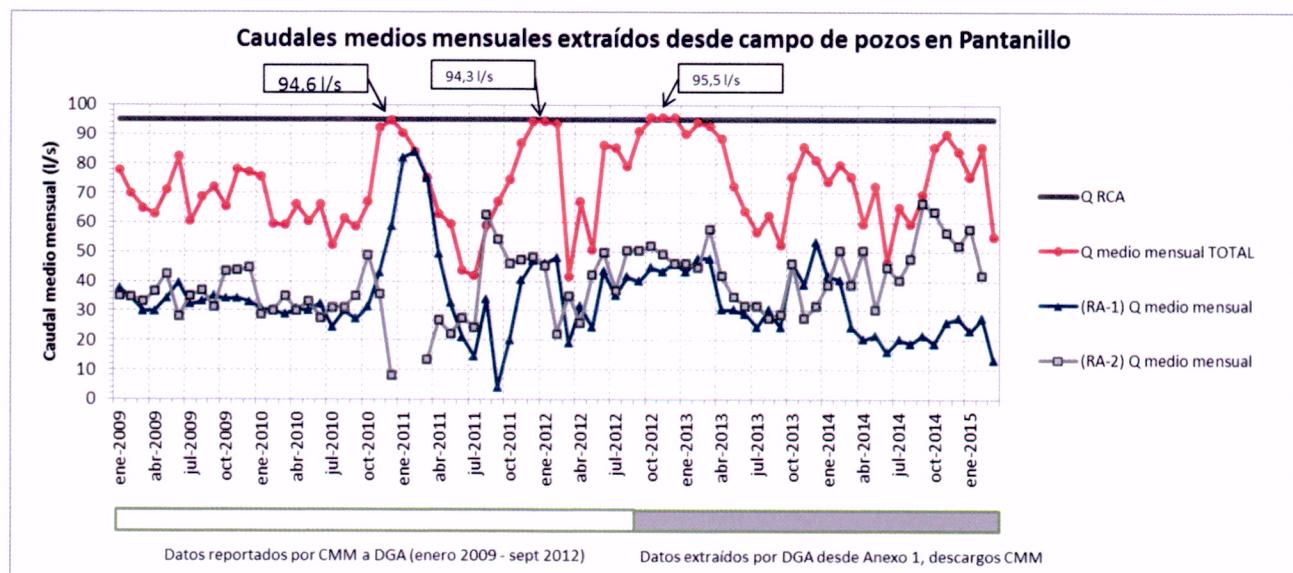


Figura 6: Caudales medios mensuales y totales, extraídos desde los pozos RA-1 y RA-2 para el período 2009 al 2015. Se debe señalar que los datos de caudales medios mensuales no se encuentran tabulados en el Informe Técnico “Caracterización Hidrogeológica Sistema Acuífero Ciénaga Redonda” (HIDROMAS, 2015), por lo que la información debió ser digitalizada directamente a partir de la observación de las gráficas de dicho Informe. Las extracciones promedio desde el pozo RA-1 y RA-2 son 34,4 l/s y 39,4 l/s, respectivamente, y las extracciones totales desde el campo de pozos Pantanillo están en el rango 41,5 l/s a 95,5 l/s, con un promedio de 72,8 l/s. (Elaboración DGA).

Asimismo, en el Informe Técnico 2015 se acompañan los caudales medios anuales de los pozos de producción RA-1 y RA-2, entre los años 2005 y año 2014. La **Figura 7** muestra los caudales medios anuales informados por el titular en sus últimos descargos (periodo 2005-2014, valores del Informe Técnico 2015, tipificados como "Descargos"), y aquellos calculados a partir del reporte de caudales medios mensuales que recibió este Servicio en el año 2013 (periodo 2009-2012, valores de la Carta SMAC-033-013, tipificados como "Reporte CMM").

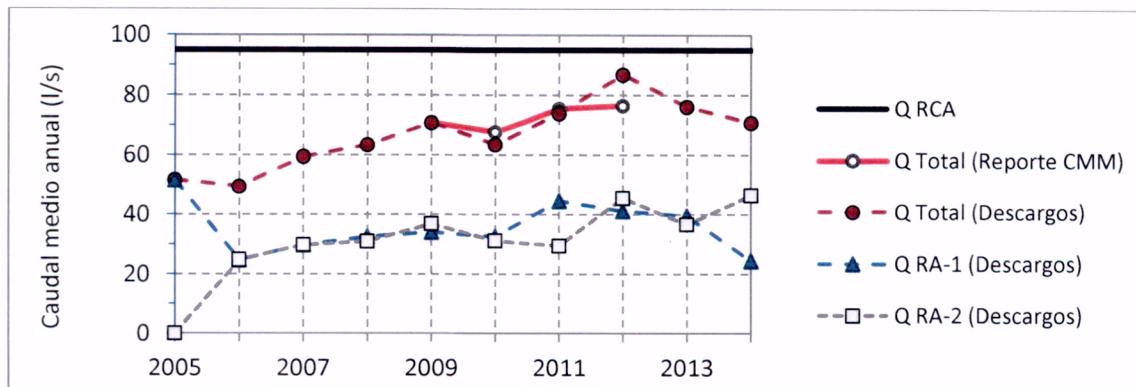


Figura 7: Caudales medios anuales extraídos desde el campo de pozos de Pantanillo. Los datos graficados corresponden a la información de los descargos del titular (Tabla 4.3, Informe Técnico 2015) y se comparan con los datos reportados por el titular a la DGA en Febrero-2013 (Q Total (Reporte CMM)), que incluye datos de bombeos en el período 2009-2012. Nótese que las extracciones medias anuales desde el pozo RA-1 resultan similares a las del pozo RA-2 entre los años 2006 a 2010 (ambos inclusive) y en los años 2012 Y 2013; en el año 2011 el caudal medio anual de RA-1 resulta mayor que el pozo RA-2, situación que se invierte en el año 2014. (Elaboración DGA).

2.3. Situación sectorial del campo de pozos Pantanillo

Los registros con los que se cuenta sólo corresponden a la información que el propio titular ha presentado en el ámbito del seguimiento ambiental de los proyectos que cuentan con calificación ambiental, ello según lo que se ha precisado en el numeral 2.2 de este Oficio.

Por otra parte, se debe señalar que las extracciones efectuados desde los pozos RA-1 y RA-3 actualmente se encuentran afectos a pago de patente por no uso de los derechos de aprovechamiento de aguas considerados en las Resoluciones DGA N°284 y N°283, ambas del 24 de Julio de 1992, respectivamente. Los antecedentes relativos a este pago se detallan en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Características de los expedientes de derechos afectos a pago de patente por no uso. (Elaboración DGA).

ID pozo	ID expediente DGA	Caudal Otorgado (l/s)	Caudal de "no uso" (l/s)	Diferencia de caudal correspondiente a uso (l/s)	Periodo de pago por no uso
RA-1	ND-0302-249	108	93	15	2012-2015
RA-2	ND-0302-262	105	0	105	-
RA-3	ND-0302-265	45	45	0	2012-2015

2.4. Acerca de la alternancia de los pozos de bombeo RA-1 y RA-2

En el reporte de extracciones del tercer trimestre de 2011 (que incluye datos del período 2009-2011), acompañado mediante la carta de CMM a DGA (SMA-019-11), del 11 de Noviembre de 2011, y respecto de la operación de los pozos de bombeo, la empresa informa que el "funcionamiento del pozo es de aproximadamente 12 horas de extracción al día". Por su parte, en la respuesta 5.m.4) de la Adenda N°1 del EIA "Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte"⁷, proyecto desistido con fecha 21 de Noviembre de 2014, su titular comunicó a la autoridad ambiental que "En Pantanillo (sección R del Informe de Línea Base - Anexo II-1), los dos pozos operan uno a la vez con temporizadores. Un pozo opera por 12 horas y luego se apaga por las próximas 12 horas. El otro pozo opera cuando el primero está apagado. Este proceso ocurre todos los días, resultando en caudales medios, mucho menores a los máximos instantáneos. El efecto de los pozos prendiéndose y apagándose se observa como niveles fluctuantes en los pozos de producción, pero sólo como una pequeña variación en los niveles de los pozos de observación lejos de los pozos de producción.".

⁷http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=5762212

Complementariamente, en el Informe Técnico "Caracterización Hidrogeológica Sistema Acuífero Ciénaga Redonda" (HIDROMAS, 2015) (antecedente 1.3.5), se aporta que "se realiza una explotación alternada entre los pozos, donde el promedio para el periodo en RA-1 fue de 35,4 l/s, en RA-2 31,1 l/s y el promedio del sistema fue de 66,5 l/s. A pesar de la alternancia en el bombeo, se observa que durante el 2014 se ha bombeado casi el doble del caudal desde RA-2 respecto a RA-1."

A este respecto, es pertinente hacer presente que con fecha 23 de Octubre de 2012, la Dirección Regional de Aguas de la Región de Atacama ha emitido el Oficio N°658⁸ que, en lo medular, señala: "(...) Sobre la materia, cabe hacer presente que, con motivo de una fiscalización sectorial realizada por parte de profesionales de esta Dirección al sector de Pantanillo, en la Cuenca del Salar de Maricunga, específicamente a los pozos contemplados por Cia. Minera Maricunga para el abastecimiento de agua fresca para su proyecto minero Refugio, denominados RA - 1 y RA - 2, **se verificó que estos operan simultáneamente, y no de forma alternada** como ha sido declarado en el proceso de evaluación de impacto ambiental en el SEIA para el proyecto denominado Reinicio y Expansión Proyecto Lobo Marte (...)" (énfasis agregado).

Finalmente, resulta relevante destacar que, en el Informe de Fiscalización Ambiental de la SMA (DFZ-2015-8-III-RCA-IA), se señala lo siguiente, respecto a los caudales bombeados: "Al momento de la Inspección el pozo RA-2 se encontraba desenergizado debido a una actualización de los PLC, según informó personal de Minera Maricunga. En cambio, el pozo RA-1 se encontraba operativo y bombeando 87,9 l/s según se pudo observar en el display del equipo de medición de caudal." (Extraído de la página 25 del Informe SMA DFZ-2015-8-III-RCA-IA).

Considerando los antecedentes expuestos en la sección 2, se concluye lo siguiente:

- Los reportes de caudales que dispone este Servicio corresponden a caudales medios mensuales y abarcan el **período Enero-2009 a Septiembre-2012**. No se han recibido reportes del titular que actualicen las extracciones desde el campo de pozos Pantanillo para el período Octubre-2012 a la fecha, o para períodos anteriores a Enero-2009.
- En base a una comparación de caudales realizada para el período 2009-2012, **se detectaron diferencias tanto en los caudales medios mensuales como en los caudales medios anuales informados por el titular**. Respecto a las extracciones ocurridas desde Octubre-2012 a la fecha sólo se cuenta con datos graficados en Informe Técnico HIDROMAS (2015), el cual **no descarta el incumplimiento en la extracción desde el campo de pozos Pantanillo, a saber, superación del valor límite de 95 l/s**.
- Con respecto a la presunta operación alternada de los pozos de bombeo, situación afirmada por el titular, se ha verificado en terreno, en dos oportunidades (a saber, DGA en Octubre-2012 y SMA en Noviembre-2014), que **los pozos no operan en forma alternada**. La DGA detectó en el año 2012 que los pozos RA-1 y RA-2 operaban simultáneamente, mientras que el Informe de Fiscalización de la SMA reporta la operación exclusiva del pozo RA-1 (bombeo de 87,9 l/s), encontrándose el pozo RA-2 desenergizado, condición que hace imposible su operación.

3. Acerca de la relación entre las extracciones de agua subterránea desde el campo de pozos de Pantanillo y el estado de la vegetación del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda

3.1. Conceptos relevantes

Desde el punto de vista conceptual, a continuación se incluyen algunas definiciones consideradas relevantes para introducir el análisis de la relación entre las extracciones de agua subterránea y el estado de la vegetación en el valle de Ciénaga Redonda. Las definiciones son citas del Glosario Hidrológico Internacional de la Unesco⁹ y entre paréntesis se agrega, en algunos casos, una nota complementaria.

⁸Documento incluido como respaldo digital en el CD adjunto a este Oficio.

⁹<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/HINDES.HTM>

- Acuífero: Formación permeable capaz de almacenar y transmitir cantidades aprovechables de agua.
- Acuífero libre: Acuífero que contiene agua con una superficie piezométrica libre y presenta una zona no saturada. (en este tipo de acuíferos, el agua subterránea se suele encontrar más próxima a la superficie del terreno y en equilibrio con la presión atmosférica).
- Zona saturada: Zona de material poroso, en la que todas las oquedades, grandes y pequeñas, están llenas de agua.
- Zona no saturada: Parte de la litósfera en la que los intersticios se encuentran parcialmente llenos de aire y parcialmente de agua. (corresponde a la zona entre la superficie de la tierra y la superficie de la zona saturada de un acuífero libre. El agua en esta zona se encuentra generalmente a una presión menor que la atmosférica y los vacíos en el medio poroso pueden contener aire u otros gases. En esta zona, tanto la presión como la conductividad hidráulica dependen del contenido de humedad del suelo¹⁰).
- Límite impermeable: Límite de una zona de flujo a través de la cual no puede fluir una corriente debido a la escasa permeabilidad existente al otro lado del límite.
- Nivel freático: Superficie en la zona de saturación de un acuífero libre sometido a la presión atmosférica.
- Gradiente hidráulico: En medio poroso, la disminución de la altura piezométrica por unidad de distancia en la dirección del flujo. (En un acuífero libre, corresponde a la pendiente que tiene el nivel freático o la superficie piezométrica, indicando con ello la dirección y sentido del flujo del agua subterránea).
- Conductividad hidráulica: Propiedad combinada de un medio poroso y saturado y del fluido que lo atraviesa, que determina la relación, llamada ley de Darcy, entre el caudal específico y el gradiente hidráulico que lo origina.
- Ley de Darcy: Fórmula que expresa la proporcionalidad entre el caudal específico (caudal por área de superficie) de un líquido que fluye a través de un medio poroso y el gradiente hidráulico, en régimen laminar.

La ley de Darcy puede derivar a la ecuación $Q = K \cdot i \cdot A$, siendo Q =caudal subterráneo, K =conductividad hidráulica del medio poroso, i =gradiente hidráulico y A =área o sección perpendicular al caudal subterráneo. El gradiente hidráulico se obtiene de la división entre la diferencia del nivel freático y la distancia (L) existente entre dos puntos considerados para su cálculo, a saber, $i = (h_1 - h_2)/L$.

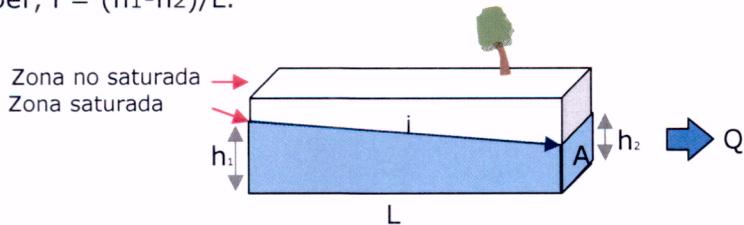


Figura 8: Conceptualización del gradiente hidráulico.(Elaboración DGA).

Tomando válida la ley de Darcy para la estimación del flujo de agua subterránea en un acuífero, se puede decir que la magnitud del caudal (Q) aumentará a medida que aumente una o más variables que lo condicionan, es decir, aumento del gradiente hidráulico (i), del área transversal de flujo (A) o de la conductividad hidráulica del acuífero (K). De manera opuesta, el caudal se verá reducido si una o más de estas variables se reduce.

3.2. Condiciones hidrogeológicas conceptuales que sustentan la existencia de los humedales

Basado en el Mapa Hidrogeológico de la cuenca Salar de Maricunga: Sector Ciénaga Redonda (SERNAGEOMIN, 2000)¹¹, en este apartado se expone una breve descripción de la situación hidrogeológica local.

El acuífero del valle Ciénaga Redonda es un acuífero conformado por depósitos de materiales sedimentarios de distinta granulometría y edad geológica (corresponde a un medio poroso). Los antecedentes estratigráficos obtenidos de los pozos construidos en el sector dan cuenta de la existencia de materiales gruesos (gravas y arenas) en los horizontes más próximos a la superficie topográfica del valle, presentándose delgadas intercalaciones de arenas finas y limos que resultan más abundantes desde los 70 m de profundidad. Así, el perfil hidrogeológico propuesto para el valle Ciénaga Redonda presenta una estratigrafía compuesta por tres

¹⁰ Glosario. Página 65 de la "Guía para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA" (SEA, 2012)

¹¹ Documento incluido como respaldo digital en el CD adjunto a este Oficio.

grandes grupos o clasificaciones de materiales allí depositados. En una primera clasificación, se encuentran los materiales no consolidados de granulometría predominantemente gruesa (gravas, ripios, arenas), completamente saturados de agua, los que **conforman la zona acuífera de tipo libre y semiconfinada**, con buen potencial para su explotación. Por debajo de estos sedimentos se encuentra un segundo grupo de materiales, el cual se compone de secuencias sedimentarias de tipo no consolidados a semiconsolidados de granulometría predominantemente media (gravillas, arenas, limos y arcillas), los cuales se encuentran moderadamente saturadas, por lo cual la extracción de agua desde estos materiales resulta comparativamente menos productiva que en el estrato del acuífero descrito con antelación. Por último, se presenta en profundidad un tercer grupo de materiales depositados en el valle, el cual representa el basamento hidrogeológico (también considerado como la base del acuífero), por estar conformado por materiales sedimentarios más finos (arenas, limos y arcillas), que actúan como un límite impermeable.

Así, el tipo y ubicación de materiales depositados condicionan la magnitud y dirección del flujo de agua subterránea, viéndose con ello modificada la profundidad del agua bajo la superficie del terreno según las características locales del acuífero. De este modo, los materiales más gruesos (con mayor permeabilidad y ubicados mayoritariamente más próximos a la superficie del terreno) favorecen el flujo de agua subterránea a través de éstos. De manera opuesta, los materiales granulares finos y muy finos, dificultan el paso del agua a través de los mismos, reduciendo con ello la velocidad de flujo y, consecuentemente, reduciendo o anulando el caudal pasante.

En cuanto al conocimiento de la geometría del acuífero Ciénaga Redonda, resulta relevante analizar el Mapa Hidrogeológico incluido en la **Figura 10** y **Figura 11**, y el perfil hidrogeológico B-B^{viii} de la **Figura 12**.

Del Mapa Hidrogeológico, se aprecia que el acuífero presenta un ancho variable de sur a norte. De modo aproximado, se puede estimar que en la zona cercana a la quebrada del río Astaburuaga el acuífero tiene un ancho de 1100 metros; en la zona de vega Pantanillo tiene un ancho entre 500 metros y 800 metros; en la zona de vega Valle Ancho el acuífero varía su ancho entre 600 metros y 1000 metros; y en la zona de la vega Ciénaga Redonda el acuífero presenta un ancho mínimo estimado en 800 metros.

Con respecto al espesor del acuífero, la síntesis hidrogeológica señala que, en la parte sur del basamento éste se encuentra entre los 160 metros y los 60 metros, mientras que en la parte norte alcanza profundidades de hasta 250 metros. A lo anterior se debe agregar la variación del espesor del grupo de materiales semipermeables representado en el perfil hidrogeológico.

Sobre el perfil hidrogeológico se han marcado los cuatro sectores donde ubican las principales vegas identificadas en el valle Ciénaga Redonda, a saber: Pantanillo, Valle Ancho, Barros Negros y Ciénaga Redonda (ver **Figura 12**).

Al observar las características hidrogeológicas en el sector donde se sitúa la vega Pantanillo, se verifica que la configuración estratigráfica de los materiales depositados en dicho sector muestra un escenario de reducción del espesor del acuífero (capa de sedimentos no consolidados que favorece el flujo de agua subterránea), y un engrosamiento del estrato compuesto por materiales semipermeables. **Este cambio en los espesores de los materiales depositados genera una condición de estrangulamiento local del flujo de agua subterránea, que genera el ascenso del nivel freático posibilitando una mayor proximidad entre el agua del acuífero y la superficie del terreno.**

En este punto resulta relevante destacar la variable "**proximidad entre el agua del acuífero y la superficie del terreno**", pues de acuerdo con la "Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT)" (SAG, 2009¹²), una mayor proximidad se constituye como una condición propicia y necesaria para el desarrollo de las vegas. La Guía señala que "*mientras más superficialmente se ubique la napa freática, la humedad del suelo que determina la presencia de especies vegetacionales hidromórficas es más estable y está influenciada principalmente por el ascenso capilar desde la zona saturada en profundidad o por las surgencias que la presión del acuífero determine, la que irriga la zona de raíces de las plantas*". La siguiente figura representa la estrecha relación entre

¹² Ahumada M. y Faúndez L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Servicio Agrícola y Ganadero, División de Protección de Recursos Naturales Renovables. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/textoshu/index/assoc/HASH7917.dir/SAG-HUMED06.pdf>

la proximidad del agua del acuífero y la superficie del terreno, exemplificada con el suministro hídrico de un humedal.

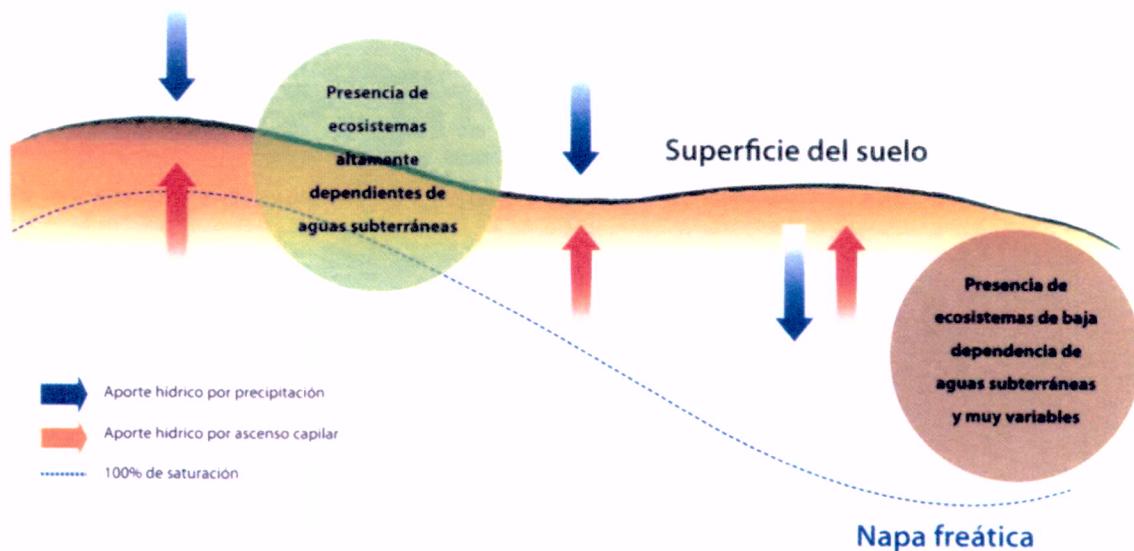


Figura 9: Esquema de vías de suministro hídrico (precipitaciones y subterráneo) de ecosistemas humedales altoandinos (Tomada de: SAG (2009), Figura 1 en página 23).

La conceptualización antes explicada e ilustrada en la **Figura 9**, corresponde a lo observado en el perfil hidrogeológico (**Figura 12**) tanto para la vega Pantanillo como para las demás vegas existentes en el valle Ciénaga Redonda. Para el caso de la vega Valle Ancho, el perfil hidrogeológico muestra una reducción del espesor del acuífero y un levantamiento relativo del basamento, favoreciendo el ascenso local del nivel freático hasta coincidir con la línea topográfica; este escenario sustenta afloramientos de agua subterránea en esta vega. Para el caso de la vega Barros Negros, el perfil hidrogeológico grafica una condición de ascenso del basamento del acuífero en relación con la superficie topográfica, además de un contraste entre la granulometría de los materiales depositados en esta zona (desaparece localmente el estrato semipermeable, dejando sólo el estrato permeable saturado y el estrato impermeable no saturado), lo cual se constituye como una condición favorable para el ascenso del nivel freático y la existencia de flujos de agua subterránea más próximos a la superficie topográfica. Finalmente, para la vega Ciénaga Redonda, situada hacia el extremo norte del perfil hidrogeológico, se representa una condición de reducción del espesor del acuífero y un levantamiento del basamento respecto a la superficie topográfica, provocando, al igual que en la vega Valle Ancho, que el nivel freático coincida con la línea topográfica, posibilitando afloramientos de agua subterránea en este sector.

El Mapa Hidrogeológico describe un flujo en sentido sur-norte, con un nivel freático en el sector sur - próximo al río Astaburuaga - del orden de 4250 msnm¹³. El nivel freático en vega Pantanillo es aproximadamente 4220 msnm, en vega Valle Ancho está entre 4170 y 4140 msnm, en vega Barros Negros el nivel freático se presenta a 4080 msnm y en vega Ciénaga Redonda a 3958 msnm. Ver **Figura 12**.

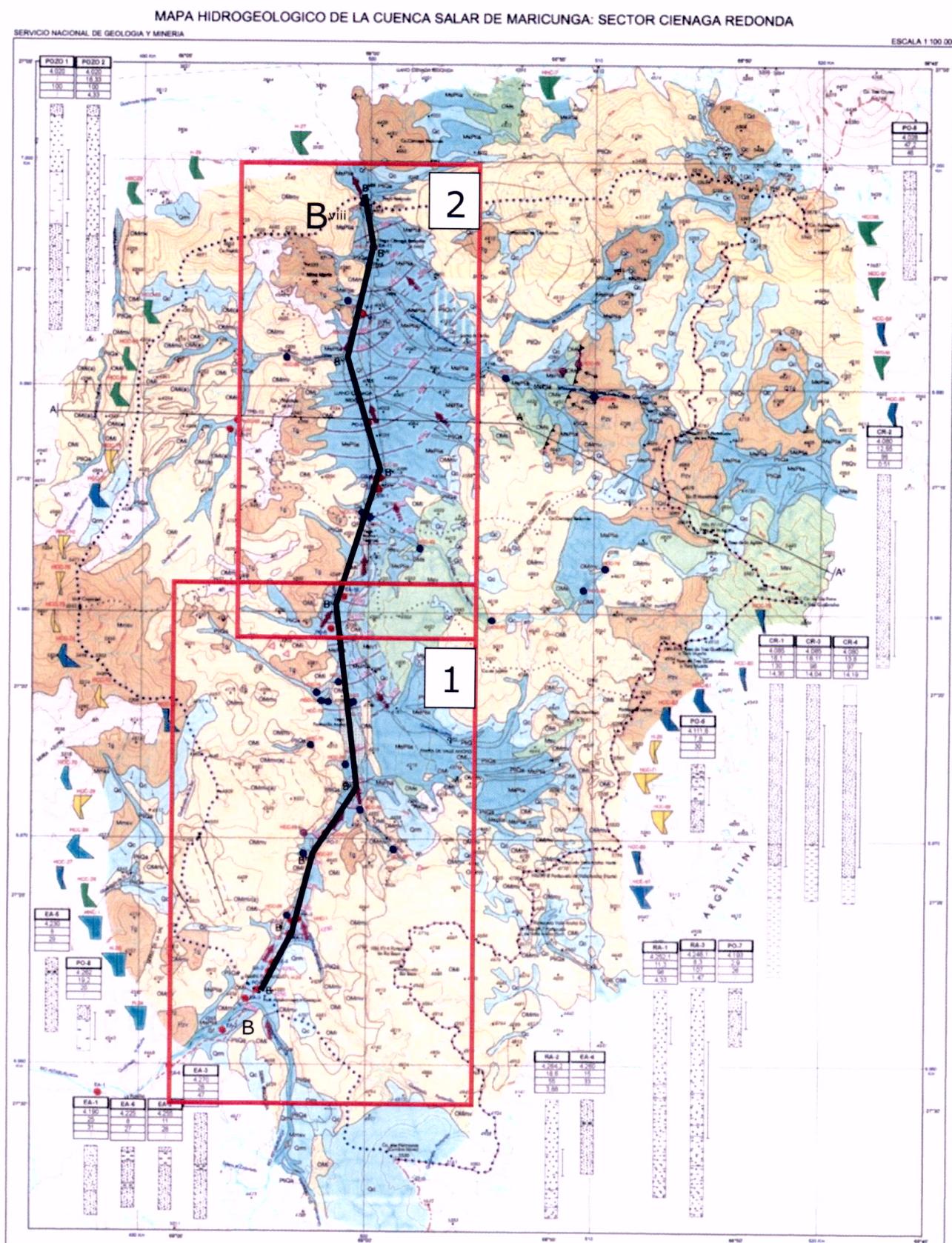
Así entonces, se concluye que:

- Hidráulicamente, el acuífero existente en el corredor biológica Pantanillo – Ciénaga Redonda, se comporta como un **acuífero libre** con estratos semiconfinados en profundidad.
- Los niveles freáticos representados en el mapa **reflejan la existencia de un flujo natural de agua subterránea de sur a norte**, desde la quebrada del río Astaburuaga hacia el Salar de Maricunga.
- La descripción hidrogeológica del valle Ciénaga Redonda permite señalar que la ubicación de las vegas existentes en el valle se relacionan con características locales de su estructura geológica y litológica, las cuales configuran un escenario de ascenso de materiales impermeables en relación con la superficie topográfica y una reducción del ancho del

¹³ Metros sobre el nivel del mar.

acuífero, condiciones que **generan una mayor proximidad entre el agua del acuífero y la superficie del terreno**.

- El nivel freático se constituye como un factor físico determinante que controla la existencia de las vegas en el corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda. Se concluye que, **descensos de los niveles freáticos en las proximidades a las vegas pueden afectar o inhibir el funcionamiento y permanencia de éstas en el valle.**



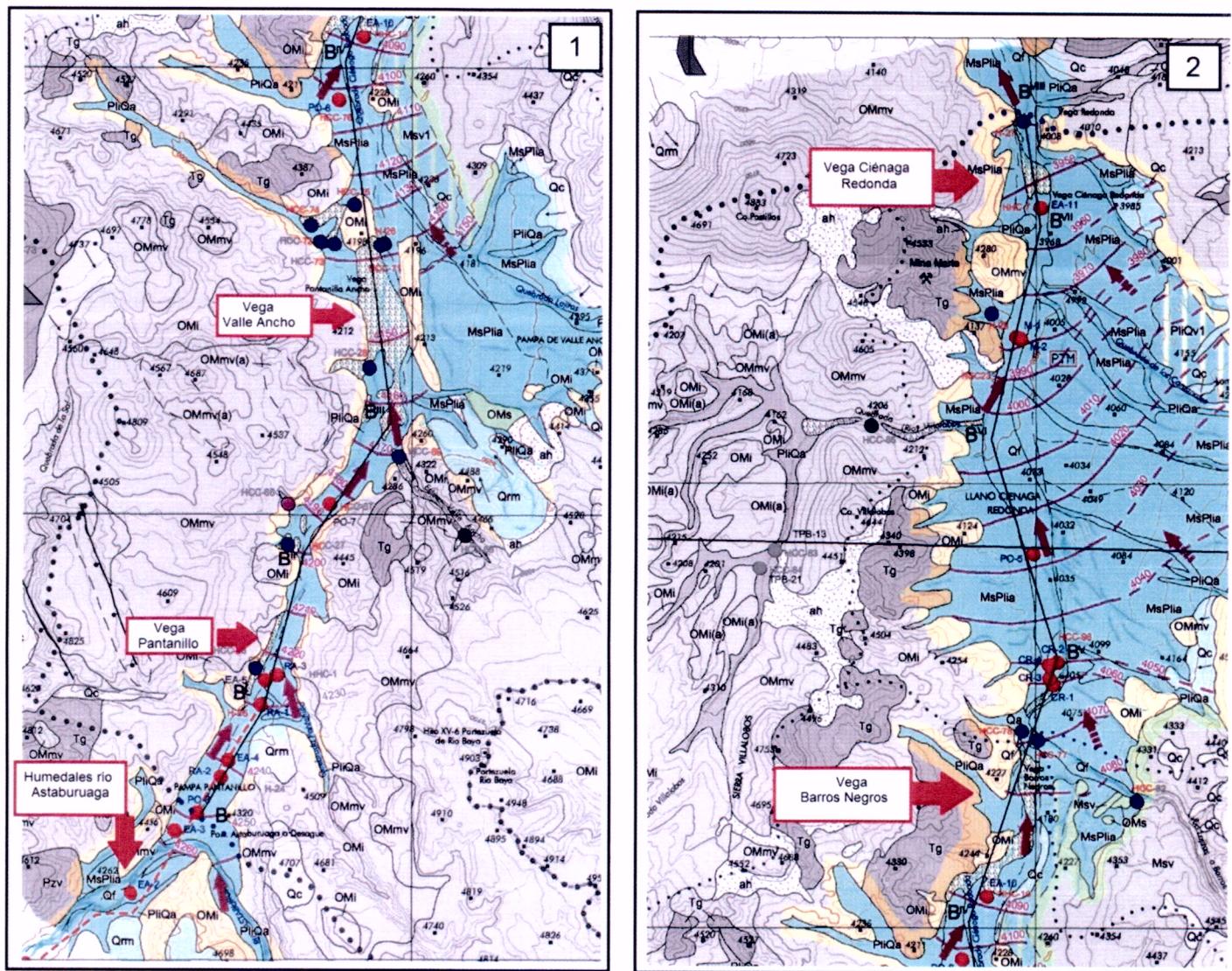


Figura 11: Extracto del Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga. (SERNAGEOMIN, 2000). Se destaca en colores el acuífero del valle Ciénaga Redonda y la ubicación de las principales vegas existentes. El mapa incluye curvas de nivel freático y flechas que señalan una dirección de flujo en sentido sur-norte desde la quebrada del río Astaburuaga hasta la vega Ciénaga Redonda. Nótese que la ubicación de las vegas coincide con los sectores comparativamente más angostos del acuífero, donde se ve favorecida una condición de estrangulación de la sección de flujo del agua subterránea, permitiendo con ello el alzamiento de los niveles freáticos. Del mismo modo, la figura destaca el hecho que el acuífero principal del valle de Ciénaga Redonda se encuentra conectado con pequeños acuíferos situados en las quebradas laterales al valle, cuyos flujos de agua subterránea aportan en distinta magnitud al caudal principal que se mueve de sur a norte. (Elaboración DGA).

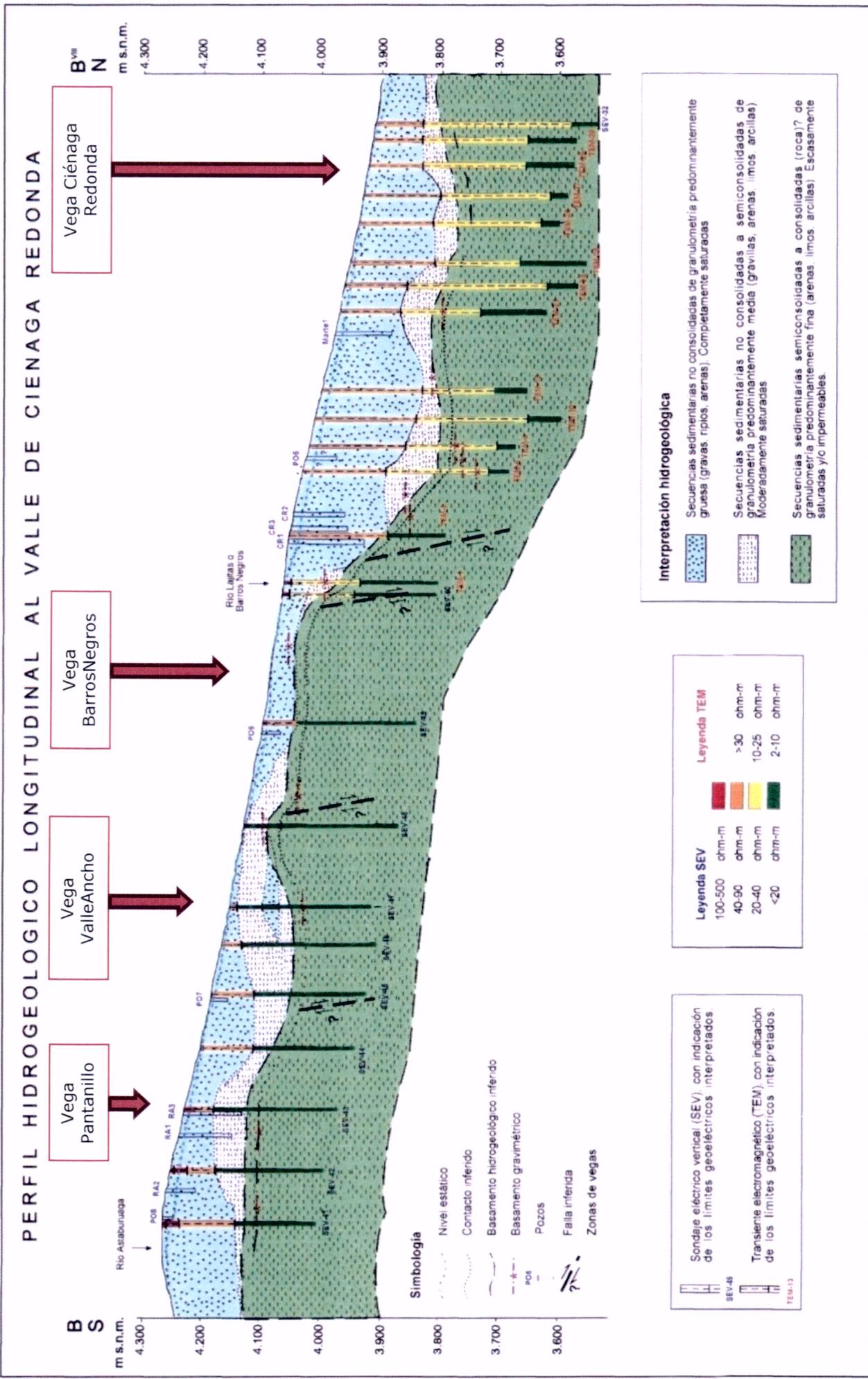


Figura 12: Perfil hidrogeológico B-B'' del Valle de Ciénaga Redonda. Se muestra la ubicación aproximada de las cuatro principales vegas existentes en el valle: Pantanillo, Valle Ancho, Barros Negros y Ciénaga Redonda. (Modificado por DGA de: Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga: Sector Ciénaga Redonda. SERNAMEGOMIN (2000). Escala 1:100.000).

3.3. Niveles freáticos

Los niveles freáticos medidos en el campo de pozos Pantanillo corresponden a los registros reportados por el titular en atención al Resuelvo N°5 de la RCA N°002/1994. Para efecto de los análisis expuestos en este Oficio, se verificó la coincidencia entre los datos proporcionados por la SMA y los datos disponibles en el Servicio previamente entregados por el titular. El total de datos considerados para los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 abarcan el período entre los años 1995 y 2014. Para los pozos RA-1 y RA-2 la base de datos fue complementada entre los años 2005 y 2008 con los registros de niveles entregados por el titular con motivo del requerimiento de la SMA a través de la RES. Ex. N°10/D-14-2015 del 12 de agosto de 2015¹⁴.

Así también, se dispone de datos de niveles freáticos estáticos en otros 26 pozos, cuyos reportes fueron entregados por el titular a la SMA el pasado mes de Noviembre de 2014, aportando registros de niveles freáticos del período Febrero-2013 a Octubre-2014.

En la siguiente tabla se presenta la ubicación de los pozos considerados en el presente documento, la cota de suelo, el rango de fecha de los datos disponibles, el registro de nivel máximo y mínimo de profundidad del agua, la diferencia éstos y el promedio del total de datos disponibles.

Tabla 3: Datos de profundidad del agua medida en metros bajo el nivel del suelo (mbns) en los distintos pozos reportados por el titular. Para los primeros 26 pozos, se dispone de registros entre los años 2013 y 2014, mientras que para los últimos tres pozos (RA-1, RA-2 y RA-3), se dispone de datos entre 1994 y 2014. (s/d = sin dato). (Elaboración DGA).

Nº	ID Pozo	Coordenadas UTM		cota suelo msnm	Periodo datos			Profundidad del agua (mbns)			
		Este	Norte		Inicio	Término	Nº Datos	Min	Max	max-min	Promedio
1	LNF-TW-01	497.508,2	6.969.477,4	4203,1	ene-14	oct-14	6	9,70	10,08	0,38	9,85
2	LNF-MW-01A	492.883,8	6.961.012,7	4253,8	oct-13	oct-14	15	5,42	6,19	0,77	5,88
3	LNF-MW-01B	492.896,3	6.960.997,1	4253,7	oct-13	oct-14	15	5,08	6,03	0,95	5,62
4	LNF-MW-02	489.414,9	6.958.157,8	4214,5	may-13	oct-14	19	21,04	22,01	0,97	21,82
5	LNF-MW-05A	496.803,3	6.966.298,0	4242,6	mar-13	oct-14	29	6,47	7,11	0,64	6,90
6	LNF-MW-05B	496.812,3	6.966.290,6	4242,8	mar-13	oct-14	29	8,12	8,47	0,35	8,33
7	LNF-MW-06	499.320,4	6.971.344,3	4182,7	abr-13	oct-14	21	3,42	3,75	0,33	4,53
8	LNF-MW-07	497.769,4	6.969.743,9	4201,4	abr-13	oct-14	23	8,62	9,32	0,70	8,87
9	LNF-MW-08	497.292,3	6.969.187,3	4207,4	abr-13	oct-14	20	3,81	4,38	0,57	4,03
10	LNF-MW-09	495.707,8	6.961.878,2	4288,7	abr-13	oct-14	20	18,17	19,64	1,47	18,64
11	LNF-MW-10	496.778,3	6.966.040,2	4248,3	nov-13	oct-14	12	12,05	12,73	0,68	12,46
12	LNF-MW-11	497.551,0	6.969.447,0	s/d	nov-13	oct-14	13	9,82	10,23	0,41	9,93
13	LNF-MW-39	496.757,1	6.966.710,3	4232,1	feb-14	oct-14	17	3,52	3,57	0,05	3,54
14	LNF-MW-40	496.672,8	6.966.494,0	4236,6	feb-14	oct-14	18	4,08	4,18	0,10	4,14
15	LNF-MW-44	496.733,3	6.966.605,0	4234,4	feb-14	oct-14	18	2,32	2,42	0,10	2,39
16	RPG-31	496.743,4	6.966.540,1	4237,0	feb-13	oct-14	22	3,98	4,34	0,36	4,15
17	LNF-MW-03	496.330,1	6.966.173,2	4239,6	abr-13	jul-14	27	3,55	4,19	0,64	3,90
18	LNF-MW-42	496.291,9	6.966.191,7	4238,2	feb-14	oct-14	19	3,64	3,83	0,19	3,76
19	LNF-MW-43	496.402,8	6.966.153,6	4239,0	feb-14	oct-14	19	4,46	4,84	0,38	4,72
20	LNF-MW-41	496.467,0	6.966.261,6	4237,8	feb-14	oct-14	18	4,08	4,31	0,23	4,23
21	LNF-MW-04	496.544,1	6.966.351,8	4238,5	mar-13	oct-14	27	4,71	5,56	0,85	4,92
22	RPG-22	496.007,8	6.964.541,1	4256,2	feb-13	oct-14	19	17,07	17,69	0,62	17,43
23	RPG-32	494.519,0	6.961.979,3	4274,0	feb-13	oct-14	19	24,03	25,93	1,90	24,91
24	RPG-21	494.532,0	6.961.972,7	4274,7	feb-13	oct-14	20	24,39	26,17	1,78	25,22
25	RPG-38	494.598,1	6.962.292,4	4277,1	feb-13	oct-14	20	28,17	29,68	1,51	28,78
26	RPG-21C	494.894,8	6.962.444,8	4278,6	feb-13	oct-14	19	31,23	32,71	1,48	31,69
27	RA-1	496.407,5	6.965.389,2	4252,0	ene-95	oct-14	202	9,30	18,15	9,00	14,90
28	RA-2	495.499,2	6.963.820,0	4264,0	ene-95	oct-14	317	10,20	27,50	17,30	23,40
29	RA-3	496.791,9	6.966.035,2	4248,7	ene-95	oct-14	141	8,60	14,38	5,78	11,29

¹⁴ Los registros de niveles freáticos requeridos por la SMA mediante RES. Ex. N°10/D-14-2015 del 12 de agosto de 2015 fueron proporcionados por el titular a través de una Carta con fecha 18 de agosto de 2015. Ésta incluye niveles freáticos de los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 entre enero de 1999 y marzo de 2015. Se procedió a inspeccionar visualmente la coincidencia de registros entre períodos comunes con los datos ya disponibles, detectándose coincidencia con los datos de los pozos RA-1 y RA-2 y diferencias con los datos del pozo RA-3. Por este motivo, de los antecedentes recibidos, se incorporó a la base de datos los registros faltantes de los pozos RA-1 y RA-2 para el periodo 2005 a 2008.

3.3.1. Situación en el periodo 2013-2014

En la **Figura 13** se comparan los niveles freáticos registrados en los 29 pozos para el período 2013-2014. Las gráficas de niveles han sido estandarizadas en el eje vertical (nivel freático en msnm), en un rango de 3 metros, y el eje horizontal, por su parte, comprende el período 01-01-2013 al 01-11-2014, evidenciándose la diferencia en la cantidad de datos disponibles para los distintos pozos. Para mayor detalle de los cambios en los niveles freáticos en el entorno de vega Pantanillo en el período 2013-2014, en la **Figura 14** se presenta una vista ampliada del sector de dicha vega, graficándose los niveles freáticos informados por el titular.

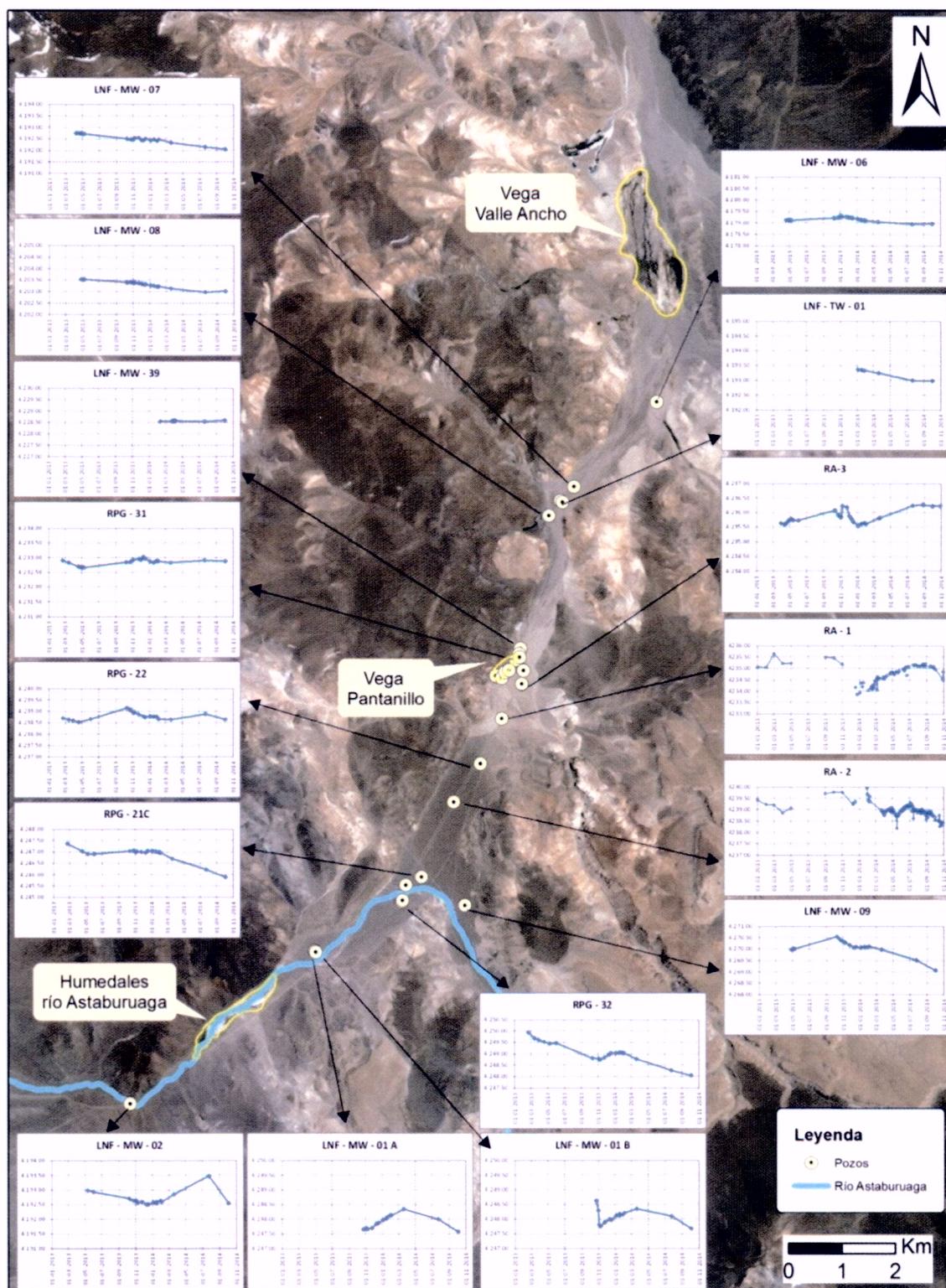


Figura 13: Registro del nivel freático en metros sobre el nivel del mar (msnm), en pozos de monitoreo del titular. Los registros graficados corresponden al período 01-01-2013 a 01-11-2014, a 8 años de haber reiniciado los bombeos. Para facilitar la comparación entre pozos se mantuvo un rango de variación de 3 metros en el eje vertical. Para los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 se presenta la data completa en la **Figura 18**. (Elaboración DGA).

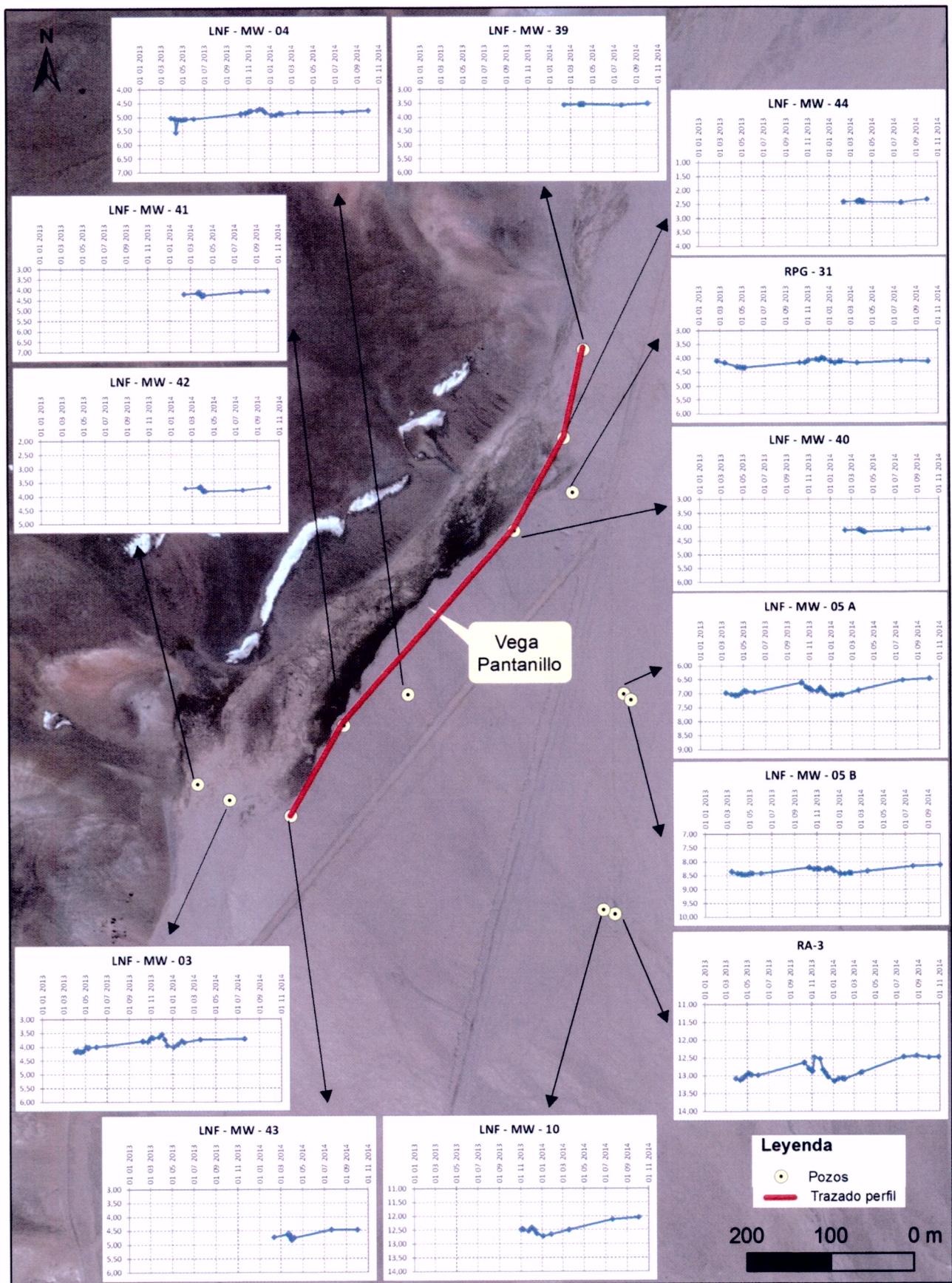


Figura 14: Profundidad del nivel freático en metros bajo el nivel del suelo (mbns) medidas por el titular en pozos próximos a vega Pantanillo. Los registros graficados corresponden al período 2013 – 2014 (para el pozo RA-3 se presenta la data completa en la **Figura 18**). (Elaborado por DGA con datos de seguimiento ambiental proporcionados por SMA).

Nótese que para el período 2013-2014 existen distintas tendencias en los niveles freáticos a lo largo del valle Ciénaga Redonda. Específicamente, los pozos RPG-21C, RPG-32 y LNF-MW-09 (situados al sur del valle, próximos al río Astaburuaga) revelan descensos acumulados del nivel freático equivalente a 1,48 metros, 1,92 metros y 0,89 metros, respectivamente. Siguiendo con una revisión de los niveles freáticos hacia el norte del valle, se observa que el pozo RA-2

refleja un descenso del nivel freático (estático) de 1,69 metros entre el 29 de enero y el 18 de octubre de 2014; el pozo RA-1, por su parte, muestra un descenso del nivel freático (estático) equivalente a 1,79 metros entre el 01 de Marzo y el 23 de Diciembre de 2013; el pozo RA-3, a su vez, refleja una recuperación general del nivel freático entre Marzo-2013 y Octubre 2014, pero dentro de este período, da cuenta de un brusco descenso del acuífero (0,68 metros) en el transcurso de dos meses (del 08-11-2013 al 04-01-2014), lo cual sólo puede atribuirse a factores antrópicos (las tendencias históricas de los niveles freáticos medidos en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 son analizadas con mayor detalle más adelante en el Oficio, en el numeral 3.3.2). Hacia el norte de vega Pantanillo, los pozos LNF-MW-08, LNF-TW-01, LNF-MW-07 y LNF-MW-06 reportan una tendencia al descenso del nivel freático equivalente a 0,57 metros, 0,38 metros, 0,70 metros y 0,16 metros, respectivamente. Cabe reiterar que los descensos señalados se han estimado únicamente a partir de los datos reportados por el titular a solicitud de la SMA en Noviembre de 2014, lo que incluye registros de distinta extensión y frecuencia por pozo, dentro del período 2013-2014. Se debe señalar también que, a excepción de los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, este Departamento no ha tenido a la vista registros de niveles freáticos en los 26 pozos restantes para los años previos.

Especial atención merecen los registros del período 2013-2014 para los pozos situados en el entorno de la vega Pantanillo (ver **Figura 14**). En promedio, el nivel freático se encuentra a profundidades entre **3,54 metros** (pozo LNF-MW-39) y **4,92 metros** (pozo LNF-MW-04) bajo el terreno de la vega. En la misma figura también se distinguen variaciones en los niveles freáticos medidos en determinados pozos. Por ejemplo, el pozo LNF-MW-03 muestra una depresión del nivel freático igual a 0,47 metros en el lapso de un mes (de 02-12-2013 a 04-01-2014); en el pozo LNF-MW-04 el nivel freático se deprimió 0,21 metros en el mismo período; y en el pozo RA-3 el nivel freático descendió 0,68 metros en casi dos meses (del 08-11-2013 al 04-01-2014). La magnitud de estos descensos y la velocidad con la que ocurren (en comparación a la tendencia de cada pozo) puede atribuirse a los mayores caudales de bombeo desde los pozos RA-1 y RA-2 durante los meses de Octubre a Diciembre de 2013, como se aprecia en la **Figura 6**.

Así también, se observa que los niveles freáticos se hacen más someros en la medida en que éstos se aproximan a la vega Pantanillo. En este caso, los pozos LNF-MW-05-B y LNF-MW-05A reflejan niveles promedio iguales a 8,33 y 6,90 metros bajo el nivel del suelo, respectivamente, mientras que en la vega misma el nivel freático está en torno a los 4 metros bajo el suelo. Esta observación de niveles freáticos confirma la conceptualización hidrogeológica de existencia de las vegas, introducida en el punto 3.2 de este Oficio.

Con el objeto de complementar la representación de los niveles freáticos informados por el titular, se ha trazado, sobre la **Figura 14**, un perfil que pasa por cinco pozos situados en la vega Pantanillo. La representación topográfica y los niveles freáticos del acuífero bajo la vega se ilustran en la **Figura 15**, la cual muestra que la profundidad promedio del acuífero (obtenida con el total de datos disponibles para los pozos considerados, período Febrero a Octubre de 2014) es mayor hacia el sur de la vega. Así también, la oscilación del nivel freático (Δh) también resulta mayor hacia el sur de la vega ($\Delta h=0,38$ metros), reduciéndose hacia el norte del sector graficado.

Los niveles freáticos graficados en la **Figura 15** coinciden con los niveles reportados por la SMA en su Informe de Fiscalización Ambiental (Antecedente 1.3.6 de este Oficio). Puntualmente, en el hecho constatado nº1 (página 18 del Informe) se señala: "El descenso del nivel freático en el humedal Pantanillo es del orden de 4 metros según indican los registros del año 2013 y 2014 provistos por el Titular. Esta magnitud fue detectada por el Titular como resultado del bombeo de agua subterránea. Las extracciones de aguas subterráneas en el sector están representadas únicamente por los pozos RA.1 y RA.2 del proyecto Minero Refugio, no habiendo otros actores.". A lo anterior el Informe agrega: "En la condición actual el descenso del nivel de las aguas subterráneas, impide que existan afloramientos que alimenten al humedal Pantanillo.". Así también, en el hecho constatado nº2 (página 25 del Informe), se señala: "El humedal Pantanillo se encuentra seco, sin afloramientos."; y "La causa de lo anterior es que el nivel freático se encuentra a una profundidad del orden de 3-4 metros por debajo de la superficie, lo cual es incompatible con que se generen afloramientos.".

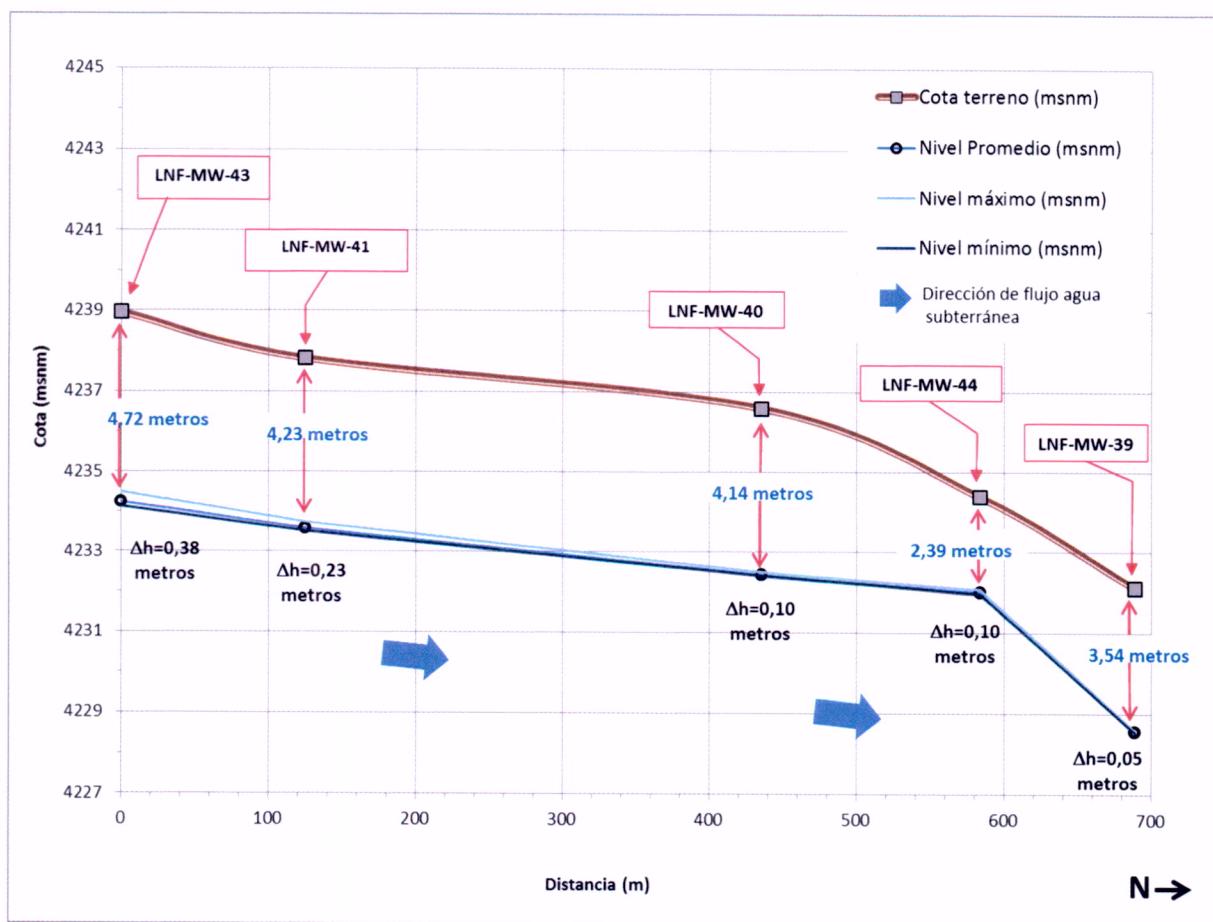


Figura 15: Perfil ilustrativo de la topografía y de los niveles freáticos del acuífero bajo la vega Pantanillo; se indica en metros la profundidad promedio del acuífero en cada pozo; la trayectoria del perfil se presenta en la **Figura 14** y el período de datos de niveles disponibles se especifica en la **Tabla 3** para cada uno de los pozos. (Elaboración DGA).

El análisis de niveles se complementó con un mapa de niveles freáticos construido interpretativamente a partir de los registros puntuales realizados por el titular el día 17-12-2013 (ver **Figura 16**). Al observar en detalle los niveles freáticos medidos en los pozos existentes en el entorno de la vega Pantanillo (**Figura 16.B**), se observa que los pozos RA-3 y LNF-MW-10 presentan mayores niveles freáticos que el pozo RA-1 (ubicado al sur de los otros dos pozos), y también presentan mayor nivel freático que el pozo LNF-MW-05B. Esta condición de niveles permite constatar que, para la fecha seleccionada (17-12-2013), se detecta una alteración en los gradientes hidráulicos y, con ello, la alteración de los flujos de agua subterránea respecto a la condición natural (flujo de sur a norte, según también lo describe el Mapa Hidrogeológico de SERNAGEOMIN). En esta línea argumental, **el análisis de los niveles freáticos permite afirmar que la condición graficada para el 17-12-2013 representa un buen ejemplo de los efectos de los bombeos desde el campo de pozos Pantanillo sobre la vega homónima, generando una inversión del flujo del agua subterránea en el acuífero (flujos de norte a sur, hacia el pozo RA-1) y, consecuentemente, una reducción de los flujos de agua subterránea hacia aguas abajo, en dirección a vega Valle Ancho.** La condición de inversión de flujos y de reducción de los mismos se trata en mayor detalle en secciones posteriores de este documento.

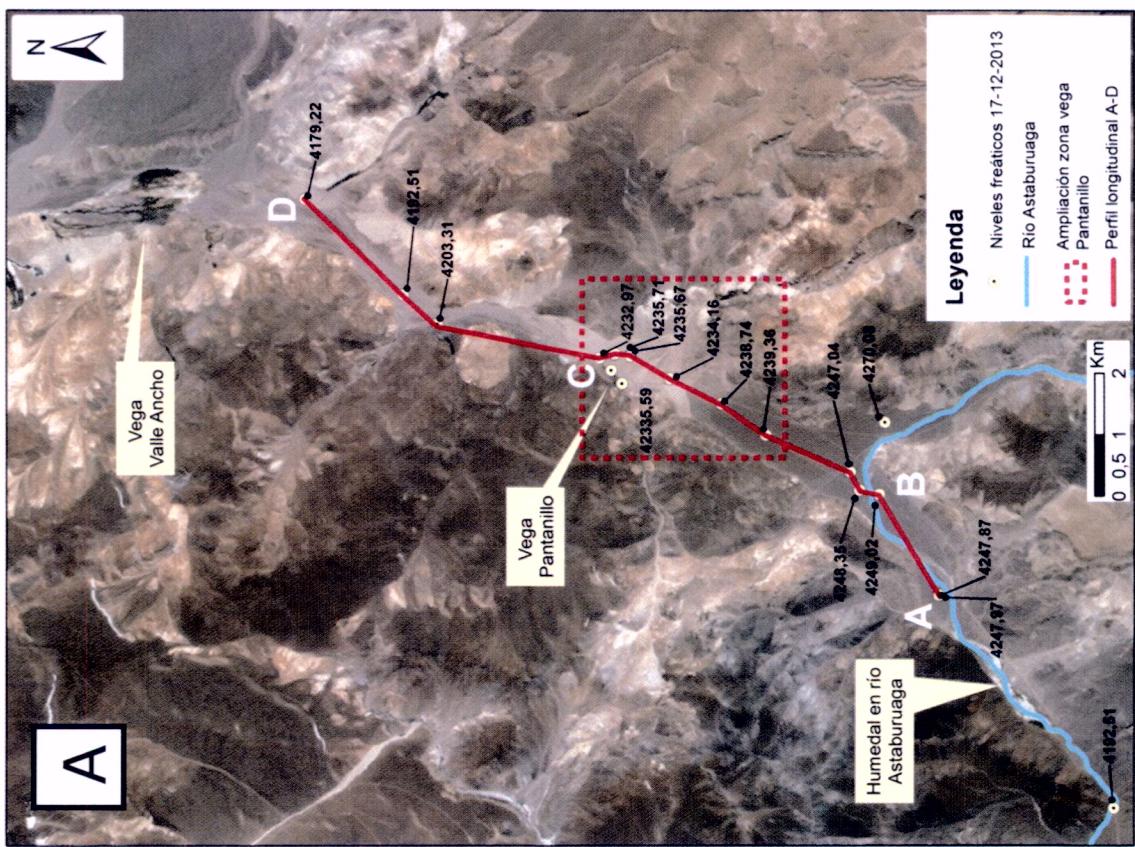
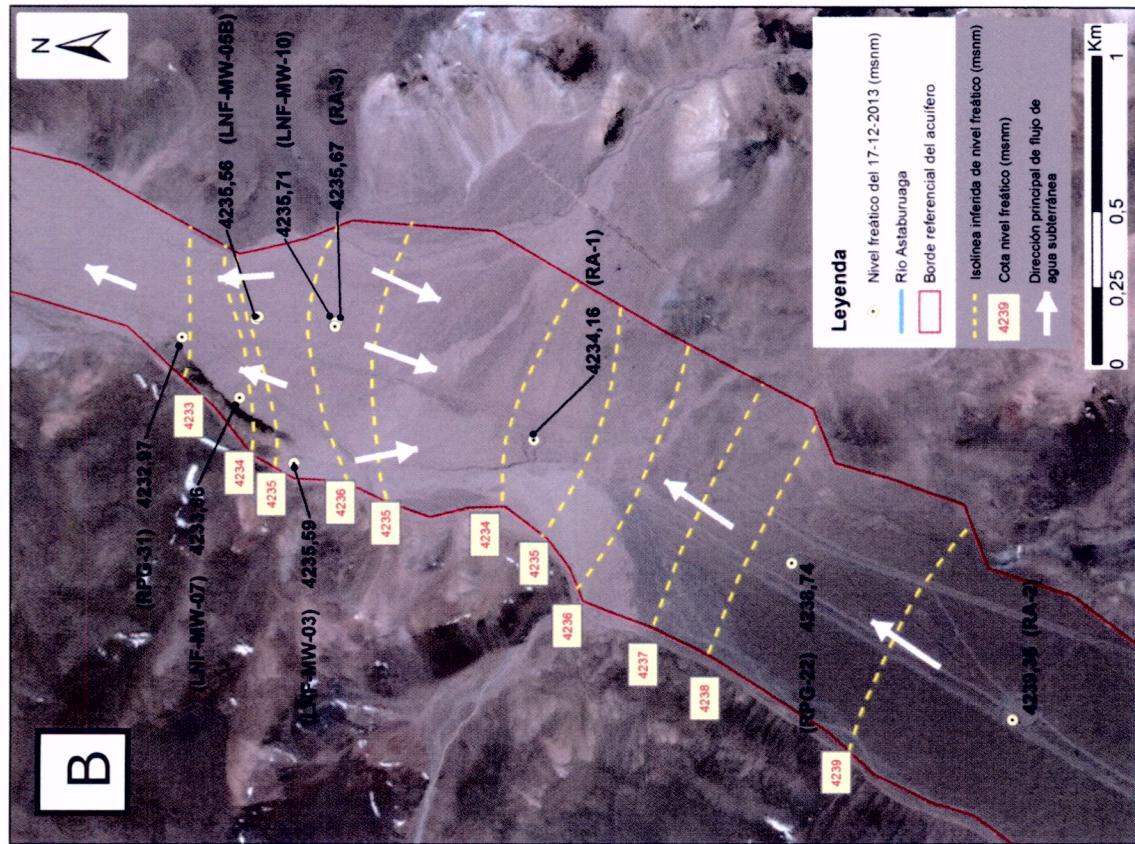


Figura 16: (A) Niveles freáticos medidos el 17/12/2013 e informados por el titular (sólo el dato de RA-1 corresponde a medición del 18/12/2013). El recuadro en línea punteada corresponde a la vista ampliada de la zona de la vega Pantanillo; se presenta el trazado del perfil longitudinal A-D, el cual se detalla en las siguientes figuras. (B) Ampliación de la zona vega Pantanillo; se observa que, en las proximidades del pozo RA-3 y de la vega RA-3 y de la vega Pantanillo, existen niveles freáticos que generan flujos de agua subterránea en dirección norte-sur, hacia el pozo RA-1 (condición de flujo inverso, aspecto profundizado en el numeral 3.4.1 del Oficio). (Elaboración DGA).

En la figura anterior (**Figura 16.A**) se trazó un perfil longitudinal construido en base a los registros de niveles freáticos del 17/12/2013 en los pozos ubicados en las proximidades de la vega Pantanillo. El punto de inicio del perfil coincide con el pozo LNF-MW-01A (punto A), pasando por el pozo RPG-21 (punto B), el pozo RA-3 (punto C) y termina en el pozo LNF-MW-06 (punto D), recorriendo desde el río Astaburuaga hasta las cercanías de la vega Valle Ancho. El perfil longitudinal A-D se muestra en la **Figura 17.A**, el cual es complementado con una vista focalizada del trazo B-D en la **Figura 17.B**. Del análisis de dichos perfiles, se relevan los siguientes aspectos de la zona en estudio:

- La quebrada del río Astaburuaga coincide con la “línea divisoria” del flujo de aguas subterráneas, bifurcando las aguas que fluyen hacia el norte (por el valle Ciénaga Redonda) de las que fluyen hacia el oeste (en dirección a la Laguna Negro Francisco). Este comportamiento es consistente con las descripciones de SERNAGEOMIN (2000), de acuerdo a lo analizado en el punto 3.2de este Oficio.
- Los niveles freáticos medidos el 17/12/2013 dan cuenta de mayores elevaciones del acuífero hacia el sur y menores elevaciones hacia el norte, lo cual genera un gradiente hidráulico (pendiente del acuífero) decreciente en sentido sur-norte. Al respecto, cabe reiterar que el gradiente hidráulico da cuenta de la dirección de flujo del agua subterránea, razón por la cual es posible ratificar una tendencia generalizada de la dirección de flujo en sentido sur-norte a través del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda.
- Los niveles freáticos se aproximan a la superficie del terreno en el entorno de la vega Pantanillo, fenómeno que se evidencia en el pozo LNF-MW-05A y RPG-31, al ser comparados con los pozos que les anteceden. Este comportamiento es consistente con las descripciones hechas por SERNAGEOMIN (2000) y los análisis antes comentados en este Oficio, reflejando la singularidad del acuífero en el sector donde se ubica la vega Pantanillo, donde se genera una importante aproximación entre la cota de terreno y la cota del nivel freático (7 metros y 4,03 metros en los pozos LNF-MW-05A y RPG-31, respectivamente).
- Al comparar la situación de línea base de los niveles freáticos¹⁵, se puede afirmar que los bombeos del campo de pozos Pantanillo han generado descensos del nivel freático por sobre los 3 metros (de acuerdo al Considerando N°3.7.7 de la RCA N°268/2009, “Las estadísticas del nivel piezométrico de los distintos pozos permiten identificar variaciones estacionales y anuales que fluctúan hasta un máximo de 3 metros, asociado potencialmente a las fluctuaciones meteorológicas del área.”, asociándose entonces una variación máxima, propia del acuífero, del orden de 3 metros). Específicamente, la comparación entre la situación medida el 17/12/2013 y la línea base refleja descensos iguales a 6,54 metros, 6,04 metros y 3,73 metros en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, respectivamente. Como se comentará más adelante, esta situación, detectada con los datos del 17/12/2013, se verifica en numerosas otras oportunidades.
- Así también, en la condición de línea base se verifica un gradiente hidráulico en sentido sur-norte que posibilita el flujo de agua subterránea hacia las vegas situadas en el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda. Al graficar la situación del 17/12/2013, se verifica un cambio del gradiente hidráulico. Primeramente, entre el pozo RA-1 y el pozo RPG-22 se constata una reducción del gradiente hacia el norte, lo que implicaría un menor flujo de agua subterránea en esa dirección. Luego, entre los pozos RA-1 y RA-3, el gradiente hidráulico se invierte con respecto a la condición de línea base, modificándose con ello la dirección de flujo de agua subterránea.

En el numeral 3.4.1 de este Oficio, se profundiza el tema de la inversión del flujo de agua subterránea ocurrida en el entorno de la vega Pantanillo.

¹⁵ Para los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, se consideró como línea de base los niveles freáticos informados por el Titular en el EIA Proyecto Refugio CMM (1994), Capítulo 4. Ambiente Físico, Tabla 4.1.6-1.

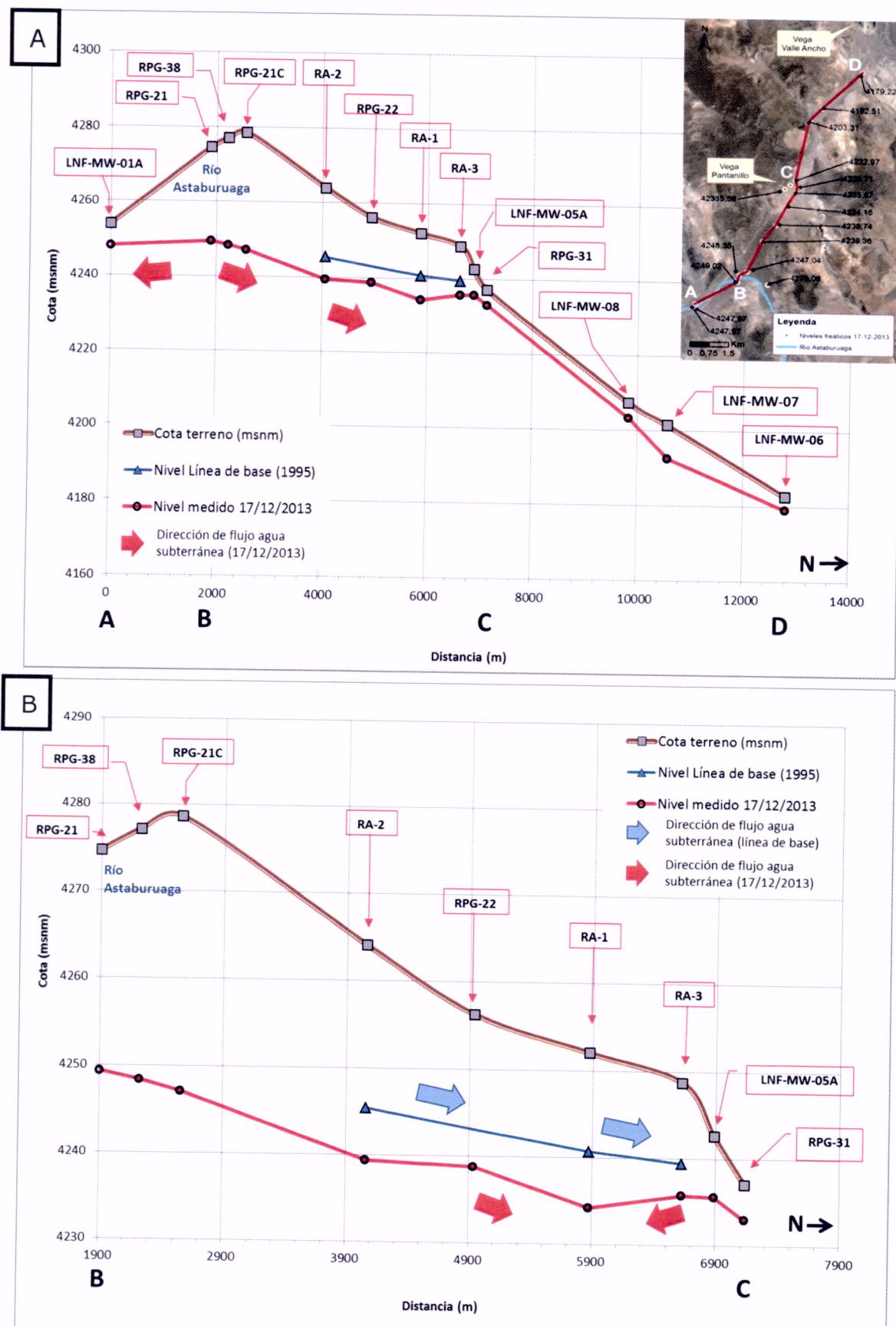


Figura 17: Perfiles longitudinales ilustrativos de la topografía y niveles freáticos del acuífero medidas el 17-12-2013 en distintos pozos próximos a la vega Pantanillo. **(A)** El perfil A-D muestra las direcciones principales del flujo de agua subterránea en el valle Ciénaga Redonda y compara las cotas de terreno con los niveles freáticos, mostrando un acercamiento entre ambas en el sector próximo a la vega Pantanillo (entre los pozos RA-3 y RPG-31). **(B)** Segmento B-C del perfil longitudinal; se observa un cambio en los niveles freáticos entre el pozo RA-2 y RA-3 con respecto a la condición base (1994), lo cual genera modificaciones en la dirección de flujo del acuífero, la cual se ve re establecida hacia al norte desde el sector donde se ubica el pozo LNF-MW-05A, aproximadamente. El desnivel entre los pozos RA-3, MW-05A y RA-1 refleja una condición de flujo inverso (de norte a sur) al sentido observado aguas arriba. Al comparar los niveles estáticos del 17-12-2013 con los niveles base, se verifican descensos mayores a 6 metros en los pozos RA-1 y RA-2, y un descenso de 3,73 metros en RA-3, superando los 3 metros establecidos en la RCA N°268/2009. (Elaboración DGA).

Del análisis de la situación de niveles 2013-2014 es posible concluir lo siguiente:

- Los antecedentes disponibles permiten conocer la situación de los niveles freáticos en el entorno de la vega Pantanillo para el periodo 2013-2014. Las tendencias detectadas en los niveles freáticos fueron coherentes con las descripciones realizadas por SERNAGEOMIN (2000), analizadas en el punto 3.2 de este Oficio. A saber, considerando los datos disponibles, en el entorno de la vega Pantanillo, se puede señalar una tendencia a aumentar la proximidad entre el nivel del agua y la cota del terreno en sentido este-oeste del valle y en el sentido sur-norte. Esta condición puede explicarse por cambios locales en la topografía y la heterogeneidad de los materiales que conforman el acuífero¹⁶.
- Considerando la profundidad del nivel freático informada por el titular en el período 2013-2014 en el entorno de la vega Pantanillo (representada en la **Figura 15**) y dada la condición seca del humedal vega Pantanillo que ha sido verificada y reportada por el MMA, la SMA y el SAG, **se puede afirmar que la sustentación y recuperación de la condición de la vega no es compatible con el nivel freático observado en el período aludido.**
- Se seleccionó la fecha del 17-12-2013 para ilustrar y exemplificar la situación de niveles freáticos en el sector. En dicha fecha, **se constata una inversión del gradiente hidráulico en la zona aledaña a Vega Pantanillo, y consecuentemente, una reducción de flujos hacia aguas abajo. El comportamiento de inversión de flujos se replica en otras fechas, asunto que se aborda en mayor profundidad más adelante en el Oficio.**
- La representación topográfica en el sentido longitudinal devela que el nivel freático y la cota del terreno se condicen con la representación conceptual sugerida por SERNAGEOMIN en su Mapa Hidrogeológico.
- De la comparación entre la situación medida el 17/12/2013 y la línea base aplicable, se detectan **descensos superiores a 3 metros, valor que la RCA N°268/2009 estipula como la mayor fluctuación meteorológica que es representativa del acuífero en la situación sin proyecto.**

3.3.2. Tendencias históricas en los pozos RA y análisis de descensos

En la **Figura 18** se grafican los datos de profundidad del agua considerados para los pozos RA-1, RA-2 y RA-3. La gráfica incluye los registros de distancia entre la superficie del terreno y el nivel freático en el acuífero (medido en metros bajo el nivel del suelo, mbns) reportados en la **Tabla 3**. En la gráfica se observa que el acuífero es más somero en torno al pozo RA-3, seguido por los pozos RA-1 y RA-2. En los tres pozos se observa un incremento paulatino de la profundidad del agua, en comparación con la condición definida de línea base (datos del EIA, 1994) y en comparación a los registros del período 2001-2005 (período de suspensión del proyecto).

En la **Figura 19**, por su parte, se representa el nivel freático en metros sobre el nivel del mar (msnm), lo cual permite comparar, objetivamente e independiente del nivel del terreno, el nivel del agua en el acuífero. Para esta gráfica se seleccionaron sólo los niveles considerados estáticos (sin efecto de bombeo). Tanto para esta figura como para las demás incluidas en este Oficio, para los pozos mencionados se consideraron las cotas de terreno señaladas en el Informe del titular preparado por la consultora Golder Associates (2010) (antecedente 1.3.3); (ver

¹⁶ Estas tendencias podrían ser confirmadas si se dispusiera de los antecedentes hidrogeológicos con los que cuenta el titular (según Anexo 3A y Anexo 3B de los descargos del titular).

Tabla 4).

Tabla 4: Datos de cota del suelo en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 según distintas referencias. Para efecto de los análisis incluidos en este Oficio se consideró la cota de suelo informada por el titular en su Informe Golder 2010. (Elaboración DGA).

REFERENCIA	Cota suelo (msnm)		
	RA-1	RA-2	RA-3
Carta hidrogeológica (SERNAGEOMIN, 2000)	4252,1	4264,2	4248,1
Golder 2010	4252	4264	4248
KINROSS (Informe Seguimiento enviado a DGA, 2013)	4256	4269	sin dato
KINROSS (Datos reportados a SMA, 2014)	sin dato	sin dato	4248,71

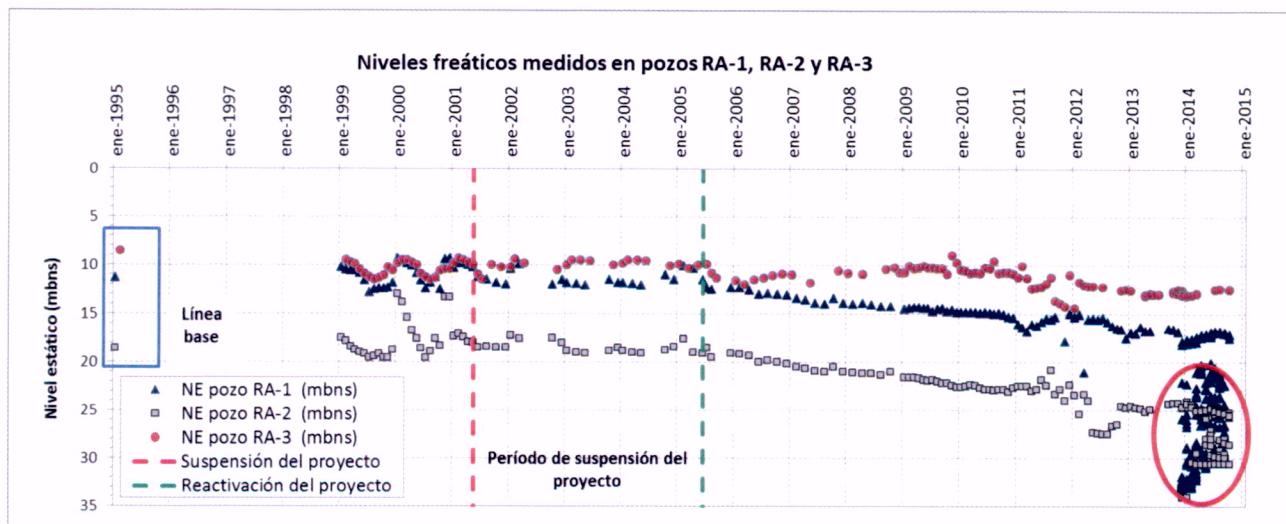


Figura 18: Registros de profundidad del nivel freático en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, en metros bajo el nivel del suelo (mbns); Los datos del EIA (1994) (encerrados a la izquierda en un recuadro azul) corresponden a datos de línea de base, tomados como nivel freático de referencia previo al inicio del proyecto; los niveles entre mayo-2001 y junio-2005 corresponden a datos registrados durante un período de suspensión del proyecto, con bombeos mínimos desde el campo de pozo Pantanillo. Los datos de los pozos RA-1 y RA-2 del año 2014 son destacados con un círculo por tratarse de registros de niveles mixtos, es decir, niveles freáticos dinámicos (con bombeo) y estáticos (sin bombeo), siendo estos últimos los utilizados para compararse con los registros precedentes. (Elaboración DGA).

En la **Figura 19** se comparan los **niveles freáticos estáticos** medidos en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3. Del análisis de los registros resulta relevante señalar que el nivel freático en el pozo RA-3, durante el período de suspensión del proyecto (Mayo-2001 a Junio-2005), presenta un promedio de 4238 msnm (con una variación máxima de 2,1 metros), constatándose que para el período Julio-2005 a Julio-2008 (ya reiniciado el proyecto), el nivel freático promedio disminuyó en 1,2 metros con una variación máxima de 1,4 metros (cota promedio 4236,8 msnm); valor estimado como diferencia de los promedios de ambos períodos: Mayo-2001 a Junio-2005 y Julio-2005 a Julio-2008. La situación antes descrita también queda en evidencia al compararse los registros de los meses de Junio-2005 y Agosto-2005, cuya diferencia se traduce en un descenso igual a 1,4 metros en sólo dos meses de actividad del proyecto, **dando cuenta de la inmediatez del efecto de los bombeos**; estos descensos se mantienen al menos hasta el mes de Febrero-2006, mes en que se alcanza un descenso igual a 2,1 metros respecto del nivel freático medido en Junio de 2005.

Junto con el descenso del nivel freático en el pozo RA-3 comentado anteriormente, la **Figura 19** muestra, para este pozo, una tendencia del nivel freático relativamente estable para el período Julio-2005 a Julio-2008 en comparación con los registros de los años sucesivos. En efecto, esta situación de relativa estabilidad en los niveles freáticos se ve modificada aproximadamente a partir del año 2009, instante a partir del cual se manifiestan mayores descensos y variabilidad en los niveles freáticos estáticos medidos en el pozo RA-3 (nótese que los pozos de bombeo RA-1 y RA-2 tienen una tendencia similar de descenso en el tiempo).

Los descensos del nivel freático en RA-3 pueden explicarse por el incremento en los caudales medios anuales bombeados desde el campo de pozos Pantanillo (los datos de caudales medios anuales son informados por el titular en su Anexo 1 de sus descargos; Informe Técnico de HIDROMAS, 2015, Tabla 4.3; antecedente 1.3.5). Para efecto del presente análisis, se verificó que el promedio de caudales anuales del período 2005-2008 alcanza los 55,9 l/s, mientras que en el período 2009-2014 el promedio se incrementa a 73,6 l/s. El efecto de estos mayores bombeos sobre los niveles freáticos en la proximidad a la vega Pantanillo se ve reflejado con mayor detalle en la **Figura 20** a escala de datos mensuales.

Por otro lado, la **Figura 19** muestra que entre el pozo RA-1 y el pozo RA-3 existió un cambio relevante en sus niveles freáticos. Tanto en la condición de línea de base como durante el período de suspensión del proyecto (Mayo-2001 a Junio-2005; con bombeos mínimos), resulta mayor al nivel freático en el pozo RA-1 que en el pozo RA-3. Esta situación se ve invertida a partir de los registros del 2009, lo cual coincide con el incremento de las tasas de bombeo. Esta relación entre los niveles de RA-1 y RA-3 será abordada específicamente en el punto 3.4.1 de este Oficio, relación que condiciona el gradiente hidráulico del agua subterránea y con ello la dirección del flujo del acuífero en el entorno de la vega Pantanillo.

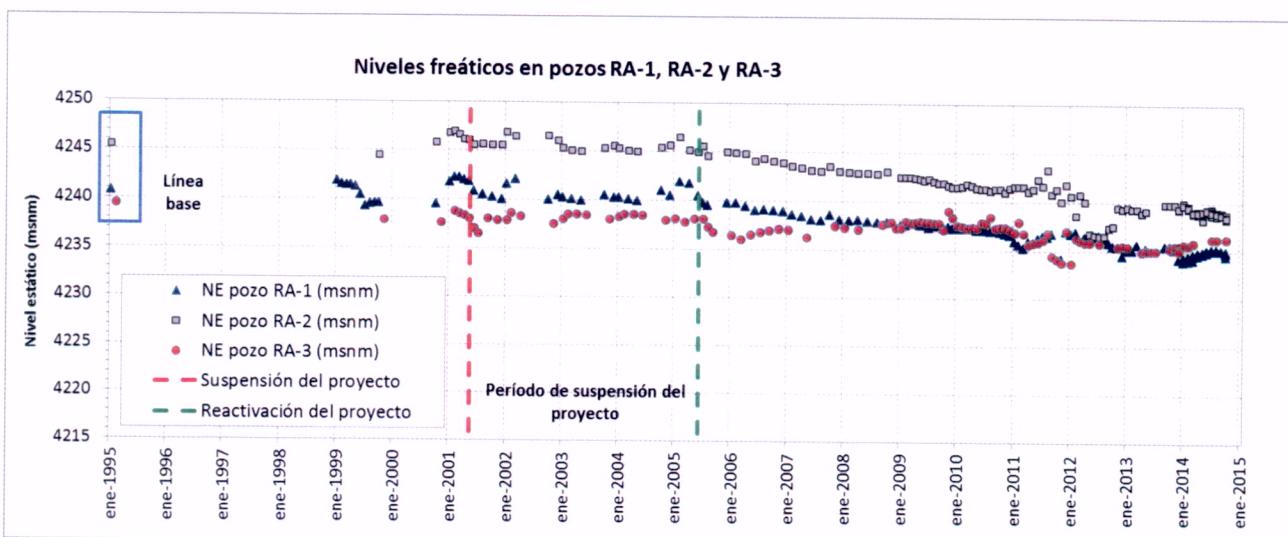


Figura 19: Comparación entre niveles freáticos estáticos medidos en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 en metros sobre el nivel del mar (msnm); Los datos asignados al inicio del año 1995 (encerrados en un recuadro azul) corresponden a la condición de línea base establecida en el EIA (1994); los niveles entre los años 2001 y 2005 corresponden a datos registrados durante un período de suspensión del proyecto (bombeos mínimos desde el campo de pozos). (Elaborado por DGA).

Considerando los niveles freáticos establecidos como línea de base (Tomados del EIA, 1994) para cada uno de los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, se procedió a comparar dichos niveles de referencia con los registros de nivel freático disponibles para el período 1999-2014. Los resultados de este análisis se presentan en la **Tabla 5** y a continuación se enuncian las observaciones extraídas:

- Para el pozo RA-1 se realizaron 193 comparaciones de niveles freáticos. De este total, se detectó que en 169 casos (88%) el nivel freático resultó por debajo de la condición de línea base y en sólo 24 casos (12%) resultó en una condición más favorable para el acuífero durante el período 1999-2014. Resulta relevante señalar que se detectaron 121 casos en los que el descenso del acuífero en el pozo RA-1 resultó mayor a 3 metros, valor establecido en el Considerando N°3.7.7 de la RCA N°268/2009 como atribuible a "fluctuaciones meteorológicas".
- Para el pozo RA-2 se realizaron 316 comparaciones de niveles freáticos. De este total, se detectó que en 287 casos (91%) el nivel freático resultó por debajo de la condición de línea base y en sólo 28 casos (9%) resultó en una condición más favorable para el acuífero. Así también, se detectó que de los 287 casos antes señalados, en 244 ocasiones se midieron descensos mayores a 3 metros y todos ocurrieron con posterioridad al reinicio del proyecto (Junio-2005).
- Para el pozo RA-3 se realizaron 140 comparaciones de niveles freáticos. De este total, se detectó que en el 100% de los casos el nivel freático resultó por debajo de la condición de

línea base, lo cual indica que desde el inicio del proyecto el pozo RA-3 no ha superado la condición establecida como nivel de referencia. Así también, se detectó que en 47 ocasiones (34% del total de los casos analizados), se midieron descensos mayores a 3 metros, presentándose todos después de Junio de 2005.

- En atención al incremento de los caudales medios anuales bombeados desde el año 2009, situación comentada precedentemente, se puede señalar que se disponen de 73 registros de niveles freáticos en el pozo RA-3 para el período Enero-2009 a Octubre-2014 (52% de la base de datos completa para este pozo), de los cuales 45 registros reflejan un descenso mayor a 3 metros por debajo de la condición de línea de base (tomados del EIA, 1994).

Los resultados anteriormente comentados son resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 5: Resultados de la comparación de niveles freáticos estáticos medidos (NE_{MEDIDO}) informados por el titular en el período 1999-2014, con los respectivos niveles freáticos estáticos definidos como línea de base ($NE_{LÍNEA BASE}$). El análisis se realizó considerando el signo y la magnitud de la diferencia entre niveles estáticos comparados (Δh). (Elaboración DGA).

Análisis	RA-1		RA-2		RA-3	
	Resultado	%	Resultado	%	Resultado	%
Nº total de comparaciones de niveles ($\Delta h = NE_{MEDIDO} - NE_{LÍNEA BASE}$)	193	-	316	-	140	-
Nº de comparaciones con $\Delta h < 0$ m	169	88%	287	91%	140	100%
Nº de comparaciones con $\Delta h > 0$ m	24	12%	28	9%	0	0%
Nº de comparaciones con $\Delta h = 0$ m	0	0%	1	0%	0	0%
Nº de comparaciones con $\Delta h < -3$ m (1999-2005)	1	1%	0	0%	0	0%
Nº de comparaciones con $\Delta h < -3$ m (2006-2014)	121	63%	244	77%	47	34%

Los niveles freáticos medidos en el pozo RA-3 fueron comparados con los caudales de bombeo medios mensuales desde el campo de pozos Pantanillo durante el período 2009-2015¹⁷. La **Figura 20** muestra tendencias opuestas entre ambas variables consideradas. A saber, mientras los caudales de bombeo medios mensuales han tendido a incrementarse en el tiempo, el nivel freático se ha profundizado en el pozo RA-3. Además, se puede afirmar que, para el período 2009-2015, el ejercicio de los derechos de aprovechamiento por parte del titular, aun estando restringidos a 95 l/s por la RCA N°004/2004 (Resuelvo N°3.3 – Letra h), han generado reiteradamente descensos del nivel freático en una magnitud mayor a 3 metros en el pozo RA-3 (descenso atribuible a “fluctuaciones meteorológicas”, según lo establecido en el Considerando N°3.7.7 de la RCA N°268/2009).

¹⁷ Desde Octubre-2012 a Marzo-2015, los caudales medios mensuales fueron extraídos desde el Informe Técnico de HIDROMAS (2015), antecedente 1.3.5 del Oficio.

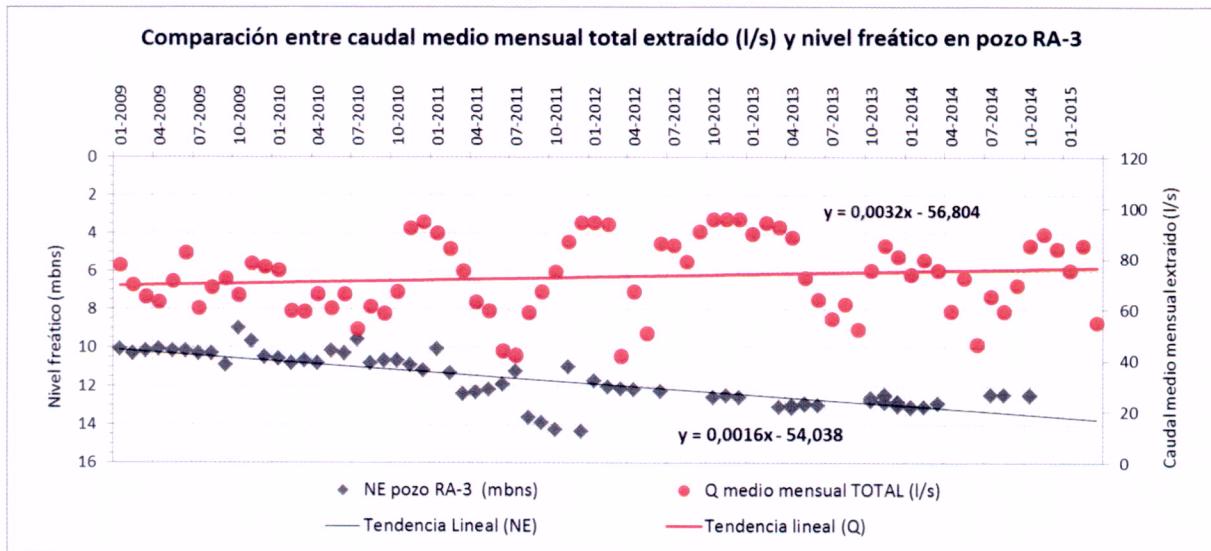


Figura 20: Comparación entre el caudal medio mensual total extraído en el campo de pozos Pantanillo y el nivel freático medido en el pozo RA-3. La gráfica refleja una tasa promedio de descenso en el nivel estático (NE) del orden de 0,16% en el período analizado (2009-2015), versus una tasa de incremento de 0,32% del caudal medio mensual. (Elaboración DGA).

En el siguiente gráfico (**Figura 21**) se presenta un acercamiento a los datos de nivel freático del pozo RA-3 durante el período de suspensión del proyecto. Se aprecia claramente el efecto de “recuperación” que ocurre luego de suspender el proyecto (período 2001-2005), y el efecto de “depresión” que ocurre al reactivar el bombeo. En la medición de julio de 2005, que es la primera posterior a la reactivación del bombeo en junio de 2005, se alcanza ya un nivel que está bajo el rango de todas las mediciones realizadas durante los 4 años que duró el período de suspensión.

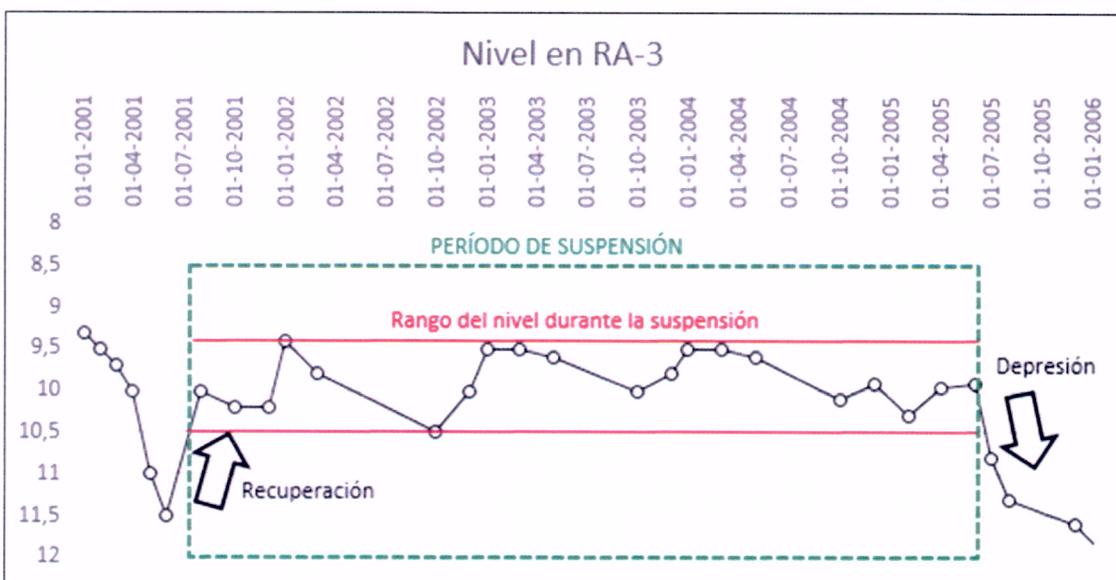


Figura 21: Registro de niveles freáticos del agua subterránea medida en pozo RA-3 (mbns) durante el período de suspensión del proyecto. En la figura se indica mediante flechas la recuperación y depresión del acuífero una vez suspendido y reiniciado el proyecto (junio de 2001 y julio de 2005). Durante el período de suspensión, los niveles en el pozo RA-3 se registraron dentro de una oscilación máxima de 2,1 metros, siendo superada con el registro del mes siguiente de reinicio del proyecto.

Según la figura anterior, tan solo **1 mes después de reactivar el bombeo ya es posible apreciar un efecto en los niveles de RA-3.**

Por otra parte, el Considerando N°3.7.7 de la RCA N°268/2009 se indica: “*Las estadísticas del nivel piezométrico de los distintos pozos permiten identificar variaciones estacionales y anuales que fluctúan hasta un máximo de 3 metros, asociado potencialmente a las fluctuaciones meteorológicas del área*”.

En el siguiente gráfico (**Figura 22**) se aprecia que, luego de la reactivación del bombeo se produce un descenso sostenido durante 6 meses hasta alcanzar -en la medición de diciembre del año 2005- el mínimo nivel atribuible a fenómenos naturales determinado por el mismo Titular, el cual es superado en la siguiente medición que corresponde al mes de febrero de 2006.

Siendo así, es claro que **6 meses después de reanudar el bombeo se alcanza el límite de lo que el titular definió como el rango natural**. Con ello, resulta inevitable concluir que luego de 6 meses de reactivado el bombeo ocurre un efecto de descenso en el nivel freático medido en el pozo RA-3.

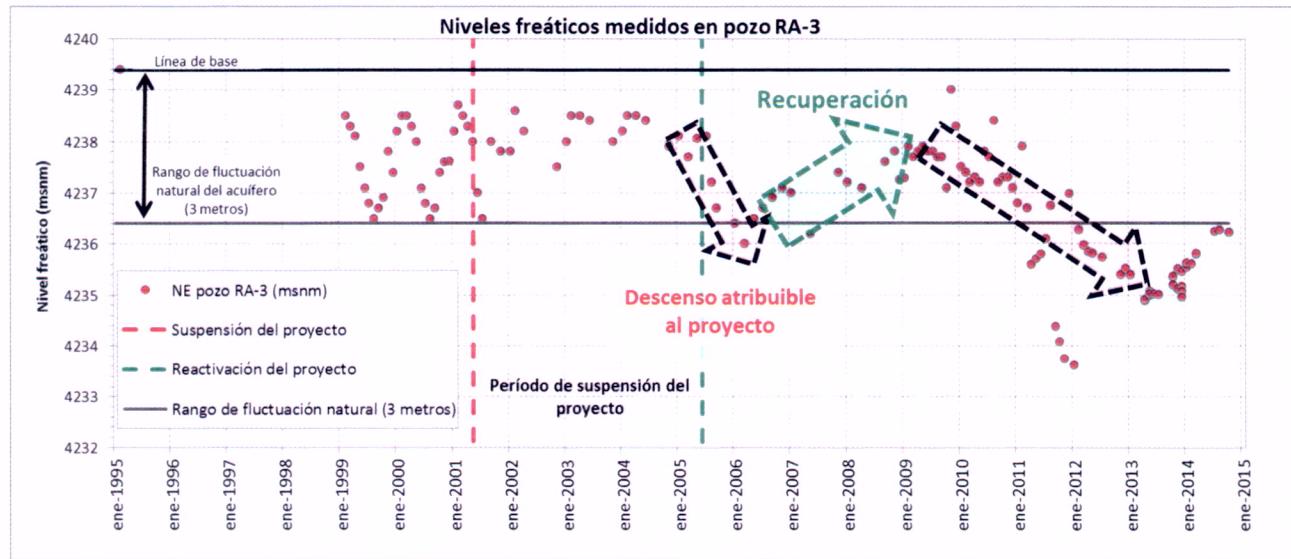


Figura 22: Niveles freáticos medidos en pozo RA-3 (mbns) con énfasis en las tendencias de descensos y recuperación de niveles después del reinicio del proyecto en junio de 2005. (Elaborado por DGA).

No obstante lo anterior, se observa posteriormente una recuperación en los niveles del pozo RA-3 entre el año 2006 y 2010, y luego de ello un descenso sostenido que también alcanza valores bajo lo establecido como propio de condiciones naturales, por lo que es también atribuible al proyecto.

Por último, al comparar los caudales bombeados desde RA-1, RA-2 y la respuesta del pozo RA-3 se aprecia que existe una respuesta rápida del pozo RA-3 ante los bombeos desde RA-1, que es el pozo más cercano (ver **Figura 23**).

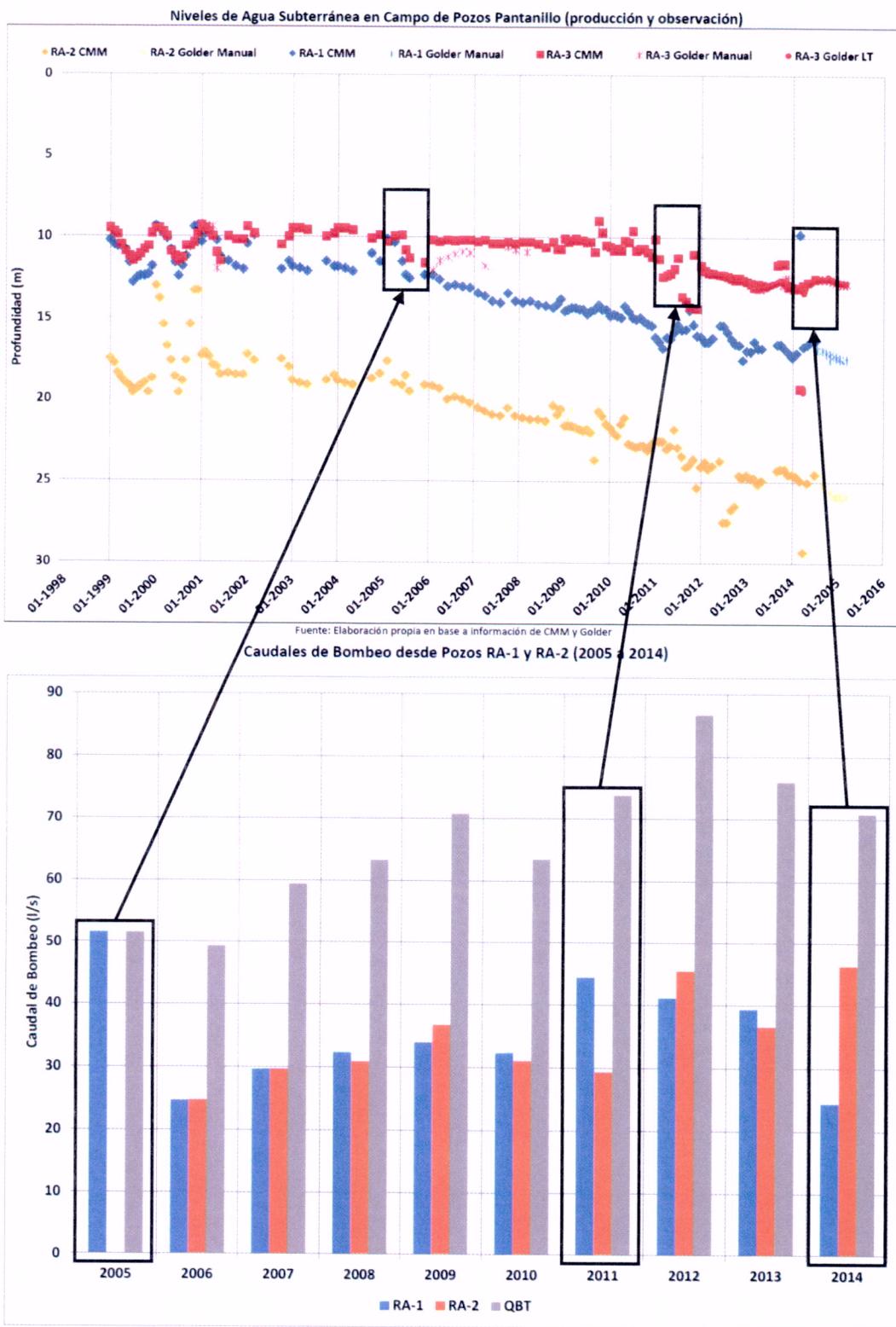


Figura 23: Comparación de registros de profundidad de nivel freático medido en los pozos RA-1 RA-2 y RA-3, con los caudales de bombeo anual desde los pozos RA-1 y RA-2. Las graficas corresponden a las Figuras 4.4 y 4.3 del Anexo 1 de los descargos del titular (Informe Técnico de HIDROMAS, 2015).

Los datos de caudales indican que el año 2005, cuando se reinició el bombeo, la totalidad del caudal promedio de 50 l/s fue bombeado desde RA-1, lo cual puede explicar el descenso pronunciado que se midió el mismo año en RA-3. A partir del siguiente año el caudal bombeado desde RA-1 se redujo a la mitad, lo cual propició una recuperación de los niveles en RA-3.

En los siguientes años el caudal de bombeo desde RA-1 fue aumentando progresivamente hasta que en el año 2011 hubo nuevamente un aumento significativo del bombeo desde RA-1. Respecto de este período, se cuenta con datos a escala mensual que muestran que entre diciembre de 2010 y abril de 2011 prácticamente no se bombeó desde el pozo RA-2, mientras que el caudal bombeado desde RA-1 aumentó notoriamente, pasando de valores entre 30 y 40

l/s a valores sobre los 50 l/s, llegando incluso a superar los 80 l/s en enero y febrero de 2011 (ver **Figura 24**). Este aumento en el bombeo desde el pozo RA-1 coincide nuevamente con descensos notorios en el pozo RA-3 ocurridos el mismo año 2011 (como se muestra en la **Figura 23**).

Por el contrario, en el año 2014 el caudal bombeado desde RA-1 se redujo respecto del año anterior, lo cual se tradujo en un aumento en los niveles del pozo RA-3.

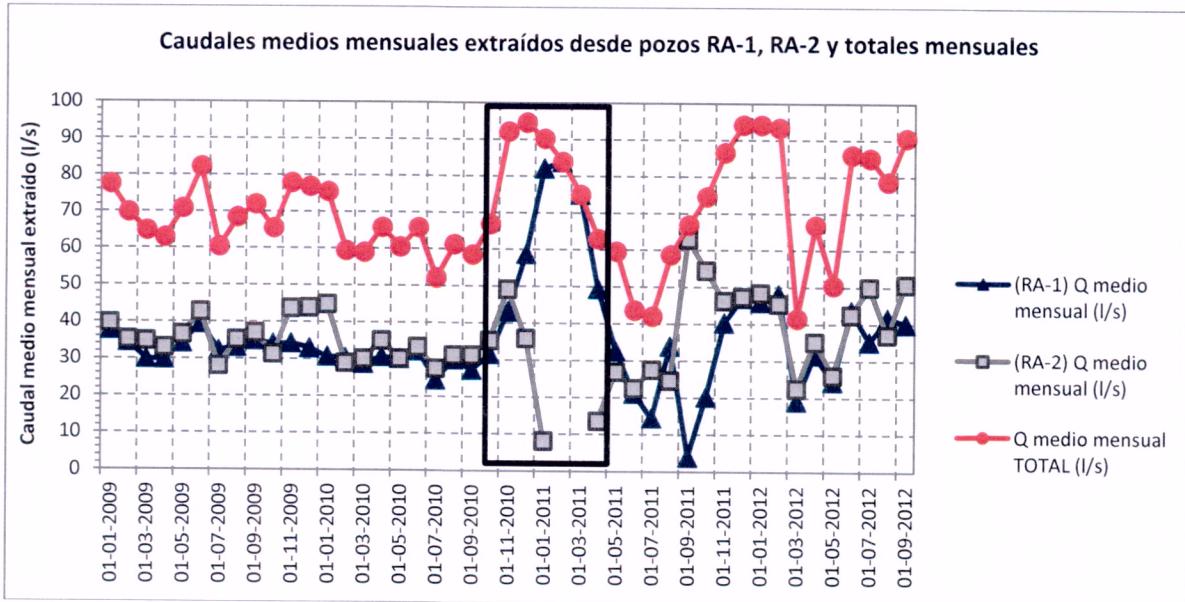


Figura 24: Comparación entre los caudales medios mensuales extraídos desde los pozos RA-1, RA-2 y el caudal total, entre enero de 2009 y septiembre de 2012. (Elaborado por DGA).

En coherencia con el desarrollo de este apartado, es posible concluir lo siguiente:

- Al revisar los datos históricos de los niveles freáticos para los pozos RA, se evidencia una tendencia relativamente constante, con variaciones estacionales, hasta el año 2005, detectándose luego descensos comparativamente mayores a los predecesores, lo cual coincide con el reinicio del proyecto en junio del año 2005.
- En particular, se constata que luego de 1 mes de reiniciado el proyecto, el nivel del pozo RA-3 descendió por debajo de todos los registros de nivel freático medidos durante el período de suspensión del proyecto. Esta tendencia se mantuvo en los meses siguientes hasta febrero de 2006, mes en que se alcanza un descenso igual a 2,1 metros respecto del nivel freático medido en Junio de 2005. Los datos indican que a los **6 meses de reiniciado el proyecto el descenso sobrepasó los 3 metros respecto del nivel de línea de base**, magnitud establecida en la RCA N°268/2009 como valor de fluctuación máxima atribuible a fenómenos meteorológicos.
- Desde el año 2009 en adelante se aprecia que el nivel freático del pozo RA-3 se deprime de manera más acentuada, lo que en opinión de este Departamento tiene su mayor explicación en el incremento del ritmo de explotación de los pozos RA-1 y RA-2, asunto observado a partir de los datos de caudal acompañados por el titular.
- Al contrastar los registros históricos de los pozos RA para el período 1999-2014 con los niveles referenciales de línea de base, se tiene que del total de comparaciones un 95% de las mediciones se ha encontrado a cotas inferiores a dichos niveles referenciales, mientras que un 76% de ellas supera el descenso de 3 metros establecido en la RCA N°268/2009 como valor de fluctuación máxima atribuible a fenómenos meteorológicos.

3.4. Antecedentes técnicos que sustentan la susceptibilidad de generación de efectos adversos sobre el acuífero y las vegas del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda

Entendiendo que la variable “nivel de aguas subterráneas” gobierna el funcionamiento de los sistemas vegetacionales, en este apartado se abordan diferentes enfoques metodológicos para evaluar la situación de niveles histórica y de niveles esperables en el caso de continuar la extracción de aguas desde los pozos RA-1 y RA-2. Lo anterior, con el fin de revisar argumentos técnicos, tanto propios como del titular, para descartar o sustentar la susceptibilidad de generación de efectos adversos sobre el acuífero y las vegas del corredor biológico, incluyendo aquellos efectos que no hayan sido recogidos en evaluaciones ambientales en el SEIA.

Específicamente, en los numerales 3.4.1 (Inversión de flujo), 3.4.3 (Estimación de descensos en vega Valle Ancho) y 3.4.4 (Recarga en cabecera) se tratan aspectos técnicos generados por este Departamento, mientras que, en los numerales 3.4.2 (Modelo numérico Golder 2010) y 3.4.5 (Descargas presentados por CMM), se examinan antecedentes hidrogeológicos que el propio titular ha desarrollado.

3.4.1. Inversión de flujo

El término “inversión de flujo” fue introducido en el presente Oficio a partir de las observaciones realizadas a la **Figura 17**, la cual describe el estado de los niveles freáticos medidos en el acuífero el pasado 17/12/2013. El análisis expuesto a continuación tiene por objeto ilustrar que la situación graficada para la fecha mencionada no corresponde a un evento puntual, **sino a una situación que ha sido reiterada a lo largo del tiempo, con distinta frecuencia y duración**.

En la **Figura 25** se grafican los niveles freáticos estáticos registrados en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3. Como se señaló en el análisis expuesto en el punto 3.3.2 de este Oficio, dentro del período 1995-2014 se verifican cambios importantes en los niveles freáticos de estos pozos. Puntualmente en relación con sus magnitudes, dentro del período 1995-2005 los niveles se encuentran en orden decreciente de sur a norte (RA-2 > RA-1 > RA-3). Sin embargo, después del año 2005 (posterior al reinicio de los bombeos del proyecto) el orden de las magnitudes de los niveles freáticos medidos se ve modificado, presentándose del modo RA2 > RA-3 > RA-1. Ambos períodos son graficados de forma separada en la **Figura 26**.

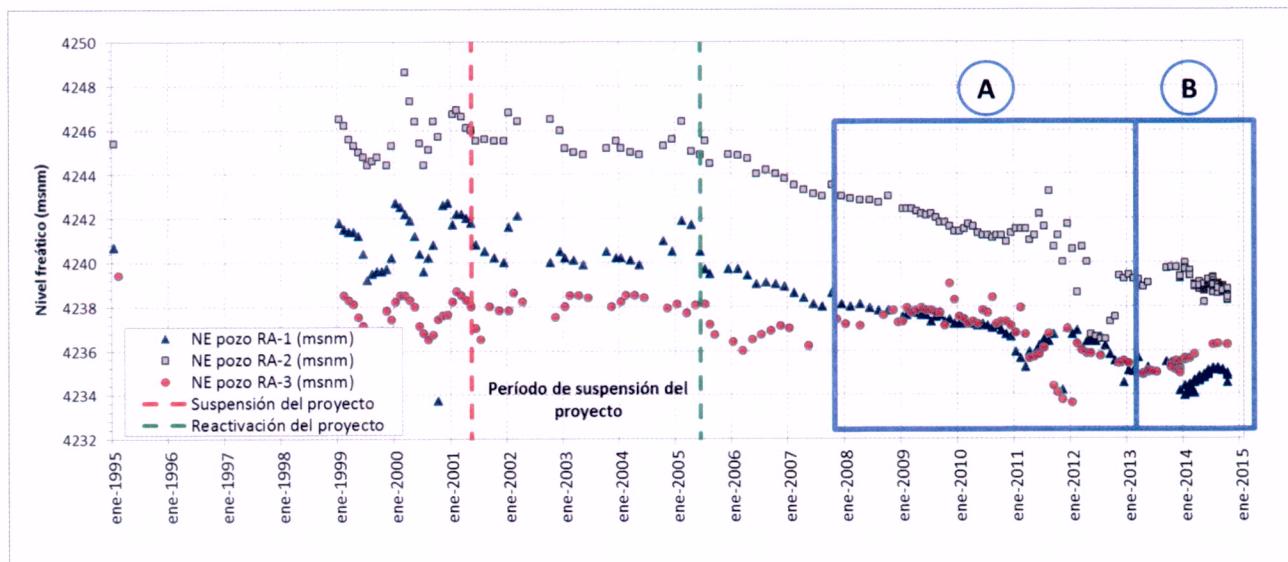


Figura 25: Niveles freáticos estáticos registrados en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 desde 1995 a 2015. (Elaboración DGA).

Del total de comparaciones entre niveles freáticos registrados en los pozos RA-3 y RA-1 (84 casos), se detectó que el pozo RA-3 ha presentado niveles mayores al del pozo RA-1 en 38

ocasiones (45%)¹⁸. A su vez, los subperíodos A y B, mostrados en la **Figura 25** y representados en detalle en la **Figura 26**, reflejan la duración y frecuencia con que ha ocurrido la relación de niveles freáticos RA-3 > RA-1. Se destaca que la relevancia de esta condición radica en la ocurrencia de una modificación importante del gradiente hidráulico en sentido norte-sur, que conlleva cambios del flujo de agua subterránea en dicho sentido (opuesto a la condición de línea de base), desde la zona más próxima a la vega Pantanillo hacia los pozos de bombeo. Esta condición fue ejemplificada para los datos del 17/12/2013 y es graficada en el perfil de la **Figura 17.B**.

Para la **Figura 26.A** (período Enero-2008 a Enero-2013), se detectan 3 períodos de tiempo donde el nivel freático del acuífero es más elevado en el pozo RA-3 que en el pozo RA-1. Estos períodos de tiempo se presentaron entre Febrero y Septiembre de 2009 (8 meses), entre Noviembre de 2009 y Marzo de 2010 (5 meses), y entre Noviembre de 2012 y Enero de 2013 (3 meses). En el caso de la **Figura 26.B** (grafica del período Enero-2013 a Octubre-2014), se observan 2 períodos donde ocurre la situación comentada: entre Noviembre de 2013 y Marzo de 2014 (5 meses), y entre Julio y Octubre 2014 (4 meses).

Como complemento al análisis desarrollado, cabe señalar que toda extracción de agua subterránea genera una modificación en los niveles freáticos de un acuífero, lo que consecuentemente **modifica las direcciones de flujo**, capturándose parte de las aguas que circulan en el entorno de un pozo con bombeo, ello dentro de un área acotada por un "radio de influencia"¹⁹. En general, a medida que el caudal de bombeo se incrementa, el radio de influencia crece y los efectos de una extracción se hacen perceptibles a mayor distancia. El efecto perceptible del bombeo es el descenso del nivel freático medido en distintos puntos del acuífero, cuya consecuencia inherente es la alteración de las direcciones y magnitudes del flujo de agua, viéndose reducido el flujo pasante hacia aguas abajo del pozo de bombeo. Asimismo, la propagación de los descensos en el acuífero y los cambios en las direcciones de flujo pueden extenderse de manera disímil en torno al pozo producto de la heterogeneidad del acuífero.

¹⁸Cálculo realizado en base a la comparación de niveles freáticos informados por el titular, considerando las mediciones de nivel freático estático (sin bombeo en RA-1), para registros coincidentes o próximos (rango de días) en su fecha de medición.

¹⁹Distancia desde el eje de un pozo de bombeo o de recarga, a la cual los efectos del pozo en la superficie piezométrica o freática dejan de ser perceptibles. Tomado del Glosario Hidrológico UNESCO: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/ES/GF0964ES.HTM>

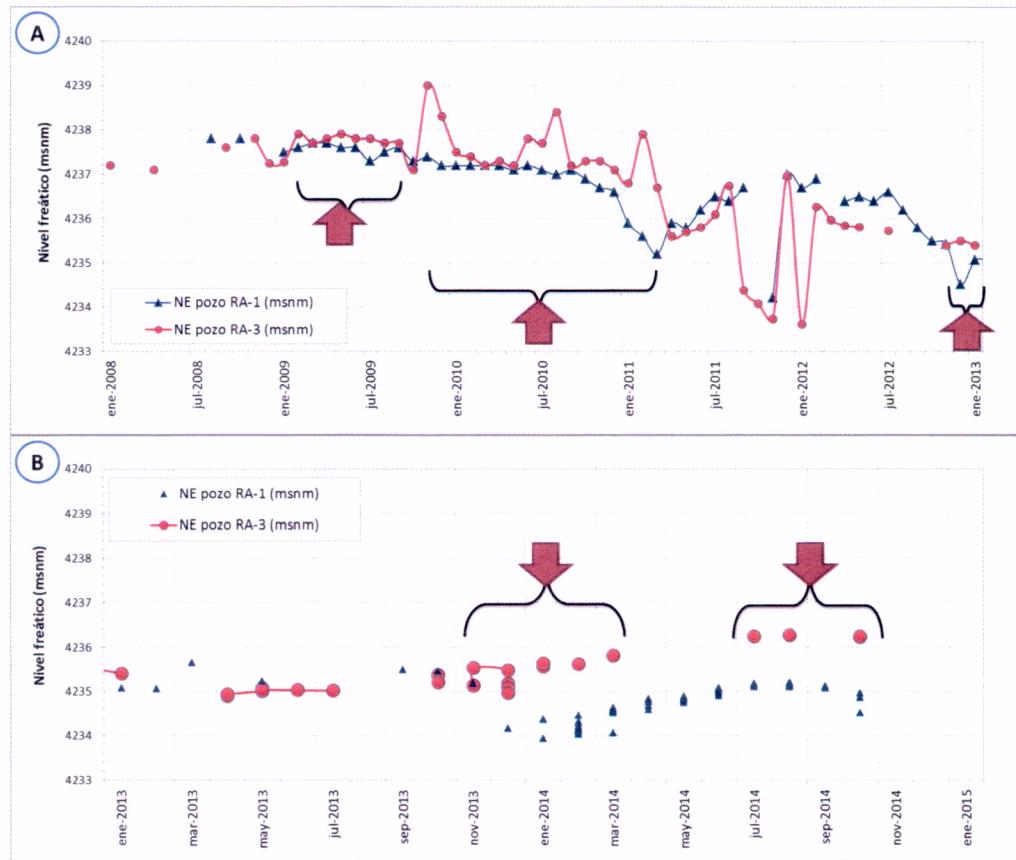


Figura 26: Comparación de niveles freáticos estáticos medidos en los pozos RA-1 y RA-3. Se indica mediante flechas los períodos en que el nivel freático en el pozo RA-3 resulta mayor al del pozo RA-1, debido a los bombeos desde el campo de pozos Pantanillo. La condición de niveles freáticos RA-3 > RA-1 se relaciona con la condición de inversión del flujo de agua subterránea generada en el entorno de la vega Pantanillo y, por consiguiente, se produce una reducción del flujo pasante por el acuífero hacia el norte (en dirección a vega Valle Ancho). (Elaboración DGA).

Sobre la base de los antecedentes expuestos, se concluye lo siguiente:

- Se verificó que desde Enero-2008 se produjeron cinco períodos en que ocurrió una inversión en las magnitudes de los niveles freáticos en los pozos, es decir, los niveles freáticos medidos pasan de una relación RA-1>RA-3 a RA-3>RA-1. Esta inversión da cuenta de un cambio en el gradiente hidráulico entre ambos pozos (flujos de agua subterránea desde el sector próximo a la vega Pantanillo hacia el pozo de bombeo RA-1).
- Resulta relevante señalar que el incremento en los caudales de bombeo desde el campo de pozos generó aumentos en los descensos del nivel freático en el pozo RA-3 (así como en otros pozos comentados en este Oficio) y reducciones de flujo del agua subterránea hacia el norte del valle, lo cual configura un escenario desfavorable para sustentar la existencia tanto de la vega Pantanillo como de las vegas existentes hacia el norte.
- La tendencia de largo plazo en la situación con bombeo muestra que el descenso de los niveles freáticos hacia el norte del campo de pozos continuará. Por ser el nivel freático el factor que controla la existencia de estas vegas, el descenso de los niveles podría generar efectos adversos sobre las vegas del corredor biológico.

3.4.2. Modelo numérico Golder 2010

La presentación de un modelo numérico para el sector se hace en el contexto de los compromisos voluntarios asumidos por el titular en la RCA N°268/2009 que aprobó ambientalmente la DIA 'Optimización Proceso Productivo Proyecto Refugio'. En el Considerando 6.2 de dicha Resolución se expresa que "**Para evaluar y comprender la dinámica hídrica actual y futura del sector donde desarrolla su proyecto minero, el Titular realizará un estudio que analice en detalle la hidrología e hidrogeología del área**, el que presentará a la DGA, Región de Atacama. Dicho Estudio se realizará previa presentación de sus contenidos y metodología, a la DGA, Región de Atacama. Luego serán remitidos a la DGA, Región de

Atacama, y CONAMA, Región de Atacama, un informe parcial dentro de los 3 meses siguientes, contados desde la fecha de notificación de la RCA y un informe con los resultados finales a más tardar durante el primer semestre del año 2010.”. (Énfasis agregado).

En este ámbito, Golder Associates (2010) desarrolló un modelo de flujo, utilizando el Código Modflow-2000 (modelo numérico de flujo en diferencias finitas), implementado en la plataforma visual “Groundwater Modeling System” GMS 7.1. Cabe señalar que esta versión comercial del software ya no se encuentra disponible, razón por la cual el titular procedió a llevar todas las simulaciones a la versión actual GMS 10.0, siendo ejecutado el modelo igualmente con Modflow-2000.

En esta sección se revisa exhaustivamente el modelo presentado. Para la observación del mismo, se ha tenido en cuenta un conjunto de criterios técnicos utilizados por este Servicio para la revisión de este tipo de herramientas predictivas, muchos de los cuales son recogidos y profundizados en la “Guía para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA” (SEA, 2012). Para efectos del presente Oficio, se ha utilizado la citada Guía considerando que ésta establece “una base en cuanto a los contenidos mínimos que deben acompañar una modelación”, y entrega “criterios útiles para la elaboración de un modelo en sus distintas etapas, mejorando así el nivel de confianza en los resultados.”. **Sobre lo anterior, cabe destacar que, aun cuando los procesos de evaluación en análisis son anteriores a la publicación de la referencia anterior, durante dichos procesos ya se encontraban disponibles lineamientos técnicos internacionales, de público conocimiento, vinculados con modelación hidrogeológica** (Manuales del software Modflow, Guía de la USEPA, entre otros).

El título 3.3 de la Guía ‘Modelo Numérico’, señala que “La conceptualización del sistema acuífero permite disponer de un marco simplificado, pero aún continuo y con los elementos reales del sistema hidrogeológico, tales como ríos, límites hidrológicos y/o geológicos, tasas de precipitación, entre otros.”. De este modo, se considera que un modelo numérico debe incluir características del área de estudio y su comportamiento en el tiempo. De acuerdo con la Guía del SEA, a continuación se enuncian los atributos básicos que se deben definir en la construcción del modelo numérico, siendo estos verificados y comentados en este apartado:

- Límites y geometría del área o dominio de modelación.
 - Nivel de detalle de la discretización.
 - Tipo de modelo en relación con la dinámica temporal
 - Condiciones de borde y condiciones iniciales.
 - Tasas de recarga y otros flujos de entrada/salida.
 - Asignación de parámetros al modelo (parámetros de flujo).
- **Límites y geometría del área o dominio del modelo**

En cuanto a la geometría del modelo, se verificó que ésta fuera representativa del área de influencia del campo de pozos Pantanillo. En este sentido, se revisó el modelo en cuanto al área considerada, la topografía, la delimitación de la base del acuífero y su ancho en profundidad.

En lo que se refiere al área abarcada por el modelo, en la

Figura 27se muestran los límites del área adoptada para la simulación de flujo, incluyendo en ella parte de la cuenca del río Astaburuaga (al sur) y por el norte hasta antes de la vega Valle Ancho.

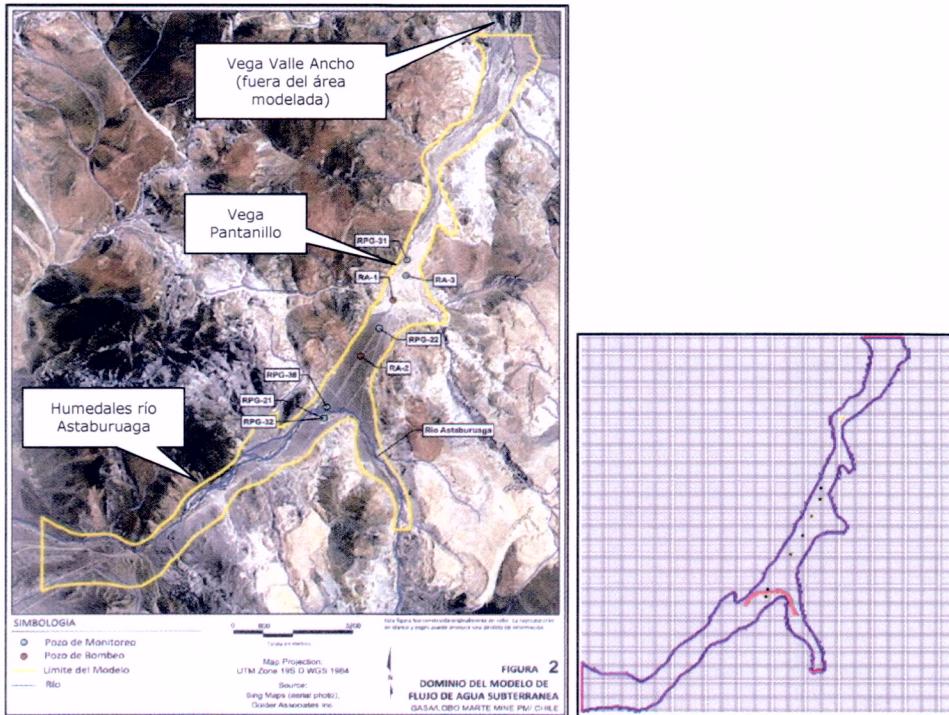


Figura 27: (izquierda) Área de estudio considerada por el modelo numérico (Tomado de: Figura 2, Informe Técnico Golder 2010); (derecha) Vista en planta de la malla de diferencias finitas del modelo numérico Pantanillo (imagen extraída desde el software GMS).

Con respecto a la revisión de la cota superior del modelo, se detectó que éste utiliza una grilla cuya matriz de datos de elevaciones topográficas presenta un único valor, es decir, se utiliza un modelo con una topografía plana con cota igual a 4250 msnm (ver **Figura 28.a)). Esta condición impuesta al modelo no representa la topografía de la zona**, la cual varía verticalmente 100 metros aproximadamente, entre la cabecera de la cuenca y la vega Valle Ancho, lo cual se verifica en el perfil hidrogeológico longitudinal del valle Ciénaga Redonda incluido en la **Figura 12** en el punto 3.2 de este Oficio.

En cuanto a la revisión de la cota inferior del modelo (base del acuífero), se verificó que éste utiliza una grilla cuya matriz de datos de cotas del fondo del acuífero es variable dentro del área modelada, presentando un incremento del espesor del acuífero en sentido sur – norte, con la menor profundidad al sur (cota 4180 msnm) y una mayor profundidad del acuífero al norte (cota 4066 msnm) donde se aproxima a la vega Valle Ancho (ver **Figura 28.b)). Esta condición impuesta al modelo no se ajusta a las características del acuífero** según se grafica en el perfil hidrogeológico longitudinal del valle Ciénaga Redonda incluido en la **Figura 12** del punto 3.2 de este Oficio.

De igual forma, se identificó que el modelo asume un ancho constante del acuífero (ver **Figura 28.c)). Esta condición resulta ser una descripción poco representativa de un acuífero del tipo sedimentario**, donde además existen variaciones verticales de los materiales depositados en la cuenca (según da cuenta tanto la Carta Hidrogeológica elaborada por SERNAGEOMIN, como los antecedentes estratigráficos de los pozos construidos por el titular y reportados en el Informe de Golder 2010). Lo anterior se traduce en una geometría del modelo poco característica del acuífero.

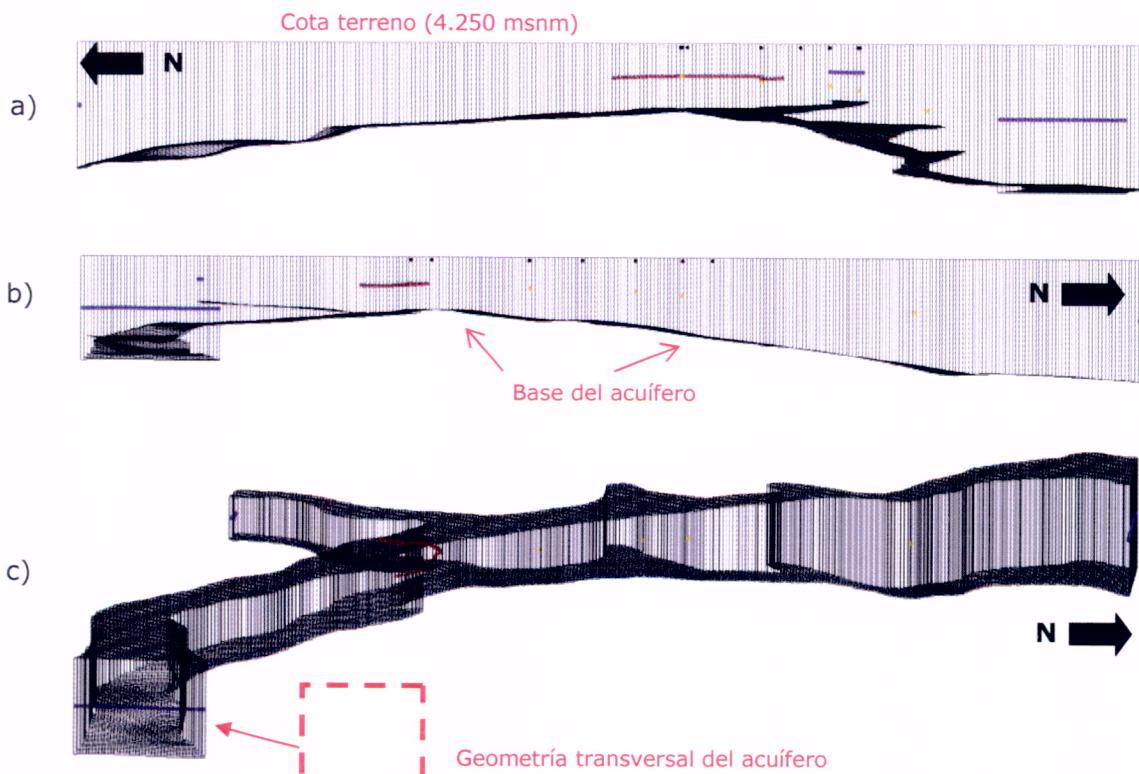


Figura 28: Vistas del software GMS para la geometría del modelo de flujo de agua subterránea Pantanillo, elaborado para la predicción de efecto de la operación del campo de pozos. a) Vista de perfil oeste de la grilla del modelo de flujo (factor de exageración vertical de 10); b) Vista de perfil este de la grilla del modelo de flujo (factor de exageración vertical de 10); c) Vista en perspectiva de la geometría utilizada para la implementación del modelo de flujo, donde se distingue que el ancho del modelo se mantiene constante en profundidad. (Elaboración DGA).

Con respecto a la descripción vertical del modelo (cota superior e inferior del acuífero), cabe enfatizar que la Guía del SEA señala como un caso particular “*aquellos acuíferos someros donde la evaporación desde la napa y/o la evapotranspiración vegetal forman parte importante del balance hídrico (por ejemplo, acuíferos someros en zonas áridas o salares) y en donde la topografía debería ser representada con una precisión del orden de centímetros*”. En atención a lo anterior, el modelo presentado por el titular corresponde a un “*modelo preliminar*” de flujo, según el propio consultor señala en su Informe Técnico (Golder, 2010), y no a un modelo cuya geometría represente una condición de flujo con las particularidades del acuífero en el valle Ciénaga Redonda, ello dada la ausencia de detalles constructivos que no permiten simular la relación sensible entre el nivel freático y la evapotranspiración que ocurre a través de las vegas allí presentes.

En relación con el área cubierta por el modelo, es importante resaltar que ésta no incluye las vegas Valle Ancho, Barros Negros y Ciénaga Redonda, razón por la cual no resulta posible, mediante el uso de esta herramienta, evaluar los efectos del campo de pozos Pantanillo sobre los flujos de agua subterránea al norte de vega Pantanillo, y en particular, los cambios en los niveles freáticos y la relación entre los bombeos y las vegas antes mencionadas. Sólo se incluyen la vega Pantanillo y los humedales del río Astaburuaga, según se aprecia en la

Figura 27.

• Nivel de detalle de la discretización

En cuanto a la discretización espacial del modelo, se puede señalar que la herramienta está conformada por celdas de 50 metros por 50 metros, en un arreglo de 320 filas y 300 columnas, totalizando 96.000 celdas, de las cuales 9.703 celdas son activas.

Para efecto de la simulación del flujo a escala global en el acuífero, se considera que el tamaño de la grilla es suficiente. Sin embargo, **la discretización es insuficiente para las zonas donde se ubican las vegas, por cuanto su existencia tiene relación con singularidades geológicas y litológicas presentes en la cuenca, lo que hace necesario disponer de un mayor nivel de detalle, aspecto ausente en el modelo numérico analizado.**

- **Características del modelo en relación con su dinámica temporal y calibración**

El modelo incorpora los bombeos medios ocurridos entre los años 2005 y 2009. La simulación de descensos en el área del modelo se realiza en régimen transitorio. El Informe Golder 2010 no incluye resultados de calibración del modelo y de la comparación entre datos medidos de niveles freáticos y niveles simulados en los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, presentándose sólo una gráfica que demuestra una importante diferencia entre los datos medidos y simulados para RA-3 (ver **Figura 29**).

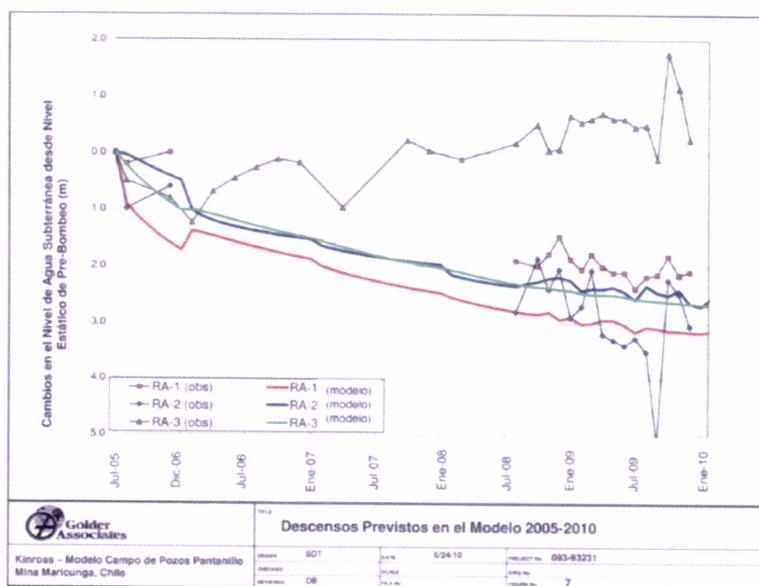


Figura 29: Comparación de descensos en el modelo de flujo, incluido en el informe Golder (2010). Las líneas con puntos corresponden a niveles medidos, mientras que las líneas sin puntos corresponden a niveles simulados.

Al ser operado el modelo por este Servicio, se observó la falta de un proceso de calibración formal. Sobre esta temática, este Departamento informa que ello **es una carencia sustantiva que restringe notablemente la bondad predictiva y las posibilidades de aplicación del modelo numérico**. Lo anterior se refrenda con la Guía SEA (2012), donde se destaca que "Sólo una vez que el modelo se encuentra calibrado y validado (en caso de ser posible), se considera que éste tiene una capacidad predictiva adecuada y cobra sentido llevar a cabo las simulaciones. Ciertamente las simulaciones deben ser consistentes con el proceso de ajuste realizado, por ejemplo la capacidad predictiva de una simulación en régimen transiente debe responder a una calibración satisfactoria realizada bajo condiciones transientes".

- **Condiciones de borde y condiciones iniciales**

Las condiciones de borde²⁰ utilizadas en el modelo de flujo son descritas en el Informe Técnico de Golder (2010), en su título 3.3, considerándose condiciones del tipo "carga constante" y "no flujo". En particular, la carga constante se establece en los límites norte (antes de vega Valle Ancho), sureste (cabecera del río Astaburuaga) y sur (valle del río Astaburuaga antes de Laguna Negro Francisco). La condición de no flujo se establece para todos los costados que representan el contacto entre el basamento rocoso y los materiales sedimentarios que conforman el acuífero.

Con respecto a las condiciones de borde de nivel constante, el informe no entrega una justificación a la imposición de un nivel freático fijo en el acuífero, en las tres zonas donde se utiliza (borde norte, sur y sureste). En los hechos, este supuesto impide predecir adecuadamente el nivel freático en las proximidades a los límites del modelo, generando errores tanto en los niveles freáticos que les preceden (alteración forzada del gradiente

²⁰Representación matemática que especifica la variable dependiente (carga hidráulica o concentración o sus derivadas) en los límites del dominio del modelo y permite la resolución de las ecuaciones gobernantes del sistema.

hidráulico), como también en los caudales salientes del área modelada (recordar que la magnitud del caudal subterráneo depende del gradiente hidráulico, entre otros factores, como se describió en el punto 3.1de este Oficio).

Respecto a las condiciones de borde establecidas para vegas, la Guía SEA (2012) destaca la importancia de "tener especial cuidado en la definición de las áreas de evapotranspiración y llevar a cabo una determinación precisa de la topografía en éstas (precisión del orden de centímetros)" (página 36). Respecto de la condición de borde de nivel constante, agrega que "Debe hacerse presente que **esta condición de borde nunca debería ser utilizada para representar el sistema ambiental sensible sobre el cual se está evaluando el impacto**, como podría ser un lago, lagunas, **humedales**, vertientes, entre otras, **del mismo modo que tampoco debería utilizarse en celdas cercanas al sistema ambiental sensible**. En ambos casos el hecho de utilizar una condición de borde de este tipo implica que el modelo no calcula descensos en el nivel del acuífero o estos son despreciables, dado que la cota del agua subterránea en esas celdas se encuentra impuesta por el/la usuario/a. Del mismo modo, no debería utilizarse en celdas muy cercanas a las zonas de bombeo, porque se transforman en fuentes infinitas de agua y por tanto, el efecto general de extracciones sobre el acuífero podría subestimarse.". (Énfasis agregado).

Para el caso del modelo presentado por el titular, éste utiliza la condición de carga constante en la proximidad de la vega Valle Ancho (límite norte del modelo) y en la proximidad del humedal en río Astaburuaga (límite sur), **lo cual resulta contrario a los criterios y recomendaciones utilizadas en el ámbito de la modelación hidrogeológica**, que son recogidos en la Guía del SEA (2012).

Respecto a las condiciones iniciales utilizadas en el modelo, no se incluyen detalles en el Informe Técnico revisado, generando incertidumbre en la predicción.

- **Tasas de recarga y otros flujos de entrada/salida**

El modelo ha considerado una recarga superficial de 0,000015 m/d, equivalente a una recarga media anual de 5,5 mm/año para casi todo el modelo, excepto para algunos bordes en que se ha considerado una recarga mayor (0,011 m/d), por efecto de la recarga lateral de quebradas afluentes.

Como se ha expresado con anterioridad, los únicos sistemas vegetacionales incluidos en el modelo son la vega Pantanillo y los humedales del río Astaburuaga, en la parte sur en donde el flujo drena hacia la Laguna del Negro Francisco. Sin embargo, no se incluyen datos de evaporación en el modelo. La explicación en el reporte de Golder-2010 se refiere a que la pérdida por esto concepto alcanzaría a 2,5 l/s como máximo y por tanto un valor despreciable frente a los montos considerados en el balance hídrico final. A este respecto, **se considera que el titular no acompaña antecedentes técnicos suficientes para respaldar debidamente sus supuestos, generando incertidumbre en la predicción**.

- **Asignación de parámetros hidráulicos al modelo**

La conductividad hidráulica considerada para todo el modelo es de 50 m/d. Este valor fue determinado calculando una transmisividad promedio de 3750 m²/d y un espesor promedio saturado de 75 m constante. La conductividad hidráulica vertical toma un valor de 2,5 m/d para el modelo. Todo el modelo tiene asignada una porosidad total única de 25% y un almacenamiento específico de 15%.

Al respecto, cabe señalar que los ensayos de bombeo reportados en el Informe Técnico Golder (2010) dan cuenta de diferencias en los parámetros hidráulicos según el sector del acuífero, así como también los perfiles estratigráficos de los pozos reflejan heterogeneidad en los materiales sedimentarios depositados, lo cual también conlleva cambios en la conceptualización del sector modelado. **Esta variabilidad espacial en las características del acuífero que reporta el titular, no fueron usadas en el modelo numérico**, lo cual incorpora una componente importante de error en los resultados que arroja la herramienta, en cuanto a los descensos y reducciones de flujo, especialmente hacia el norte (proximidad a

vega Valle Ancho) y sur (proximidad a humedal en río Astaburuaga y Laguna Negro Francisco) del dominio del modelo.

En esta línea, el modelo también estima que en cuanto a los **flujos valle abajo de agua subterránea** (título 5.1.2), se espera que "el campo de pozos de Pantanillo capturará el agua subterránea que de otro modo fluiría valle abajo en Ciénaga Redonda. Considerando los casos de bombeo evaluados, la reducción del flujo de agua subterránea valle abajo varía desde aproximadamente 18,8 a 21,5 L/s en las condiciones actuales (70 L/s)." "La reducción del flujo de agua subterránea valle abajo fluctúa entre los 25,6 y los 29,3 L/s para los casos de 95 L/s. El efecto más importante sobre la descarga de agua subterránea valle abajo ocurriría en el Caso 4B. La captura de agua subterránea valle abajo por parte de los pozos, representa un efecto menor para la cuenca de agua subterránea Ciénaga Redonda.".

- **Conclusiones de la revisión del modelo numérico de flujo**

Considerando lo anterior y dado el interés de conocer la relación entre los bombeos y las vegas existentes en el corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, se puede señalar que el modelo no permite predecir adecuadamente los niveles en los sistemas vegetacionales Valle Ancho, Barros Negros y Ciénaga Redonda, por cuanto la condición de nivel constante impuesta en la zona norte impide predecir adecuadamente los efectos de los bombeos aguas abajo de Pantanillo, así como tampoco permite predecir razonablemente las reducciones en los caudales aportantes hacia aguas abajo.

Una de las observaciones más importantes acerca de la modelación numérica de la zona de estudio dice relación con la limitada representación del modelo conceptual de funcionamiento del sistema. Concretamente, el modelo no es capaz de representar los alzamientos de niveles en las zonas donde se producen afloramientos, zonas de vegas y bofedales. Esto se logra reproduciendo un alzamiento del basamento rocoso o un contraste de permeabilidades de manera que las zonas de mayor capacidad conductora resulten más superficiales. Esto no ocurre en el modelo, pues la geometría del basamento siempre va en descenso. Por otra parte, el modelo tiene una permeabilidad constante de 50 m/d para todo el dominio, comportamiento homogéneo que no se condice con la heterogeneidad del sistema que se debe modelar. Esto repercute en que el modelo no sea capaz de representar la situación de los niveles freáticos en las zonas sensibles.

En síntesis:

- El modelo numérico **no representa adecuadamente el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hidrogeológico estudiado, alejándose significativamente** de la caracterización presentada en el numeral 3.2de este Oficio.
- El modelo **no se ajusta a los lineamientos técnicos de la "Guía del Servicio de Evaluación Ambiental para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA" (SEA, 2012)**. En lo específico, **resulta muy cuestionable que se haya usado un nivel prescrito o constante para representar una condición de borde cercana a un sistema vegetacional** (humedal Valle Ancho), por cuanto ello se traduce en la imposibilidad de que se predigan efectos sobre los niveles en las inmediaciones de dicho sistema.
- El modelo **no fue sometido a un proceso de calibración de datos observados y datos modelados**, procedimiento fundamental para asignar confiabilidad a sus predicciones.
- Así entonces, el modelo numérico presentado **no puede ser utilizado como una herramienta predictiva confiable que permita vislumbrar con buen nivel de certidumbre los efectos, debido a la operación del campo de pozos de Pantanillo, sobre el acuífero del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda, y consecuentemente, sobre los objetos de protección ambientalmente sensibles**. Con lo anterior, se concluye que el modelo numérico no es un antecedente técnico que ayude a descartar la susceptibilidad de generación de efectos adversos sobre el acuífero y las vegas del citado corredor.

- En otro orden de ideas, se informa que el modelo sólo logra reproducir la magnitud del comportamiento observado en el entorno de Vega Pantanillo, toda vez que los descensos proyectados se aproximan a los descensos totales detectados en los pozos próximos a la vega (RA-3, entre otros). Sin embargo, dicho comportamiento no se ajusta a la temporalidad observada con los datos piezométricos del sector, toda vez que el efecto se pronosticó para el año 2010, siendo que éste se monitoreó el año 2005.
- Finalmente, en atención a las observaciones anteriores y en el contexto del compromiso asumido por el titular en la RCA N°268/2009, este Departamento sostiene que **el modelo generado no permite evaluar ni comprender en forma propicia la dinámica hídrica actual y futura del sector donde se desarrolla el proyecto minero, así como también se debe hacer presente que la herramienta no cuenta con un análisis de detalle de la hidrología e hidrogeología del área, todos asuntos explicitados en el Considerando 6.2 de la mencionada RCA.**

3.4.3. Estimación de descensos en Vega Valle Ancho

El objetivo del presente análisis es contar con una estimación objetiva del efecto de los bombeos desde los pozos RA-1 y RA-2 sobre la vega Valle Ancho, a partir del cálculo aproximado de los descensos del nivel freático bajo la vega. Ello en atención a que la herramienta predictiva presentada por el titular (modelo numérico) no abarca esta zona, así como tampoco existen puntos de monitoreo (pozos o piezómetros) en el entorno de la vega, que permitan conocer la evolución temporal del nivel freático bajo la vega.

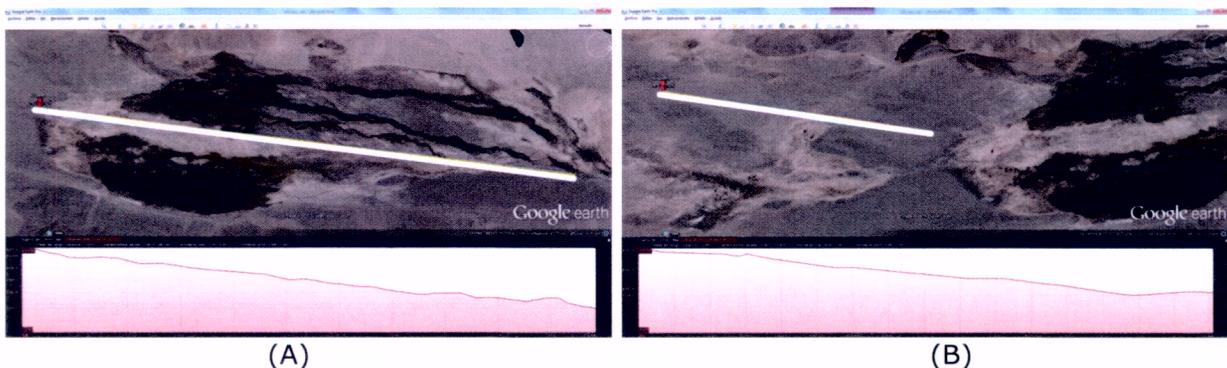
Para los cálculos se consideraron supuestos que resultan consistentes con la conceptualización del flujo en el acuífero del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga redonda. Se utilizó la ecuación de Darcy para cuantificar la variación del nivel freático en función de la variación del flujo de agua subterránea (ΔQ), la conductividad hidráulica (K) y el gradiente hidráulico (i).

En cuanto a la geometría de la sección de flujo, se asumió que el ancho del acuífero (b) no varía sustancialmente en el rango en que ocurren los descensos (Δh). Así también, se consideró un rango de magnitudes para la conductividad hidráulica del acuífero (a saber, $40 \leq K \leq 60$, en m/d, rango que incluye el valor $K=50$ m/d, adoptado en el Informe de Golder 2010), tres magnitudes de gradiente hidráulico (i) y un rango para la reducción del flujo subterráneo (a saber, $10 \leq \Delta Q \leq 40$, en l/s) (se aclara que una reducción de flujo subterráneo es esperable a la luz del análisis de inversión de gradientes hidráulicos, presentado en el numeral 3.4.1, situación que también es señalada por el titular en su informe del Modelo Numérico Golder 2010). La expresión de la ecuación de Darcy utilizada para los cálculos es la siguiente:

$$\Delta h = \frac{\Delta Q}{K \cdot i \cdot b}$$

Como se mencionó antes, para la magnitud del gradiente hidráulico (i) se consideraron tres valores. Un primer gradiente se estimó mediante la diferencia de niveles freáticos medidos por el titular el 17-12-2012 en los pozos MW-08 y MW-06 (a saber, $i=0,008 = ((4203,31 - 4179,22)m / 2960m)$). Para la segunda y tercera magnitud del gradiente hidráulico se consideraron equivalentes a la pendiente del terreno en la vega Valle Ancho y en el terreno previo a la misma vega, respectivamente (ver Figura 30), supuesto que es frecuentemente utilizado en el ámbito de la hidrogeología para efecto de estimaciones de flujo de agua subterránea. Estos gradientes se obtuvieron de manera aproximada mediante el uso del software "Google Earth Pro", resultando igual a 0,010 y 0,017, respectivamente. De este modo, los descensos se evaluaron para los siguientes tres posibles gradientes hidráulicos: 0,008; 0,010 y 0,017.

Finalmente, el ancho del acuífero (b) se consideró igual a 1 kilómetro (corresponde al ancho aproximado del valle en la zona de vega Valle Ancho).



(A)

(B)

Figura 30: Perfil del terreno en la vega Valle Ancho (A) y en el terreno al sur a la misma vega (B) generado con el software Google Earth Pro; las magnitudes de las pendientes del terreno resultaron igual a 0,010 y 0,017, respectivamente, las que se consideraron como posibles magnitudes del gradiente hidráulico en esa zona del acuífero.(Elaboración DGA, sobre imagen de Google Earth).

En el Informe Golder (2010) se reportan los resultados de la modelación de flujo de agua subterránea en campo de pozos Pantanillo, donde se señala que producto de los distintos escenarios de bombeo proyectados por el titular, se generarían cambios en la descarga de agua subterránea en su límite norte (ver Tabla 6 del Informe Golder, 2010). Las reducciones de flujo en el acuífero en dirección norte (hacia la Vega Valle Ancho) se estimaron en el rango de 18,8 l/s a 29,3 l/s. Usando dicho rango, se calcularon los descensos de nivel freático para cuatro escenarios de reducción de flujo: 10 l/s, 20 l/s, 30 l/s y 40 l/s. Así mismo, usando la conductividad hidráulica adoptada en el informe Golder (2010), esto es 50 m/d, se calcularon los descensos de nivel freático para tres escenarios de conductividad hidráulica: 40 m/d, 50 m/d y 60 m/d.

Los resultados obtenidos dan cuenta de los órdenes de magnitud de los descensos del nivel freático ante distintas combinaciones de los parámetros considerados en los cálculos (ver **Tabla 6** y **Figura 31**).

Tabla 6: Estimación de descensos teóricos del nivel freático (Δh) bajo la Vega Valle Ancho, obtenidos mediante la ecuación de Darcy, considerando un ancho del acuífero (b) constante y distintas magnitudes de la reducción de flujo subterráneo (ΔQ), conductividad hidráulica (K) y gradiente hidráulico (i). Los descensos calculados están en el rango de 0,8 m (con $\Delta Q=-10$ l/s) a 10,8 m (con $\Delta Q=-40$ l/s).(Elaboración DGA).

K (m/d)	40	50	60		40	50	60		40	50	60
i	0,008	0,008	0,008		0,010	0,010	0,010		0,017	0,017	0,017
b (Km)	1	1	1		1	1	1		1	1	1
ΔQ (l/s)	Δh (m)	Δh (m)	Δh (m)		Δh (m)	Δh (m)	Δh (m)		Δh (m)	Δh (m)	Δh (m)
-10	-2,7	-2,2	-1,8		-2,2	-1,7	-1,4		-1,3	-1,0	-0,8
-20	-5,4	-4,3	-3,6		-4,3	-3,5	-2,9		-2,5	-2,0	-1,7
-30	-8,1	-6,5	-5,4		-6,5	-5,2	-4,3		-3,8	-3,0	-2,5
-40	-10,8	-8,6	-7,2		-8,6	-6,9	-5,8		-5,1	-4,1	-3,4

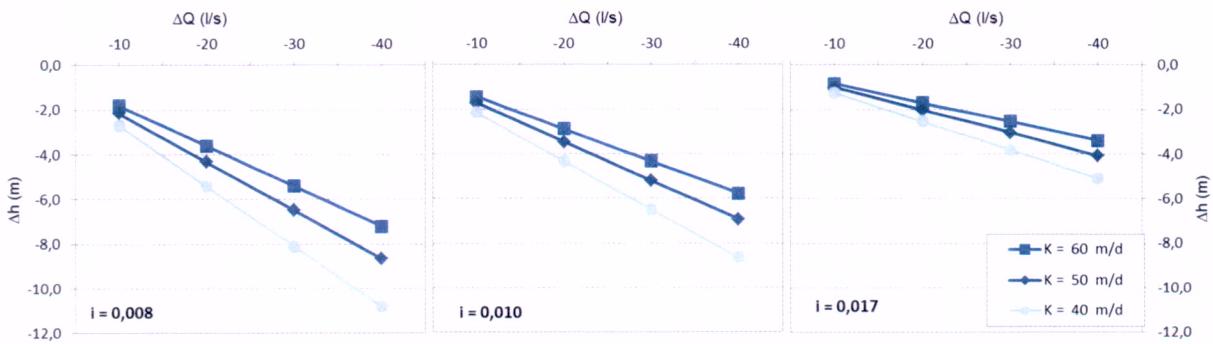


Figura 31: Gráfica de descensos del nivel freático (Δh) estimados en Vega Valle Ancho ante reducciones en el flujo de agua subterránea (ΔQ). Nótese que los descensos aumentan con las reducciones del flujo y ante menores magnitudes de los parámetros hidráulicos del acuífero (K , i). (Elaboración DGA).

En base a los análisis realizados, se puede concluir lo siguiente:

- Los descensos calculados mediante la ecuación de Darcy y los supuestos establecidos para los parámetros involucrados han permitido estimar razonablemente un rango de magnitudes de descensos del nivel freático en el acuífero del sector de la Vega Valle Ancho, los cuales resultan esperables ante reducciones de flujo de agua subterránea en dicho sector. Los descensos estimados se adicionan a la profundidad realmente existente bajo la vega, correspondiendo a la distancia mínima que podría existir entre la superficie topográfica y el nivel freático.
- Teniendo como referencia los datos del titular y un rango de reducciones de flujo estimado hacia el norte del humedal Pantanillo, esto es 18,8 l/s (aproximándolo a 20 l/s) y 29,3 l/s (aproximándolo a 30 l/s), y manteniendo constante la conductividad hidráulica utilizada por el titular en el modelo de flujo ($K = 50$ m/d), **las depresiones del nivel freático en la Vega Valle Ancho se estiman en el rango 2 metros a 6,5 metros.**
- Sensibilizando conservadoramente los parámetros conductividad hidráulica (K), reducción de flujo pasante (ΔQ), **las depresiones del nivel freático en la Vega Valle Ancho se estiman en el rango 0,8 metros a 10,8 metros.** Así el escenario ambientalmente más desfavorable, predice un descenso de más de 10 metros en Vega Valle Ancho.

Finalmente, **basado en el análisis anterior y el actual estado de sequedad en que se encuentra una superficie importante de la Vega Valle Ancho, este Departamento puede afirmar que existen antecedentes técnicos razonables y suficientes para considerar incompatibles los bombeos desde el campo de pozos Pantanillo con la sustentabilidad en el tiempo de la vega Valle Ancho.** Lo anterior ratifica la recomendación del estudio DGA (2006) en cuanto a la posible afectación por bombeos, pues se reconoce que cualquier extracción disminuirá el nivel freático y con ello disminuirá la superficie evaporante de las vegas.

Así, el análisis expuesto confirma la susceptibilidad de generación de efectos adversos sobre el acuífero y la Vega Valle Ancho.

3.4.4. Descargas presentados por Compañía Minera Maricunga S.A.

El Informe Técnico "Caracterización Hidrogeológica Sistema Acuífero Ciénaga Redonda" (HIDROMAS, 2015) (antecedente 1.3.5) usa un enfoque conceptual simplificado, basado en la estimación de la velocidad del frente de avance del efecto del bombeo, ello a partir del comportamiento observado en el pozo RA-3. En dicho pozo, el efecto del bombeo habría tardado 5 años en manifestarse, entre 2005 y 2010, y al considerar un pozo equivalente situado en la mitad de la distancia entre RA-1 y RA-2, aproximadamente a 1668 metros de RA-3, se obtiene una tasa de avance de 333.6 metros/año. Asumiéndose como constante, dicha velocidad es usada aguas abajo para estimar la posición del efecto de depresión generado por el campo de pozos de Pantanillo, en dirección a las vegas del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda. Complementariamente, el consultor asume dos escenarios adicionales, uno donde el efecto tarda 4 años y otro donde tarda 2.5 años en llegar al pozo RA-3, con lo que se obtienen tasas de avance de 417 metros/año y 667 metros/año, respectivamente. Para todos los escenarios, el titular concluye que el frente de descenso se encuentra en un punto intermedio entre el humedal Pantanillo y el humedal Valle Ancho.

Sobre lo anterior, este Departamento observa lo siguiente:

- El titular considera un pozo equivalente situado en la mitad de RA-1 y RA-2. En este caso, lo correcto es que se considere al pozo RA-1 que es el más cercano a RA-3, dado que su efecto llegará antes a RA-3 que el que se propaga desde RA-2. Bajo esta nueva premisa, la distancia a considerar es la distancia entre RA-1 y RA-3 es de 740 m y no 1668 m como lo plantea el titular. Si bien la distancia utilizada por el titular se traduce en resultados más conservadores (dado que el impacto recorrería una distancia mayor en el mismo tiempo, resultando entonces una mayor velocidad), no es razonable utilizarla por cuanto no está basada en un aspecto que reviste incertidumbre, sino por el contrario es un aspecto respecto del cual se tiene total claridad. En este sentido, el valor utilizado por el titular sólo introduce imprecisiones en sus estimaciones.



Figura 32: Ubicación referencial de los pozos RA y la distancia entre RA-3 y RA-2, y distancia entre RA-3 y el punto entre los pozos de bombeo RA-1 y RA-2 establecido por el titular para estimar la velocidad de avance del efecto de bombeo sobre el pozo RA-3.

- Uno de los factores que condicionan la velocidad de propagación del fenómeno es la pendiente o gradiente hidráulica. Al respecto, el titular realizó su estimación de velocidad de propagación entre los pozos RA-1, RA-2 y RA-3, y utilizó el resultado para extrapolarlo aguas abajo hacia el humedal de Valle Ancho. Sin embargo, la gradiente hidráulica en la zona donde el Titular realizó sus estimaciones es inferior a la gradiente hidráulica en la zona entre RA-3 y el humedal Valle Ancho.

En efecto, si se toman los niveles de línea de base entre RA-2 y RA-3 la gradiente hidráulica resultante tiene un valor de 0.0023. Sin embargo, el gradiente hidráulico promedio calculado aguas abajo del pozo RPG-31 (con datos del 17/12/2012) es de 0.0105, es decir es entre 4 y 5 veces superior.

Además, debe destacarse que la distancia entre RA-1 y el extremo sur de Valle Ancho es de 7.050 m, y la distancia entre RPG-31 y el extremo sur de Valle Ancho es de 5.870 m, por lo que el tramo que se encuentra sometido a una gradiente hidráulica superior a la calculada por el titular representa un 83% del recorrido desde RA-1. Si se considera que el recorrido del impacto se origina en RA-2 en vez de en RA-1 el tramo que se encuentra sometido a una gradiente hidráulica superior a la calculada por el Titular representaría un 66%.

Teniendo presente lo anterior, queda claro que la mayor parte del recorrido entre los pozos RA y el humedal de Pantanillo está sometido a un gradiente hidráulico entre 4 y 5 veces superior al que existe en la zona que utilizó el titular para hacer sus estimaciones. Lo anterior permite concluir que la extrapolación que realizó el titular –en que asumió que la velocidad estimada en la zona de los pozos RA era replicable aguas abajo de estos– se traduce en una subestimación de la velocidad esperable de propagación hacia el humedal Valle Ancho.

En esta línea, se estima que la información hidrogeológica disponible no permite demostrar que la velocidad del frente de avance sea constante. Por el contrario, si se revisa con mayor detención la ecuación de Darcy, especialmente el término $K \cdot i$ (velocidad de Darcy), donde 'K' se desconoce aguas abajo de vega Pantanillo (se asumirá constante para efectos de este ejercicio) e 'i' aumenta gradualmente en dirección sur-norte (el mayor gradiente topográfico estimado aguas arriba de vega Valle Ancho es aproximadamente 0,017 y en vega Pantanillo sur se estimó en 0,008), se concluye que la velocidad del flujo de agua subterráneo aumenta hacia aguas abajo, con lo que sería

esperable que la velocidad del frente de avance también se incremente con dirección a los sistemas vegetacionales del norte, anticipando entonces la llegada del efecto del bombeo. **Reconociendo el aumento de velocidad aguas abajo, dicho efecto podría tardar menos tiempo que el informado por el titular en llegar al límite sur de vega Valle Ancho, o incluso, pudiera haber alcanzado ya, éste u otros sectores en el corredor.**

- En atención los elementos señalados, se concluye que la estimación obtenida por el Titular sobre el desfase temporal entre el bombeo y la ocurrencia de impactos no resulta fiable.
- El enfoque utilizado, con supuestos y simplificaciones que no se han fundamentado adecuadamente, **no se configura entonces como una herramienta confiable o suficientemente conservadora como para representar y estudiarla compleja situación hidrogeológica del corredor biológico**. De igual manera, se estima que el mismo no puede reemplazar, en ningún caso, el uso de un modelo numérico físicamente basado en un modelo conceptual apropiado para la zona de estudio. Coherentemente, **el simple análisis de tiempos de viaje no se constituye como un argumento técnico suficiente para desestimar potenciales impactos en el acuífero y en los objetos de protección de la zona de estudio**. Este hecho es conocido y ratificado por el propio titular, quien informa que se encuentra desarrollando un nuevo modelo numérico en el sector.
- Aun no invalidando la metodología utilizada, y permitiendo su uso para el caso en análisis, queda en evidencia que **es esperable que el efecto de la explotación de los pozos RA-1 y RA-2 genere impactos sobre los niveles de aguas subterráneas de los humedales del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda**. En particular, es esperable un efecto en el humedal Valle Ancho, ello en el año 2020 para el escenario que el titular ha definido como más conservador, y en el año 2035 para el menos conservador (entiéndase conservador como la condición más desfavorable para el medio ambiente). Lo anterior es mencionado en el propio Informe Técnico del titular.
- Con respecto a los efectos en Vega Pantanillo, con su **metodología el titular entrega elementos para ratificar la relación causa-efecto entre la explotación histórica desde RA-1 y RA-2 y los impactos sobre el acuífero y el citado sistema vegetacional, por cuanto el frente de avance, en todos los escenarios analizados, se posiciona aguas abajo de esa zona del corredor**.
- **Con lo anterior, se debe informar que el antecedente incluido por el titular en sus descargas, aun con las limitaciones que tiene, permite, por una parte, reafirmar la situación observada en vega Pantanillo y no permite, por otra, descartar la susceptibilidad de generación de efectos adversos no previstos sobre el acuífero y las otras vegas del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda. Muy por el contrario, dicho antecedente sostiene que los efectos adversos alcanzarán las vegas de la subcuenca Ciénaga Redonda ubicadas más al norte.**
- En atención a la velocidad de avance de los efectos de los bombeos, resulta efectiva la observación expuesta en el Informe de HIDROMAS (2015), en cuanto a que los datos de niveles freáticos del pozo RA-3 dan cuenta de un cambio en la tendencia de dichos niveles a partir del año 2010 (aproximadamente). Sin embargo, del análisis de los datos de niveles llevado a cabo por este Departamento (ver punto 3.3, análisis de las **Figura 18** a la **Figura 20**), el cambio de tendencia se explicaría por el incremento en las tasas de bombeo desde el campo de pozos Pantanillo. Así también, respecto al tiempo de viaje del efecto de los bombeos desde los pozos de bombeo RA-1 y RA-2 hasta el pozo RA-3, del análisis expuesto en este Oficio se concluye que el plazo es radicalmente menor a los 5 años, como indica el titular. Esto queda en evidencia en dos observaciones plasmadas en el punto 3.3 de este Oficio. Una de ellas señala que el nivel freático se redujo en promedio 1,2 metros en el pozo RA-3 luego del reinicio del proyecto, lo cual se obtuvo al comparar los promedio de los niveles registrados durante los períodos Mayo-2001 a Junio-2005 y Julio-2005 a Julio-2008. Así también, se comparó la profundidad del nivel freático en el pozo RA-3 para los meses de Junio-2005 (9,9 mbns), Agosto-2005 (11,3 mbns) y Febrero-2006 (12.0 mbns), lo cual demuestra que luego de reiniciado el proyecto se generó un descenso **igual a 1,4 metros en sólo dos meses** y un descenso igual a 2,1 metros entre

Junio-2005 y Febrero-2006. En particular, esto refleja que el efecto de los bombeos se percibió en RA-3 en 2 meses y no en 5 años, como plantea el titular.

Por último, cabe destacar que, de la revisión de los Anexos 3A y 3B de los descargos presentados por el titular, este Departamento ha observado que la empresa ha desarrollado prospecciones geofísicas, específicamente campañas TEM y NANOTEM en los años 2010, 2013 y 2014, cuyos resultados e interpretaciones no se acompañan en los descargos, y por ende, no son conocidos por este Servicio.

3.4.4.1. Metodología utilizada en los descargos para estimar el tiempo de ocurrencia de impactos corregida

La metodología utilizada por el Titular en sí misma no es incorrecta, sin embargo, y tal como se demostró, los valores que utiliza como parámetros de entrada no son idóneos. Teniendo presente las falencias descritas anteriormente, se presenta un ejercicio que utiliza la misma metodología propuesta por el Titular, pero corregida según los siguientes criterios:

- Para el cálculo de la velocidad de propagación del impacto en la zona de los pozos RA se utiliza como fuente al pozo RA-1 y como receptor al pozo RA-3, ambos distantes de 740 m.
- El desfase entre el bombeo y la ocurrencia de impactos se considera de 6 meses (de acuerdo con lo concluido en el título 3.3.2. *Tendencias históricas en los pozos RA y análisis de descensos*).
- Para el cálculo de la velocidad de propagación del impacto aguas abajo de la zona de los pozos RA se utilizan dos velocidades: la primera corresponde a la calculada en base a los dos criterios anteriores y que se considera representativa de la zona que llega hasta el pozo RPG-31, y la segunda se obtiene de ajustar la primera en función del mayor gradiente hidráulico aguas abajo de RPG-31, la cual se considera representativa de la zona que llega hasta el límite sur del humedal Valle Ancho.

Con ello se obtiene lo siguiente.

- Velocidad en sector de pozos RA: 1.480 m/año
- Tiempo para que el efecto avance desde RA-1 hasta RPG-31: 0.80 años
- Velocidad en sector aguas abajo RPG-31: 6.762 m/año
- Tiempo para que el efecto avance desde RPG-31 hasta límite sur de Valle Ancho: 0.87 años

Al sumar los tiempos de tránsito en ambas zonas resulta que el desfase esperable entre el bombeo desde RA-1 y la llegada de efectos al límite sur del humedal de Valle Ancho es de 1.67 años, esto es 20 meses.

Según el valor anterior, los efectos en Valle Ancho producto del reinicio del bombeo debieran haberse detectado durante el año 2007. Sin embargo, esto no puede ser confirmado ya que no existen datos de niveles de agua en la zona que permitan acusar cambios en las condiciones.

De forma complementaria se realizó un análisis para determinar la influencia de cada uno de los parámetros que fueron ajustados respecto de los que propuso originalmente el Titular. Los resultados se presentan en la Tabla a continuación:

Tabla 7: Comparación de los tiempos de viaje de impacto de los bombeos hasta la vega Valle Ancho, determinados sobre la base de distintas magnitudes adoptadas para cada parámetro según escenario evaluado.

Escenario	Magnitudes que adopta cada parámetro			Resultado: tiempo de viaje del impacto hasta Valle Ancho (años)
	Distancia a RA-3 (m)	Desfase del impacto (años)	Gradiente hidráulico (-)	
Cálculos realizados por el titular	1668	5	Constante	21,22
Sólo se ajusta la distancia a RA-3	740	5	Constante	47,84
Sólo se ajusta el desfase del impacto	1668	0,5	Constante	2,12

Sólo se ajusta el gradiente hidráulico	1668	5	2 tramos	7,43
Se ajusta la distancia a RA-3 y el desfase del impacto	740	0,5	Constante	4,78
Se ajusta la distancia a RA-3 y el gradiente hidráulico	740	5	2 tramos	16,75
Se ajusta el desfase del impacto y el gradiente hidráulico	1668	0,5	2 tramos	0,74
Se ajustan los tres parámetros	740	0,5	2 tramos	1,67

Se puede apreciar que el parámetro más crítico es el tiempo de desfase del impacto, dado que al ser ajustado –manteniendo los otros dos parámetros con los valores adoptados por el Titular- se obtiene que el desfase esperable entre el bombeo desde RA-1 y la llegada de efectos al límite sur del humedal de Valle Ancho es de 2.12 años, lo cual no difiere mucho del resultado que se obtiene al ajustar los 3 parámetros.

En base al análisis expuesto, se puede concluir que el resultado que se obtenga por esta metodología depende sobre todo del tiempo que se estime para la ocurrencia del desfase entre el bombeo y los descensos en RA-3.

Otros elementos para estimar el tiempo de ocurrencia de impactos

a) Prueba de bombeo anexa al informe entregado a la DGA el año 2010

El Titular informó la realización de una prueba de bombeo a caudal constante (50 l/s) durante 4 días. Parte de los Resultados se reproducen a continuación:

Tabla 1: Detalles de Construcción de Pozos de Observación

ID Pozo Monitoreo	Este	Norte	Cota de terreno (m snm)	Distancia al Pozo de bombeo (m)	Fecha término período
RPG-32	494.519,02	6.961.979,30	4274,51	20	29-Ex
RPG-38	494.508,14	6.962.292,39	4277,05	221	7-Mai
RPG-21c	494.804,85	6.962.444,75	4279,29	601	14-Fe
RPG-22	496.007,33	6.964.570,66	4256,65	3000	14-Fe
RPG-31	496.743,41	6.966.540,11	4237,00	5010	1-Mar

Tabla 2: Agua Subterránea en Pozos de Observación

ID Pozo Monitoreo	Nivel estático de agua ⁱ (m bss)	Elevación de Agua Subterránea (m snm)	Descenso Máximo ⁱ (m)
RPG-32	23,73	4250,78	1,38
RPG-38	27,03	4250,02	0,93
RPG-21c	30,16	4249,13	0,20
RPG-22	15,17	4241,48	0,00
RPG-31	1,93	4235,07	0,00

Se observa que ocurrió un descenso de 0.2 m en el pozo RPG-21c distante de 601 m del pozo RPG-21 (pozo de bombeo). Asimismo, de los resultados se concluye en el informe que el radio de influencia es de 2 a 3 km.

De lo anterior llama la atención el hecho que al bombear 50 l/s durante 4 días el efecto se propagó 600 metros. De esta forma, si se considera que la distancia entre RA-1 y RA-3 es del orden de 750 metros, es esperable que pocos días luego de iniciar el bombeo exista un efecto medible en RA-3, más aun si el caudal de bombeo es superior a 50 l/s (para esta observación, se considera válido el supuesto que las propiedades hidrogeológicas del acuífero en el tramo entre RA-1 y RA-3, son similares a las de la zona donde se realizó la prueba de bombeo).

Teniendo en consideración lo anterior, los efectos del bombeo en RA-3 debieran notarse desde el primer monitoreo mensual posterior al reinicio del bombeo, **lo cual en efecto se comprobó**.

b) Informe SAG con análisis de imágenes satelitales

En las conclusiones del informe se señala respecto de Pantanillo que:

"El año crítico de cambio brusco de las condiciones de éste humedal es el año 1996-1997, secándose completamente el año 2002".

En el sistema se indica respecto del estado del "Proyecto Minero Refugio" (RCA N°002/1994) lo siguiente: *"EN FASE DE OPERACIÓN (01-10-1996)"*

Es decir, los efectos del proyecto pudieron ser medidos sobre la cobertura del humedal de Pantanillo en un lapso menor a un año desde el inicio del bombeo. Esto permite concluir que los efectos en RA-3 debieran notarse en menos de un año desde iniciado el bombeo y que los impactos pueden ser transferidos desde el componente “agua” al componente “vegetación” rápidamente (en menos de un año).

4. Conclusiones:

4.1. Acerca de la situación actual de las extracciones de aguas subterráneas desde el campo de pozos de Pantanillo.

- Este Servicio no ha recibido los reportes anuales de extracciones comprometidos en el Considerando 3.9.6 la RCA N°045/2011 que aprobó ambientalmente la DIA ‘Modificación Proyecto Minero Refugio Racionalización de la Operación Mina Planta’, lo anterior en la forma y oportunidad que dicha RCA establece. En efecto, sólo se cuenta con reportes históricos de bombeos para el período 2009-2012, y tampoco se tiene registro de reportes trimestrales anteriores, asunto que la propia RCA consagra.
- En los descargos presentados el pasado mes de Junio, el titular incluye información de extracciones medias mensuales que no habían sido comunicadas previamente a la autoridad. Esta información no se encuentra tabulada en el Informe Técnico que complementa dichos descargos, presentándose sólo en gráficas de comportamiento temporal a escalas poco precisas, asunto que impide verificar adecuadamente las condiciones de la fiscalización ambiental autorizada. Teniendo presente que el orden de magnitud de los bombeos es un aspecto que requiere de un nivel de precisión especialmente riguroso, este Departamento considera relevante que el titular acompañe estos antecedentes de manera clara, explicitando concretamente los valores de bombeo efectuados, toda vez que la inspección visual de gráficas de comportamiento temporal no es un procedimiento confiable para evaluar el grado de cumplimiento del seguimiento ambiental en análisis.
- Aún con las limitaciones que conlleva el extraer información directamente desde gráficas de comportamiento, se hizo el esfuerzo de reconstruir en gabinete la base de datos que el titular reporta en sus descargos. De dicho trabajo, se observan diferencias entre los datos proporcionados por el titular a este Servicio para el período 2009-2012 y aquellos incluidos en los descargos del propio titular, diferencias que en algunos casos no son atribuibles a errores de la lectura de gráficos. Lo anterior se evidencia tanto para caudales medios mensuales como para caudales medios anuales.
- No es posible verificar la condición de alternancia en el bombeo para los pozos RA-1 y RA-2, condición que el titular informa tanto en su reporte del período 2009-2011 como en sus últimos descargos. En efecto, con ocasión de labores inspectivas, este Servicio concurrió a terreno en el año 2012 y observó que dichos pozos se encontraban operando de forma simultánea, y no alternada.
- El análisis de todos los antecedentes disponibles permite confirmar que la explotación desde el campo de pozos de Pantanillo es la única perturbación antrópica susceptible de generar efectos adversos sobre vega Pantanillo y vega Valle Ancho.

4.2. Acerca de la relación entre las extracciones de agua subterránea desde el campo de pozos de Pantanillo y el estado de la vegetación del corredor biológico Pantanillo-Ciénaga Redonda.

- Las vegas del corredor biológico responden a un complejo funcionamiento geológico, litológico e hidráulico, que se corresponde con el ascenso de materiales impermeables y con una disminución del ancho del acuífero, condición que genera el estrangulamiento del flujo y el acercamiento de los niveles de aguas subterráneas a la superficie topográfica, posibilitando la existencia de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT). En particular, lo anterior permite justificar conceptualmente la existencia de las vegas Pantanillo, Valle Ancho, Barros Negros y Ciénaga Redonda, viéndose ello reflejado en los antecedentes del Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Salar de Maricunga.

(SERNAGEOMIN, 2000), conceptualización con la que este Departamento está de acuerdo y verificó en base a la construcción de perfiles que reflejan este acercamiento al compararse la altura topográfica de los pozos con los niveles freáticos estáticos informados por el titular. Con lo anterior, queda en evidencia que la variable nivel freático controla el funcionamiento de los sistemas vegetacionales. Así entonces, se puso especial énfasis en estudiar la situación histórica y esperada de niveles freáticos con diferentes enfoques metodológicos, ello con la finalidad de contar con antecedentes técnicos para reafirmar la situación observada en vega Pantanillo y en especial, para sustentar la susceptibilidad de generación de efectos adversos no previstos sobre las otras vegas del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda.

- Del análisis de niveles freáticos, se concluye que los bombeos efectuados con motivo del reinicio del proyecto el año 2005 generaron efectos en el corto plazo sobre el acuífero, manifestándose descensos al mes siguiente del reinicio del proyecto, se alcanzó un descenso de 2,1 metros en el plazo de 8 meses (Junio-2005 a Febrero-2006) y una reducción del nivel freático promedio de 1,2 metros, el cual se obtuvo de la comparación entre los niveles promedio de Mayo-2001 a Junio-2005 y Julio-2005 a Julio-2008. Considerando la línea base para la profundidad del nivel freático en RA-3, luego de reiniciado el proyecto, a los 6 meses se superó el descenso de 3 metros, magnitud que la RCA N°268/2009 (Considerando N°3.7.7) estipula como la mayor fluctuación meteorológica que es representativa del acuífero en la situación sin proyecto.
- Así también, la comparación entre los niveles freáticos históricos de los pozos RA-1, RA-2 y RA-3 y sus respectivos niveles de línea de base, indica que los descensos ocurridos en dichos pozos han sido mayores a 3 metros para el 81%, 89% y 40% de los registros, respectivamente, superándose en esos casos lo establecido en el Considerando N°3.7.7 de la RCA N°268/2009 como atribuible a "*fluctuaciones meteorológicas*".
- La inspección de los datos piezométricos permite establecer que se ha producido reiteradamente una inversión del flujo subterráneo en el periodo 2008-2014, alcanzando al menos el sector norte de vega Pantanillo y traduciéndose en un flujo desde la zona próxima al citado sistema vegetacional hacia el pozo de bombeo RA-1. Esta condición no formó parte de los procesos de evaluación ambiental de los proyectos que el titular ha ingresado al SEIA. De igual manera, es importante recalcar que la inversión de flujo conlleva una disminución del flujo pasante, y en consecuencia, es esperable un efecto sobre los niveles freáticos, específicamente un descenso hacia aguas abajo del corredor biológico.
- De la evaluación acuciosa del modelo numérico desarrollado por el titular, se concluye que la herramienta no cuenta con los elementos necesarios para ser usada de manera predictiva, por cuanto el modelo conceptual contraviene notablemente la representación que este Departamento considera como válida, el modelo numérico no fue calibrado, no se justifica el uso de una conductividad hidráulica constante en un sistema altamente heterogéneo, y las condiciones de borde de nivel constante no representan adecuadamente los objetos de protección ambiental, entre otros aspectos. Así entonces, la suscrita cumple con informar que el modelo no es un antecedente técnico aceptable para predecir los efectos de la extracción de aguas subterráneas desde los pozos RA-1 y RA-2, en particular, para descartar la susceptibilidad de generación de efectos no previstos sobre el acuífero del corredor biológico Pantanillo – Ciénaga Redonda.
- Se usó la ecuación de Darcy para determinar los descensos en las inmediaciones del acuífero que alimenta a vega Valle Ancho, lo anterior asumiendo reducciones de caudal consistentes con la inversión de flujo observada, sensibilizando el valor de conductividad hidráulica y adoptando supuestos de uso común en hidrogeología para el gradiente hidráulico. Para el caso más desfavorable para el medio ambiente, se obtienen descensos del orden de 10,8 metros, situación que puede introducir alteraciones importantes sobre la capacidad de abastecimiento hídrico de la vega y que además se condice con las afectaciones vegetacionales observadas en terreno por la autoridad. Esta condición no formó parte de los procesos de evaluación ambiental de los proyectos que el titular ha ingresado al SEIA.

Finalmente, respecto del análisis de los descargos presentados en Junio por CMM, la metodología simplificada adoptada por dicho titular, consistente en la estimación del avance del cono de depresión a un ritmo constante, no se configura como un elemento técnico suficientemente fundamentado para descartar que el efecto de los bombeos haya llegado a Vega Valle Ancho. Del análisis desarrollado para este Oficio, se puede concluir que el resultado que se obtenga por la metodología depende sobre todo del tiempo que se estime para la ocurrencia del desfase entre el bombeo y los descensos en RA-3. En esta línea, el tiempo de ocurrencia de los efectos del bombeo resultan notablemente menores a los considerados por el titular (5 años que estimó el titular). En base a los antecedentes disponibles se ha llegado a la conclusión de que el efecto del bombeo en RA-3 se percibe en un mes (resultados de prueba de bombeo) o en menos de un año (análisis de imágenes del SAG). Estos resultados independientes confirman el hecho de que el tiempo de desfase entre el bombeo y los descensos en RA-3 es inferior al utilizado por el Titular en sus cálculos, y confirman la idoneidad del valor adoptado en su lugar para realizar los cálculos corregidos. Se aclara que la metodología anterior, utilizada por el Titular, en sí misma no es incorrecta; Sin embargo, los valores que utiliza como parámetros de entrada no son idóneos. Dichos valores son por una parte imprecisos y por otra subestiman la velocidad de propagación del impacto, por lo que el resultado obtenido carece de toda validez como medio para descartar la ocurrencia de impactos en la vega Valle Ancho debido al bombeo desde los pozos RA-1 y RA-2.

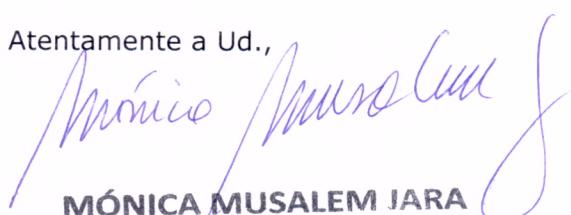
Si se utiliza la misma metodología propuesta por el Titular, pero utilizando los valores de entrada corregidos, se obtiene que los efectos en Valle Ancho producto del reinicio del bombeo debieran haberse detectado a partir del año 2007. Esta estimación es netamente teórica puesto que no existen datos de niveles en la zona. Se destaca el hecho que los resultados dependen fuertemente del tiempo que se estime para la ocurrencia del desfase entre el bombeo y los descensos en RA-3.

En resumen, las estimaciones realizadas en base a la información disponible permiten presumir impactos en el humedal Valle Ancho producto del bombeo de los pozos RA.

5. Anexo Digital (CD Adjunto según)

- 5.1. Datos meteorológicos y fluviométricos.
- 5.2. Datos de Niveles.

Saluda Atentamente a Ud.,



MÓNICA MUSALEM JARA
INGENIERA JEFA
DEPTO. CONSERVACIÓN Y
PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS HIDRÓDICOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS



MMJ/SVE/MCF/CQS/HMG

DISTRIBUCIÓN:

- Destinatario
- División de Estudios y Planificación, DGA
- Archivo DCPRH

Proceso N° 9403822/