

Mat.: 1. Informa la activación del PAT contemplado en la acción N°13 del PdC de Pampa Hermosa. 2. Solicita validación para habilitación de puntos de inyección complementarios.

Ref.: Proceso de sanción Rol D-027-2016

Ant.: 1. Escrito de 11.02.2022 que informa configuración de impedimento y solicita ajuste de cronograma. 2. Res. Ex. N°24/ Rol D-027-2016 que aprueba programa de cumplimiento y suspende procedimiento administrativo sancionatorio en contra de SQM S.A.

Santiago, 1 de abril de 2022.

Señor

Emanuel Ibarra Soto

Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente

Superintendencia del Medio Ambiente

Presente

Att.: José Saavedra Cruz, instructor del procedimiento sancionatorio D-027-2016

MARIO GALINDO VILLARROEL, en representación de Sociedad Química y Minera de Chile S.A., (en adelante, "SQM S.A." o "SQM"), Rol Único Tributario N° 93.007.000-9, ambos domiciliados para estos efectos en Calle Badajoz 45, Piso 8, comuna de Las Condes, Región Metropolitana, en procedimiento sancionatorio ROL D-027-2016, vengo en:

- i) Informar a usted la activación voluntaria del Plan de Alerta Temprana ("PAT") previsto en la Acción N°13 del Programa de Cumplimiento asociado a la unidad fiscalizable "Pampa Hermosa", que fue aprobado por Resolución Exenta N° Res. Ex. N°24/ Rol D-027-2016, de 26 de febrero de 2019 (en adelante, "PdC").
- ii) Solicitar la validación de esta Superintendencia para proceder con la habilitación de puntos de inyección complementarios con objeto de mantener la operación de la Regla Operacional Actualizada, considerando el diseño, características y ubicaciones propuestas en el Informe "Análisis capacidad de inyección y recomendaciones", elaborado por Hidroestudios, que se acompaña a esta presentación.

Lo anterior, considerando los antecedentes y fundamentos que se exponen a continuación:

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO “PAMPA HERMOSA” Y DEL PROGRAMA DE CUMPLIMIENTO APROBADO POR ESTA SUPERINTENDENCIA

La Res. Ex. N°890/2010 (en adelante, “RCA”) de la Comisión Nacional del Medio Ambiente calificó favorablemente el proyecto “Pampa Hermosa”, que tiene por objeto aumentar la producción de yodo del área industrial Nueva Victoria en 6.500 ton/año, logrando una capacidad de 11.000 ton/año de yodo, y previendo una vida útil de 30 años. En lo que interesa, el proyecto incluye la utilización de agua industrial mediante el ejercicio de derechos de agua subterránea desde los acuíferos Pampa del Tamarugal, Salar de Llamara y Sur Viejo.

En particular, el Considerando 4.2.3 letra f) de la RCA establece que la operación del proyecto considera la extracción de agua subterránea del acuífero del Salar de Llamara por un caudal de 124,7 l/s. Según se estableció en la evaluación ambiental, dicha extracción podría generar una disminución del nivel superficial de agua en Puquíos del Salar de Llamara durante la etapa de operación del Proyecto (Considerando 7.1.1). Estos puquios corresponden a los denominados N1, N2, N3 y N4.

Para abordar este impacto sobre el nivel superficial de agua en los puquios, se contempló como medida de mitigación la implementación de una barrera hidráulica, consistente en la inyección de agua a través de pozos ubicados entre el sector de bombeo y los Puquíos, con el objetivo de *“inducir un aumento del nivel del acuífero de manera de generar una divisoria de aguas que aisle el comportamiento hidráulico de ambos sectores”* (Considerando 7.1.1), y así que permitir mantener los niveles de agua superficial de los puquíos que sostienen la biota acuática y terrestre existente (Considerando 4.2.5.2 letra i).

Luego, en el marco del proceso sancionatorio ROL D-027-2016, la Superintendencia del Medio Ambiente formuló cargos asociados a la RCA, y mediante Res. Ex. N°24/ Rol D-027-2016 de 26 de febrero de 2019, aprobó el PdC propuesto por mi representada, el cual compromete las acciones N°7, N°13 y N°29 en los siguientes términos:

Hecho infraccional	N°	Acción
--------------------	----	--------

<p>1. Falta de implementación de barrera hidráulica, en función de:</p> <p>a. No inyección de agua en el Puquio N4, no obstante, el nivel de agua se encontraba bajo el umbral establecido durante 78 días, en el período de 25 de septiembre y 10 de diciembre de 2013 y el día 14 de diciembre de 2013.</p> <p>b. Regla operacional: b.1 Falta de activación de la barrera hidráulica: En Puquios N1 y N2 entre los días 14 y 15 de mayo; entre el 17 y 27 de mayo; y, entre el 4 y el 23 de junio, todos de 2015, no obstante, se constató una disminución por sobre 6,5 cm en el pozo M3N2. B.2 No aumentar caudal de inyección de agua en el Puquio N2 para el periodo entre el 19 de diciembre de 2013 y 26 de enero de 2014, no obstante, el nivel del espejo de agua se encontraba bajo el valor umbral y en descenso.</p> <p>c. Salinidad: Inyección de agua nula o insuficiente, no obstante, la salinidad se encontraba fuera de los rangos umbrales establecidos en la RCA en los siguientes periodos: c.1Puquio N1: Entre el 29 de octubre de 2013 y el 27 de mayo de 2014, así como, entre el 07 de abril y 02 de junio de 2015. C.2Puquio N2: Entre el 25 de octubre de 2013 y 21 de mayo de 2014; Entre el 28 de octubre de 2014 y el 02 de diciembre de 2014; Entre el 22 de abril de 2015 y 27 de mayo de 2015.</p>	7	<p>Controlar la calidad de las aguas de inyección, en cada uno de los puquios, durante toda la vigencia del PdC, a través de una regla operacional actualizada, detallada en el Anexo 7.2, que priorice mantener la calidad por sobre el nivel de los puquios, conforme a lo requerido por la SMA.</p>
<p>2. Falta de activación de Plan de Alerta Temprana del Sistema de Puquios del Salar de Llamara (Fase Alerta I, sector Puquio N3), encontrándose los pozos PAT asociados al Puquio N3 (N3N-M3N3, N3S-M3N3 y N3E-M3N3), debajo de los umbrales definidos, por el periodo entre junio 2013 y diciembre de 2015.</p>	13	<p>Definir y aplicar un PAT Fase Alerta I Acuífero Llamara actualizado, de carácter provisoria. La acción se aplicará tanto para el Puquio N3 como para el Puquio N2.</p>
<p>7. Modificación de medida de mitigación, consistente en la implementación de una barrera hidráulica y Plan de Alerta Temprana, sin contar con autorización ambiental, según se indica a continuación: a) Cambio de ubicación de los pozos de inyección del puquio N°2; b) Falta de construcción de 2 pozos de inyección asociados al Puquio N3; c) Construcción de 4 pozos de inyección no autorizados asociados al Puquio N4); d) Construcción de Pozo N3W (pozo de monitoreo) en zona distinta a la autorizada (Plan de Alerta Temprana-Puquios Salar de Llamara). E) Reemplazo de pozo de monitoreo PO-2 por pozo PO-2ª (PAT Tamarugo Salar de Llamara) f) Reemplazo de pozo de monitoreo XT-2B por XT-2ª. (PAT Tamarugo Salar de Llamara).</p>	29	<p>Ingresar al SEIA modificaciones a la medida de mitigación del considerando 7.1.1 de la RCA 890/2010 y de la Fase Alerta I Acuífero Llamara del Plan de Alerta Temprana y robustecer el plan de seguimiento asociado a los Puquios de Llamara</p>

A continuación, se dará cuenta de los principales aspectos del contenido de estas acciones, en lo pertinente a esta presentación.

1.1. Acción N°7: Implementación de una regla operacional actualizada (“ROA”) del caudal de inyección de la medida de mitigación

La acción N°7 del PdC contempla la implementación de una regla operacional actualizada (“ROA”) del caudal de inyección de la medida de mitigación, que tiene por objetivo proteger la biota acuática

presente en los puquios en base a la consideración de 2 parámetros: conductividad eléctrica y nivel de agua. En particular, se busca priorizar la mantención de la calidad por sobre el nivel de agua en los puquios, considerando mantener el comportamiento estacional de niveles. Esta acción se debe implementar durante toda la vigencia del PdC, y su detalle se entregó en el Anexo 7.1 del PdC.

En base a los criterios señalados, de manera semanal se realiza la toma de decisión en relación al aumento, disminución (de 0,1 a 0,5 l/s) o mantención del caudal de inyección.

En la forma de implementación de esta medida se previó la hipótesis en que la capacidad de inyección no fuese suficiente para responder al requerimiento diario de la ROA, conforme al siguiente detalle:

7.8 En caso de una capacidad de inyección insuficiente para responder al requerimiento diario de inyección, conforme a la Regla Operacional Actualizada, en alguno de los pozos de inyección en particular, se realizarán las siguientes acciones:

7.8.1 En caso de ser insuficiente la capacidad de inyección en un punto para responder al requerimiento diario de la Regla Operacional actualizada, se procederá a seleccionar una ubicación próxima, para efectos de habilitar un punto complementario de inyección.

7.8.2 Previo a ejecutar la habilitación del punto, se consultará a la Dirección Regional del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de Tarapacá la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

7.8.3 En caso que el Servicio de Evaluación Ambiental determine que la habilitación del punto requiere someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, dicha acción será incorporada en el marco del ingreso establecido en la Acción 29". (énfasis nuestro)

1.2. Acción N°13: Aplicación de un Plan de Alerta Temprana actualizado, de carácter provisorio

La acción N° 13 consiste en "[d]efinir y aplicar un PAT Fase Alerta I Acuífero Llamara actualizado, de carácter provisorio" en un plazo que va desde 26 de marzo de 2019 hasta el término del PdC. El detalle de la actualización del PAT Fase Alerta I Acuífero Llamara fue presentado en Anexo 13.1. del PdC, y consideró la definición de indicadores que darían cuenta de **un riesgo de falta de capacidad del sistema de inyección**.

En particular, conforme a dicho documento se considera como indicadores de activación, alternativamente:

(d) **la tasa de inyección por cm**, entendida como el caudal (l/s) necesario para aumentar en 1 cm el nivel del acuífero medido en los pozos M3N2 y M3N3, estableciendo los siguientes valores umbrales:

M3N3 >9,4

M3N2 >12,5

(ii) **la disponibilidad de inyección**, entendida como la capacidad total real de inyección del sistema evaluado año a año, considerando como umbral que el sistema de inyección debe

asegurar al menos lo que se requerirá la temporada siguiente conforme a la Tabla 3-2 del PAT.

En este respecto, cabe señalar que el indicador (ii) considera la capacidad total de inyección al sistema, y no la capacidad de inyección específica respecto de cada puquio.

Ante su activación por alguno de los indicadores y umbrales ya señalados, se consideran las siguientes acciones adicionales relacionadas con la adecuación del sistema de inyección:

- “i) **Aviso a la Superintendencia de Medio Ambiente** en un plazo máximo de 1 mes de terminada la temporada estival,*
- d) ***Evaluación de parámetros de diseño de la medida de mitigación**, incluyendo todos los componentes, capacidad de las bombas, aducción, capacidad de inyección de pozos, etc.*
- d) ***Diseño de sistema con mayor capacidad de inyección**, puede incluir entre otros, cambios de bombas, cambios en la aducción, rehabilitación de pozos existentes, cambio en número o tipo de pozos de inyección, etc.,*
- iv) **Validación requerida para proceder con la implementación del nuevo diseño**,*
- v) Implementación del nuevo diseño”.*

Finalmente, cabe indicar que este PAT tiene el carácter de provisorio, mientras no se obtenga una RCA que establezca un nuevo PAT Fase Alerta I Acuífero Llamara que reemplace en lo que corresponda el establecido en el Considerando 7.1.1 de la RCA 890/2010.

1.3. Acción N°29: Ingreso a SEIA de modificaciones a la medida de mitigación del considerando 7.1.1 de la RCA

Esta acción consiste en ingresar al SEIA las modificaciones a la medida de mitigación del considerando 7.1.1 de la RCA 890/2010 y de la Fase Alerta I Acuífero Llamara del Plan de Alerta Temprana y robustecer el plan de seguimiento asociado a los Puquios de Llamara.

En particular, el proyecto a someter al SEIA debe considerar, a lo menos, la evaluación de los siguientes aspectos:

- (a) Actualización del PAT Fase Alerta I Acuífero Llamara que tenga como alcance ser útil para los 4 puquios;
- (b) **Nueva infraestructura de inyección** para cumplir con los requerimientos de la regla operacional durante la vida útil del proyecto.
- (c) Actualización de la regla operacional de la medida de mitigación asociada a la implementación de la barrera hidráulica.
- (d) Actualización del plan de seguimiento ambiental.

Conforme a lo comprometido en esta acción, SQM elaboró e ingresó al SEIA el EIA del Proyecto “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara” (en adelante, “Proyecto Modificación”) el 9 de julio de 2020, lo que fue reportado en el Informe de Avance N°6 del PdC. Consta en el expediente del proceso de evaluación del Proyecto Modificación, que el ICSARA N°2

se publicó el 14 de diciembre de 2021. Actualmente, se encuentra en elaboración la Adenda N°2 del EIA, cuyo plazo de presentación vence el 31 de mayo del 2022, es decir, con posterioridad al término del plazo establecido para ejecutar la Acción N°29.

Mediante escrito presentado con fecha 11 de febrero de 2022, se informó a esta Superintendencia la configuración del impedimento N°2 de esta acción, consistente en el “Retraso en la obtención de la RCA por causas no imputables al titular, debidamente justificadas” para dar cumplimiento a esta acción, solicitado el ajuste de cronogramas y del Plan de Acciones y Metas.

2. ANTECEDENTES QUE JUSTIFICAN LA ACTIVACIÓN DEL PLAN DE ALERTA TEMPRANA PREVISTO EN LA ACCIÓN N°13 DEL PDC.

Las causas no imputables a SQM de las cuales deriva la necesidad de activar el Plan de Alerta Temprana de forma voluntaria, se exponen a continuación:

2.1. Mi representada ha sido diligente en la operación de la ROA, en la habilitación de la infraestructura requerida para la operación del sistema de inyección, y en la realización de mejoras y mantenciones.

Actualmente el Proyecto Pampa Hermosa cuenta con 13 pozos de inyección, que han sido implementados en diversas etapas desde el año 2011, conforme al siguiente detalle:

Figura 1. Cronograma construcción sistema de inyección Medida de mitigación



Fuente: Hidroestudios, 2022

La primera etapa de habilitación se inició el año 2011 con la instalación de la tubería de impulsión desde el sector de bombeo hasta el sector de puquios y la construcción de 2 pozos de inyección, de los cuales actualmente se encuentra operativo el pozo RN3e. Posteriormente, entre octubre y noviembre del año 2012 se construyeron 5 pozos y luego, entre octubre y noviembre del año 2013, los pozos RN4A y RN4C.

Luego, entre agosto y septiembre del año 2017 se realizó un video de inspección de los pozos de inyección construidos hasta esa fecha, con lo que se pudo obtener un registro del perímetro de las tuberías de habilitación y de la verticalidad de éstas. Con base en dicho levantamiento, se generó un diagnóstico de la situación de los pozos para luego realizar los trabajos de rehabilitación y mejoras en la infraestructura de inyección entre los años 2018 y 2019.

De este modo, y según lo comprometido en la Acción N°4 del PdC, durante el segundo semestre del año 2018 se construyeron y habilitaron los pozos RN3b y RN3c y por último, entre mayo y julio de 2019, se rehabilitaron los pozos RN4B, RN4D en el puquio N4 y los pozos RN3A, RN3E en el puquio N3, logrando con ello aumentar la capacidad de inyección de acuerdo con lo indicado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Asimismo, se ha continuado realizando las mantenciones de la infraestructura existente para la operación de la medida de mitigación, con el objetivo de mantener o aumentar la capacidad del sistema. Se ejecutan de manera periódica las siguientes actividades:

- Pozos de extracción: Se realiza una inspección semanal en que se verifica el estado de las instalaciones. Adicionalmente, se realizan mantenciones semestrales de revisión termográfica de los tableros eléctricos de los pozos de extracción.
- Sistema de impulsión: Se realiza una inspección semanal en que se verifica el estado de las instalaciones. Adicionalmente, se realizan mantenciones quincenales que contemplan la revisión termográfica y de vibraciones al equipo de impulsión.
- Tubería de aducción: Se realiza una inspección semanal en que se verifica el estado de la tubería en toda su extensión y la necesidad de efectuar reparaciones. Adicionalmente, de manera anual se evalúa si la proyección de los requerimientos de caudal para el año siguiente requiere el cambio de tramos o de la totalidad de la tubería.
- Pozos de inyección: Se realiza una inspección diaria en que se verifica el estado de las instalaciones. Luego, en base al rendimiento de los pozos, (capacidad de inyección (caudal), presiones de trabajo, presencia de humedad en los pozos o sus inmediaciones) se programan tareas de mantención tales como filmaciones, limpieza de habilitaciones, cambio de tuberías, mantenciones mayores, etc.

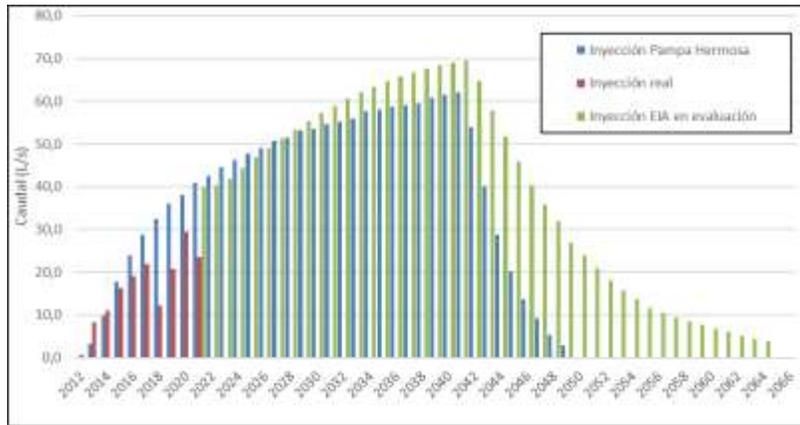
Gracias a todo lo anterior, es posible señalar que hasta la fecha ha existido una correcta aplicación de la ROA, priorizando la CE por sobre el nivel y buscando la estacionalidad en ambos parámetros, lo que se ve reflejada en sus resultados, y en particular, en el éxito en la mantención de la estacionalidad en ambos parámetros, y en la recuperación de los niveles de forma posterior al desajuste provocado por la MUT. De lo anterior, da cuenta el informe “Evaluación Regla de Operación Actualizada” elaborado por Hidroestudios, acompañado en el reporte de avance del PdC correspondiente a junio de 2021, y que se acompaña en Anexo 2 de esta presentación.

2.2. Sin embargo, los requerimientos de inyección aumentan año a año y los pozos pierden capacidad de inyección en el tiempo

Se debe tener presente que, pese a las mantenciones realizadas, de manera natural los pozos pierden capacidad de inyección por las características salinas del medio. Adicionalmente, para mantener activa la operación de la medida de mitigación, se requiere un aumento de caudal año a año.

En este respecto, Figura 2. se presenta en la siguiente figura un gráfico con el caudal proyectado para la operación de la medida de mitigación conforme al proyecto original Pampa Hermosa, el caudal real de inyección a la fecha, y el caudal de inyección que se estima será requerido en el futuro para la operación de la medida de mitigación actualizada, que considera el Proyecto “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara”, actualmente en evaluación ambiental.

Figura 2. Caudal requerido para operación medida de mitigación Pampa Hermosa



Fuente: Hidroestudios, 2022. En base a figura Figura 2-2 del Capítulo 2 del EIA del Proyecto “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara”

2.3. Por tanto, existe actualmente una falta de capacidad de inyección específica para operar la ROA en el puquio N4, y se proyecta una falta de capacidad de inyección en relación a los puquios N1-N2 para el año 2022.

A continuación, la siguiente Tabla da cuenta del caudal de inyección requerido que se proyecta respecto de cada puquio para la correcta aplicación de la ROA:

Tabla 1: Caudal requerido para aplicación ROA a abril de 2023 (L/s)¹

Fecha	Puquios N1-N2	Puquio N3	Puquio N4
nov 2021	2,2	16,3	17,3
dic 2021	4,4	18,6	19,5
ene 2022	6,6	20,8	21,7
feb 2022	8,6	22,8	23,7
mar 2022	10,8	22,8	23,7
abr 2022	13,0	22,8	23,7
may 2022	10,8	22,8	23,7
jun 2022	8,6	20,6	23,7
jul 2022	6,4	18,4	23,7
ago 2022	4,2	16,2	21,5
sept 2022	2,0	14,1	19,4
oct 2022	0,0	11,8	17,1
nov 2022	0,0	11,8	17,1

¹ La fecha límite de la simulación tiene relación con buscar la condición más desfavorable teniendo como horizonte de tiempo el año 2023, en ese sentido, para el periodo invernal del 2023 se estima una condición con un caudal requerido de inyección menor, acorde al comportamiento del sistema.

Fecha	Puquios N1-N2	Puquio N3	Puquio N4
dic 2022	0,0	14,1	17,1
ene 2023	2,2	16,3	17,1
feb 2023	4,2	18,3	19,1
mar 2023	6,4	20,5	19,1
abr 2023	8,6	20,5	19,1

	Aumento de caudal
	Mantenimiento de caudal
	Disminución de caudal
	Sobrepasa la capacidad

Fuente: Hidroestudios, 2022.

Puquio N1-N2: La capacidad actual de inyección para los puquios N1 y N2 es un rango de **10,5 a 10,8 L/s²**. Conforme a la proyección de los caudales de inyección que serán requeridos, se prevé que entre los meses de marzo a junio de 2022, no se contará con la capacidad necesaria. Por ello, para poder mantener los niveles, se requiere habilitar y operar nuevos pozos de inyección.

Puquio N4: La capacidad de inyección actual corresponde a un rango entre **14,8 y 15,3 L/s³**. Se estima que no será posible cumplir con los requerimientos de inyección de la ROA durante el año 2022, según da cuenta la proyección. Esta situación ya se verifica en el Puquio N4 desde octubre de 2021, según da cuenta el Informe de Ejecución Mensual N°31, presentado con fecha 3 de noviembre de 2021: *“de acuerdo con lo que indica la regla operacional actualizada para este Puquio, se debía incrementar el caudal de inyección durante todo el periodo, **sin embargo, se debe señalar, que para este puquio se alcanzó la máxima capacidad de inyección, por lo que los caudales de inyección se mantuvieron**”*.

2.4. Además, corresponde mantener la ejecución del PdC aprobado hasta, al menos, el 26 de agosto de 2023.

Cabe señalar que el plazo original para la ejecución del PdC finalizaba el 26 de febrero de 2022, plazo correspondiente a la acción de más larga data (Acción N°29). Sin embargo, y como se ha informado a esta Superintendencia mediante la presentación de ANT., se ha configurado el impedimento N°24 de dicha acción en tanto no será posible contar con la RCA favorable del Proyecto Modificación antes del vencimiento del plazo comprometido.

Así, se solicitó a vuestra Superintendencia ampliar el plazo establecido para cumplir esta acción, considerando como nueva fecha de término el día 26 de agosto de 2023. Esta fecha propuesta considera la apertura del proceso de consulta indígena mediante Res. Ex. N°202299101234, de 22

² Rango que se obtiene por el error de medición de los flujómetros ($\pm 0,5\%$ de acuerdo con el fabricante) y el manejo del sistema de válvulas para ajustar los caudales del sistema de tuberías y llegar al equilibrio hidráulico del sistema, dado las variaciones de inyección requeridas.

³ Rango que se obtiene por el error de medición de los flujómetros ($\pm 0,5\%$ de acuerdo con el fabricante) y el manejo del sistema de válvulas para ajustar los caudales del sistema de tuberías y llegar al equilibrio hidráulico del sistema, dado las variaciones de inyección requeridas.

⁴ Consistente en el “retraso en la obtención de la RCA por causas no imputables al titular, debidamente justificadas”

de marzo de 2022, de la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental y los tiempos promedios de tramitación de estos procesos en evaluaciones de proyectos interregionales como el Proyecto Modificación, como se explica en dicha presentación.

Por lo anterior, se estima que la ejecución de la Acción N°7 se extenderá durante a lo menos 15 meses adicionales, y por consiguiente la vigencia del PdC, siendo necesario mantener una capacidad de inyección suficiente para la operación de la ROA provisoria.

2.5. La acción N°7 no otorga una vía para aumentar la capacidad de inyección en el corto plazo, dado que existe una evaluación ambiental en curso que abarca dichas modificaciones.

La falta de capacidad de inyección para responder al requerimiento de inyección de la ROA corresponde a una situación que fue prevista en el PdC. En efecto, en la forma de implementación de la acción 7 (numeral 7.8) se indica que en caso de una capacidad de inyección insuficiente para responder al requerimiento diario de inyección, conforme a la Regla Operacional Actualizada, en alguno de los pozos de inyección en particular, se realizarán las siguientes acciones:

*“7.8.1 En caso de ser insuficiente la capacidad de inyección en un punto para responder al requerimiento diario de la Regla Operacional actualizada, **se procederá a seleccionar una ubicación próxima, para efectos de habilitar un punto complementario de inyección.***

*7.8.2 Previo a ejecutar la habilitación del punto, **se consultará a la Dirección Regional del Servicio de Evaluación Ambiental** de la Región de Tarapacá la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.*

*7.8.3 En caso que el Servicio de Evaluación Ambiental determine que la habilitación del punto requiere someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, **dicha acción será incorporada en el marco del ingreso establecido en la Acción 29**”.*

Sin embargo, y como se desprende de la lectura del numeral 7.8.3, estas acciones se encontraban previstas para su ejecución de forma previa al ingreso establecido en la Acción N°29. En este respecto, cabe recordar que el contenido de las modificaciones que serían ingresadas a evaluación se encontraba precisamente la *“(b) Infraestructura de inyección requerida durante la vida útil del proyecto “Pampa Hermosa”*”.

De este modo, el EIA “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara” que en cumplimiento de la Acción N° 29, ingresó al SEIA el 9 de julio de 2020, considera nueva infraestructura de inyección para cumplir con los requerimientos de la ROA durante la vida útil del proyecto (construcción y operación de 24 nuevos pozos de inyección sumados a los 13 existentes).

Como ya se indicó, se prevé que no se contará con autorización ambiental dentro de este año para su ejecución, por lo que esta opción no permitiría contar con una capacidad de inyección suficiente para la operación de la ROA en el corto plazo. Por otra parte, se estimó que no resultaba viable la opción el ingreso de una consulta de pertinencia respecto de acciones que ya se encuentran contenidas en un EIA en evaluación por la autoridad.

2.6. La activación voluntaria del PAT en el marco de la Acción N°13 del PdC, permitiría aumentar la capacidad de inyección de forma provisoria, mientras no se cuente con la RCA favorable.

En dicho contexto, se constata que el PAT provisorio de la Acción N°13 del PdC otorga una vía adecuada para ejecutar la construcción y operación de pozos adicionales necesarios para contar con la capacidad de inyección suficiente para la operación de la ROA, requiriendo previamente de la validación de la SMA en el marco del proceso de sanción.

En efecto, el Anexo 13.1 del PdC contempla en este respecto las siguientes acciones:

- i) **Aviso a la Superintendencia de Medio Ambiente** en un plazo máximo de 1 mes de terminada la temporada estival,
- ii) **Evaluación de parámetros de diseño de la medida de mitigación**, incluyendo todos los componentes, capacidad de las bombas, aducción, capacidad de inyección de pozos, etc.
- iii) **Diseño de sistema con mayor capacidad de inyección**, puede incluir entre otros, cambios de bombas, cambios en la aducción, rehabilitación de pozos existentes, cambio en número o tipo de pozos de inyección, etc.,
- iv) **Validación requerida para proceder con la implementación del nuevo diseño**,
- v) **Implementación del nuevo diseño**.

Cabe señalar que, hasta la fecha, no se había activado el PAT Alerta I Provisorio durante la ejecución del PdC, dado que los indicadores establecidos no dan cuenta de falta de capacidad **específica** de inyección por cada puquío⁵, sino que evalúan la capacidad **total** de inyección para todo el sistema de puquíos.

Por ello, se considera adecuado la activación voluntaria de este PAT, de modo que permita mantener la operación efectiva de la medida de mitigación.

3. Solicitud de validación para proceder con la habilitación de puntos de inyección complementarios para incrementar la capacidad de inyección en relación a los sistemas de puquios N1-N2 y N-4

Para cumplir con los requerimientos de la ROA en este periodo y evitar disminuciones de nivel, se realizará en primer lugar la mantención de los Pozos RN4A y RN4C, para aumentar capacidad de inyección en relación al Puquío N4, así como de los Pozos RN2A, RN2B, RN2C y RN2D para aumentar capacidad de inyección en relación al Puquío N2. Estas actividades pueden considerar cambios de bombas, cambios en la aducción, rehabilitación de pozos existentes, etc., y con posterioridad a su ejecución, se realizará la evaluación de la efectividad de estas actividades.

Sin embargo, dado que las mantenciones que se realicen no permitirán alcanzar las capacidades de inyección iniciales, considerando el desgaste de la infraestructura, y además, el hecho que los requerimientos de agua de inyección para operar la ROA aumentan año a año, es que se requiere iniciar la habilitación de nuevos pozos de inyección en el menor plazo posible.

⁵ Estos indicadores corresponden a la tasa de inyección en M3N2 y M3N3, y la estimación de la disponibilidad de inyección obtenida mediante pruebas de inyección,

En particular, el Informe que se acompaña en Anexo 1 de esta presentación contiene una propuesta de diseño de los siguientes pozos que se requieren habilitar para poder cumplir con la ROA en el periodo 2022-2023 y así evitar una disminución de los niveles de los puquíos N1-N2 y N4, dando cuenta de los perfiles y las condiciones que se consideran para el emplazamiento de estos puntos de inyección, así como de las áreas en que se ubicarán:

- **2** nuevos pozos de inyección para el Puquio N4 con una capacidad estimada de **5 L/s** cada uno.
- **1** nuevo pozo de inyección para el Puquio N2 con una capacidad estimada de **6 L/s**.

4. PETICIÓN CONCRETA

POR TANTO, se solicita a Ud. en relación al PdC aprobado por Resolución Exenta N°24/ Rol D-027-2016 tener presente la activación voluntaria del Plan de Alerta Temprana contemplado en la Acción N°13, y validar la habilitación de puntos de inyección complementarios que se identifican en esta presentación, considerando el diseño, las características y las ubicaciones propuestas en el Informe de “Análisis capacidad de inyección y recomendaciones”.

5. ACOMPAÑA DOCUMENTOS

Se acompañan a esta presentación los siguientes documentos:

- Anexo 1: Informe “Análisis capacidad de inyección y recomendaciones”. (HIDRO.SQM697.INF012.REVC), elaborado por Hidroestudios.
- Anexo 2: Informe “Evaluación Regla de Operación Actualizada”, elaborado por Hidroestudios.

Sin otro particular, le saluda atentamente.

MARIO GALINDO VILLARROEL
pp. SQM S.A.

Análisis capacidad de inyección y recomendaciones

Apoyo al Programa de Cumplimiento Proyecto Pampa Hermosa SQM

ROL-D-027-2016

Preparado para SQM S.A.
HIDRO.SQM697.INF012.REV0
marzo, 2022

hidroestudios



Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	K. Hasler G. Sepúlveda	A. Pucheu	C. Ortiz	Revisión interna
	Fecha	22.02.2022	22.02.2022	22.02.2022	
B	Nombre	K. Hasler G. Sepúlveda	C. Ortiz	C. Ortiz	Revisión cliente
	Fecha	08.03.2022	08.03.2022	09.03.2022	
0	Nombre	K. Hasler	G. Sepúlveda	C. Ortiz	Aprobado cliente
	Fecha	31.03.2022	31.03.2022	31.03.2022	

Índice de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. APLICACIÓN REGLA DE OPERACIÓN PARA LA MEDIDA DE MITIGACIÓN.....	4
2.1. Infraestructura sistema de inyección.....	5
2.1.1. Sistema Puquio N1-N2.....	7
2.1.2. Sistema Puquio N3	8
2.1.3. Sistema Puquio N4	8
2.2. Análisis comportamiento CE y nivel.....	9
2.2.1. Sistema puquio N1-N2.....	9
2.2.2. Sistema puquio N3.....	11
2.2.3. Sistema puquio N4.....	13
3. SISTEMA DE INYECCIÓN Y REQUERIMIENTOS DE LA REGLA DE OPERACIÓN.....	14
3.1. Mantenimiento y mejoras realizadas al sistema de inyección.....	15
3.2. Requerimientos para aplicación Regla de Operación y comportamiento esperado.....	15
3.2.1. Descripción del modelo de predicción.....	16
3.2.2. Simulación y caudales de inyección requeridos.....	17
4. PROPUESTA MEJORA OPERACIONAL CAPACIDAD DE INYECCIÓN	19
4.1. Sistema Puquio N4	21
4.1.1. Perforación de pozos nuevos.....	21
4.1.2. Justificación del lugar.....	22
4.2. Sistema Puquio N1-N2.....	23
4.2.1. Perforación de pozos nuevos.....	23
4.2.2. Justificación de la ubicación.....	24
4.3. Planificación de los trabajos.....	24

Listado Tablas

Tabla 2-1: Valores umbrales de CE actualizados según regla de operación.....	4
Tabla 2-2: Capacidad actual por pozo de inyección según resultados de prueba hidráulica de año 2021	5
Tabla 2-3: Pozos de inyección actuales en sistema puquio N1-N2	7
Tabla 2-4: Pozos de inyección actuales en Puquio N3	8
Tabla 2-5: Pozos de inyección actuales en Puquio N4	8
Tabla 3-1: Umbrales para niveles y conductividad eléctrica.	15
Tabla 3-1: Caudal requerido para aplicación ROA a abril de 2023 (L/s).....	18
Tabla 4-1: Coordenadas de ubicación pozos de inyección propuestos	20
Tabla 4-2: Pozos de inyección propuestos en puquio N4	21
Tabla 4-2: Pozos de inyección propuestos en puquio N2	23
Tabla 4-4: Cronograma de construcción de 3 pozos de inyección.....	25

Listado de Figuras

Figura 2-1: Zonas utilizadas para la regla operacional	4
Figura 2-2. Cronograma construcción sistema de inyección Medida de mitigación.....	6
Figura 2-3: Ubicación pozos de inyección actuales	7
Figura 2-5. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N1	10
Figura 2-6. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N2.....	11
Figura 2-7. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N3.....	12
Figura 2-8. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N4.....	13
Figura 2-4. Caudal requerido para operación medida de mitigación Pampa Hermosa.....	14
Figura 4-1: Ubicación pozos de inyección propuestos.....	20
Figura 4-2: Diseño pozos de inyección propuestos en puquio N4	21
Figura 4-3: Ubicación pozos de inyección propuestos en Puquio N4	22
Figura 4-4: Diseño pozos de inyección propuestos en puquio N2	23
Figura 4-5: Ubicación pozos de inyección propuestos en sistema puquios N1-N2.....	24

1. INTRODUCCIÓN

En la Acción N°7 del Programa de Cumplimiento (PdC) aprobado mediante Res. Ex. N°24/ Rol D-027-2016 de 26 de febrero de 2019, SQM comprometió la aplicación de una Regla de Operación Actualizada (ROA) para la implementación de la medida de mitigación del Proyecto Pampa Hermosa, detallada en el Anexo 7.2 del mismo PdC.

Considerando lo solicitado en la observación N°24 formulada en la Res. Ex. N°22/ROL D-027-2016, el objetivo de la ROA es proteger la biota acuática presente en los puquios, priorizando mantener la calidad química por sobre el nivel de los puquios. Para dar cumplimiento a lo anteriormente mencionado, la ROA se ha estructurado con base en una priorización de la conductividad eléctrica (CE) como variable de control, y se han establecido umbrales por zonas con un valor máximo y mínimo, dejando el nivel de los puquios como variable de validación.

La medida de mitigación opera en el sector del Salar de Llamara mediante 13 pozos de inyección ubicados en el sector de los puquios, 11 de los cuales fueron implementados como parte de la medida de mitigación original (RCA N°890/2010) y 2 a través de la Res Ex. N°24/2019 del 26 de febrero de 2019 que aprueba el Programa de Cumplimiento. El agua de inyección se bombea desde el sector norte del Salar de Llamara, específicamente desde los pozos 3X-S7 y 2HENOC. Los caudales de inyección son variables, según los requerimientos de la ROA.

Al evaluar la operación de la ROA, en términos de los caudales inyectados, la conductividad eléctrica y el nivel en los puquios, se concluye que ha operado correctamente, cumpliendo con los criterios establecidos en el PdC, es decir, priorizando la mantención de la calidad por sobre el nivel y buscando reproducir el comportamiento estacional de ambas variables.

Sin perjuicio de lo anterior, se ha detectado la necesidad de aumentar la capacidad de inyección, dado que la infraestructura actual no permite cumplir con los requerimientos específicos de la ROA para algunos de los puquios. Esta situación se genera debido a que los requerimientos para mantener operativa la medida de mitigación en los términos de la ROA aumentan anualmente, y a la pérdida de eficiencia de los pozos de inyección, a pesar de las mantenciones efectuadas.

Para dar cuenta de esta situación en el presente documento se exponen los resultados de la operación de la ROA, el comportamiento de los Puquios y un análisis de proyección de dicho comportamiento, con el objetivo de entregar los antecedentes técnicos que justifican la estimación de agua de inyección que se requiere actualmente y en el futuro durante la vigencia del PdC.

2. APLICACIÓN REGLA DE OPERACIÓN PARA LA MEDIDA DE MITIGACIÓN

La medida de mitigación opera con la infraestructura implementada en el marco de la ejecución del PdC, aplicando la ROA desde el 26 de febrero de 2019. En ella se definen umbrales de nivel y de conductividad eléctrica para los puquios. Los umbrales de nivel y CE se mantuvieron iguales a los presentados en el Anexo II de la Adenda 3 del EIA del proyecto Pampa Hermosa (RCA 890/2010), a excepción del puquio N3, donde el criterio de cumplimiento para la CE se adecuó a la información histórica existente previo a la operación de la medida de mitigación, actualizando el valor umbral. Cabe mencionar que los puquios N1 y N2 corresponden a un solo sistema, donde el agua ingresa por N1 y luego llega a N2, siendo este último el que presenta mayor CE, por lo tanto, el umbral definido para el sistema N1-N2 es el de N1. La Tabla 2-1 muestra los valores umbrales de CE actualizados en la Regla de Operación Actualizada.

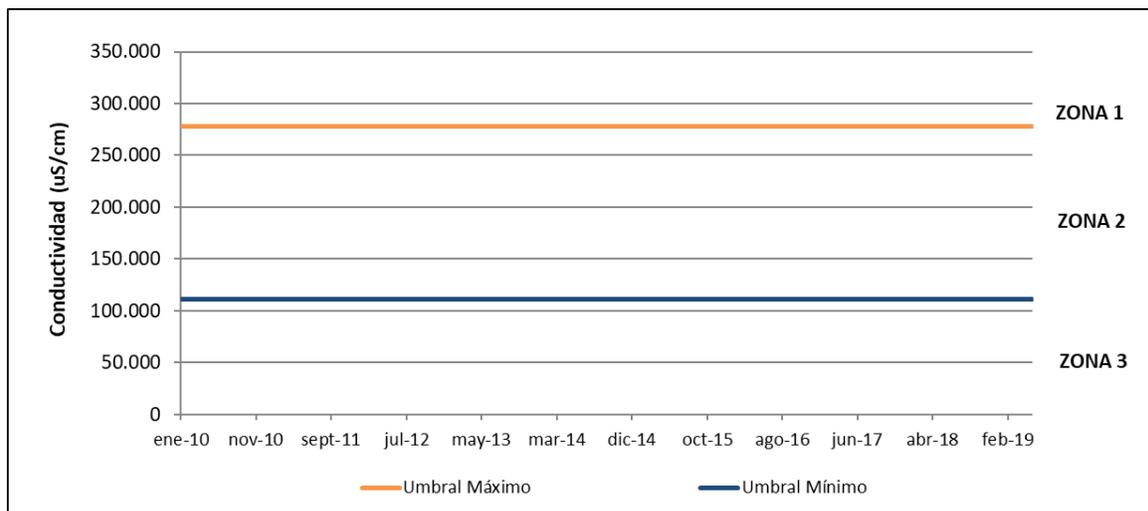
Tabla 2-1: Valores umbrales de CE actualizados según regla de operación.

Puquio	Umbrales actualizados	
	CE mín (µS/cm)	CE máx (µS/cm)
N1-N2	30.413	57.819
N3	34.500	140.600
N4	118.653	197.306

Fuente: Hidroestudios, 2022.

Con base en la información de los umbrales, se generaron zonas donde la regla operacional actuará sólo sobre la calidad química, y otras donde actuará en ambas variables (calidad y nivel, ver Figura 2-1).

Figura 2-1: Zonas utilizadas para la regla operacional



Fuente: Hidroestudios, 2019.

- Zona 1: $CE > U_{MAX}$, en esta zona la CE medida está por sobre la CE umbral, es decir, se requiere tomar acciones para diluir. Esta zona es representativa de lo que pasa en verano y no hay restricción para la inyección de agua.
- Zona 2: $U_{MAX} < CE < U_{MIN}$: en esta zona la CE se encuentra dentro de los umbrales definidos y, por tanto, el caudal de inyección será controlado por el nivel, con el fin de cumplir con lo indicado en la RCA.
- Zona 3: $U_{MIN} > CE$, En esta zona la CE está bajo del umbral inferior y se requiere concentrar, por lo anterior las acciones están orientadas a disminuir el caudal de inyección. Esta situación es representativa de invierno.

La respuesta del sistema a la ROA se mide y evalúa a través del monitoreo de nivel superficial del agua y de la CE de los puquios en sus respectivas regletas (N1, R3N2, R4N3 y R5N4), y a través del caudal de inyección de la medida de mitigación. Al evaluar la ROA, se concluye que ha operado correctamente, cumpliendo con los criterios establecidos en el PdC, es decir, priorizando la calidad por sobre el nivel y buscando la estacionalidad de ambas variables. Esta aplicación correcta se ve reflejada en sus resultados que dan cuenta de la mantención de la calidad química, la recuperación de los niveles - que se encontraban deprimidos debido a los efectos de las Medidas Urgentes y Transitorias (MUT)¹ – y la reproducción de la estacionalidad en el comportamiento de las variables.

A continuación, se presenta un análisis general de la aplicación de la ROA, en términos de seguimiento de las variables CE, nivel, y caudal inyectado, junto a una caracterización de la infraestructura del sistema.

2.1. Infraestructura sistema de inyección

Actualmente el sistema cuenta con 13 pozos de inyección. La capacidad de inyección se ha determinado con base en las pruebas realizadas entre los días 21 de marzo y 6 de abril de 2021, tal como se indica en informe “Evaluación PAT actualizado fase Alerta I”, de mayo de 2021 (Hidroestudios, 2021), que se presentó en el reporte de avance N° 9 del PdC.

Es pertinente indicar que los valores de capacidad de inyección por cada pozo, que son determinados mediante las pruebas de inyección puntuales, no son las mismas al momento de realizar una inyección conjunta dado que hay factores que inciden en la disminución de las capacidades individuales (interferencia de pozos). Asimismo, se debe tener presente que actualmente la capacidad de cada pozo es menor a la indicada en el informe referido, considerando la pérdida de eficiencia de los pozos a medida que transcurre el tiempo, dada las características salinas del medio.

A continuación, en la Tabla 2.2 se presentan la capacidad de caudal de inyección actual por cada pozo y también por sector de los Puquios.

Tabla 2-2: Capacidad actual por pozo de inyección según resultados de prueba hidráulica de año 2021

Pozo de inyección	Puquio/Sector	Capacidad actual (L/s)	Capacidad por sector ² (L/s)
RN2A	N1-N2	2,9	[10,5 - 10,8]
RN2B	N1-N2	1,8	
RN2C	N1-N2	1,9	
RN2D	N1-N2	0,6	
RN2E*	N1-N2	3,3	

¹ El 12 de diciembre de 2017 el Primer Tribunal Ambiental autorizó la medida urgente y transitoria solicitada por la SMA, consistente en la detención del bombeo de los pozos 2HENOC, 2PL2, 2PL3, 3X-14A, 3X-16A, 3X-S7 y X-17A y en la detención de la inyección en la barrera hidráulica, siendo ordenadas las medidas urgentes y transitorias (MUT) por la SMA a través de la Res. Ex. N°1485/2017. Con fecha 24 de abril de 2018, mediante la Res. Ex. N°473, la SMA ordena la renovación de medidas urgentes y transitorias, considerando la inyección sólo en el puquio N3 y N4 de unos 21 L/s en su conjunto, o en su defecto, establecer un aporte gradual de agua y la extracción necesaria para dicha inyección. Luego, con fecha 16 de octubre de 2018, el Primer Tribunal Ambiental rechazó una nueva renovación de las medidas urgentes y transitorias. Finalmente, con fecha 22 de octubre de 2018 se reinició la ejecución del Proyecto “Pampa Hermosa”, en lo relacionado con la extracción de agua subterránea y la medida de reinyección de agua, lo cual fue informado a través del Sistema de Seguimiento Ambiental (Comprobante Cod. 75047, de 22 de octubre de 2018).

²Rango que se obtiene por el error de medición de los flujómetros ($\pm 0,5\%$ de acuerdo con el fabricante) y el manejo del sistema de válvulas para ajustar los caudales del sistema de tuberías y llegar al equilibrio hidráulico del sistema, dado las variaciones de inyección requeridas.

Pozo de inyección	Puquio/Sector	Capacidad actual (L/s)	Capacidad por sector ² (L/s)
RN3E	N3	8,4	[26,0 – 26,5]
RN3A	N3	8,1	
RN3B	N3	2,6	
RN3C	N3	6,9	
RN4A	N4	1,5	[14,8 – 15,3]
RN4C	N4	2,2	
RN4B	N4	5,6	
RN4D	N4	5,5	

*Pozo de respaldo para N1-N2

Fuente: Hidroestudios, 2022.

Para dar contexto al análisis, se presenta un resumen cronológico de la implementación de la infraestructura de inyección para la operación de la medida de mitigación, desde el comienzo del proyecto Pampa Hermosa. La implementación de la primera etapa se inició el año 2011 con la instalación de la tubería de impulsión desde el sector de bombeo hasta el sector de puquios y la construcción de 2 pozos de inyección, de los cuales sólo se encuentra operativo el pozo RN3e. Posteriormente, entre octubre y noviembre del año 2012 se construyeron 5 pozos y luego, entre octubre y noviembre del año 2013, cuatro pozos en el sector de N4, resultando operativo sólo los pozos RN4A y RN4C.

Luego, y según lo comprometido en la Acción N°4 del PdC, durante el segundo semestre del año 2018 se construyeron y habilitaron los pozos RN3b y RN3c y, por último, entre mayo y julio de 2019, se rehabilitó los pozos RN4B, RN4D en el puquio N4 y los pozos RN3a, RN3e en el puquio N3.

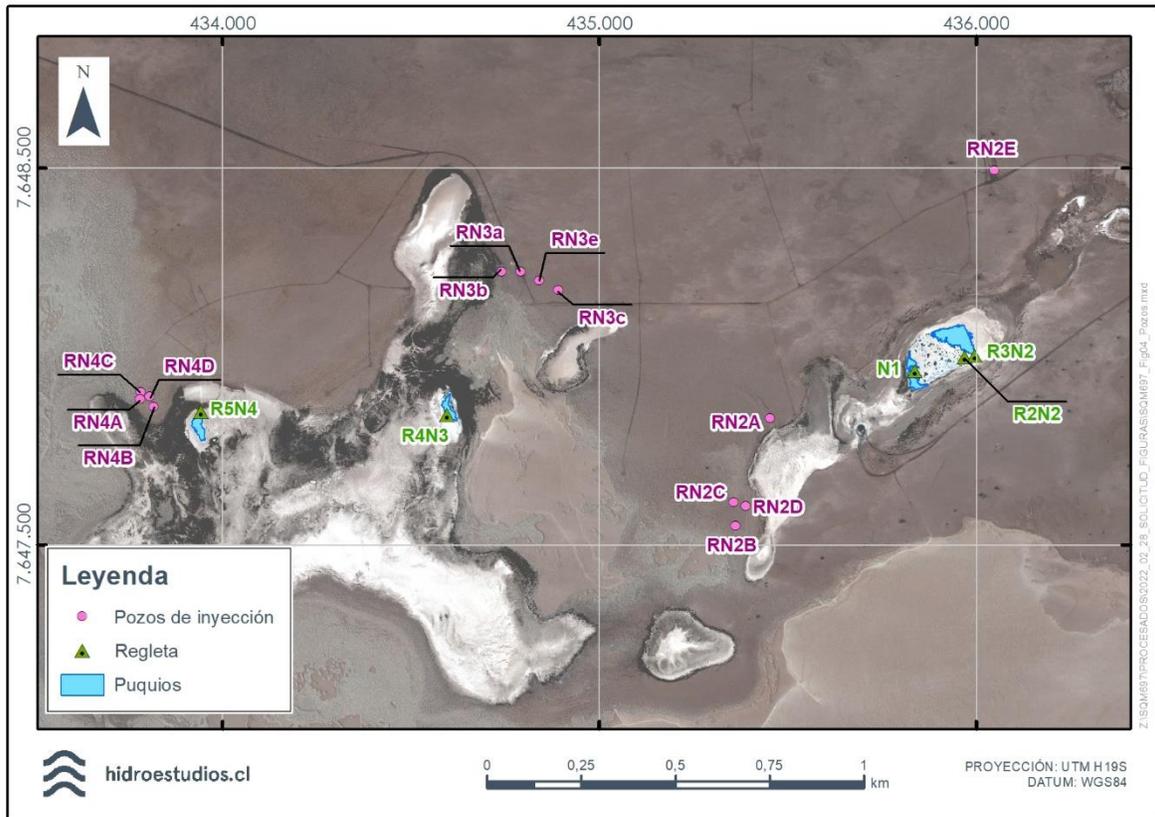
La Figura 2-2 presenta un cronograma resumen con las etapas de construcción de los pozos, y en la Figura 2-3 se muestra la ubicación de los pozos de inyección operativos en el sector de los puquios del Salar de Llamara. Adicionalmente se presenta en detalle lo indicado, por cada sector de los puquios.

Figura 2-2. Cronograma construcción sistema de inyección Medida de mitigación



Fuente: Hidroestudios, 2022

Figura 2-3: Ubicación pozos de inyección actuales



Fuente: Hidroestudios, 2022

2.1.1. Sistema Puquio N1-N2

En el sistema puquio N1-N2 se perforó el pozo RN2E el año 2011, como parte de la 1ª etapa de puesta en marcha de la medida de mitigación. A fines del año 2012 se construyeron 4 pozos, de los cuales 2 están habilitados en subunidad acuífera superior, RN2A y RN2B y 2 están habilitados en subunidad acuífera inferior, RN2C y RN2D. Las pruebas de inyección realizadas en estos 4 pozos, durante el verano de 2013, mostraron una buena respuesta del sistema. En la Tabla 2-3 se detallan los valores promedios de caudal inyectado por cada pozo y sus características.

Tabla 2-3: Pozos de inyección actuales en sistema puquio N1-N2

Pozo	Profundidad (m.b.n.s.)		Habilitación PVC 8" (m.b.n.s.)		Subunidad acuífera (habilitada)		Q inyección (L/s)	
	Perforación	Habilitación	Ciego	Ranurado	Superior	Inferior	Prom	Max
RN2A	8	7,99	0-3/6,8-8	3-6,8	3-6,8		0,7	4,3
RN2B	8,17	8,01	0-2,8/6,8-8	2,8-6,8	2,8-6,8		0,9	6,2
RN2C	20	19,91	0-12,8	12,8-18,5		12,8-18,5	0,7	10,6
RN2D	21	20,45	0-13,2	13,2-18,2		13,2-18,2	0,2	4,3
RN2E	30	30	0-12	12-30		12-30	0,15	3,3

Fuente: Hidroestudios, 2022

2.1.2. Sistema Puquio N3

En el año 2011 se construyó el pozo RN3e, habilitado en la subunidad acuífero inferior, donde el resultado de la prueba de inyección demostró la efectividad del pozo para mantener y levantar el nivel del puquio N3. Luego, se construyeron los pozos RN3A, RN3B, RN3C y RN3E, habilitados en la subunidad acuífero inferior, obteniéndose mejores resultados de inyección en aquellos pozos que presentan un mayor espesor habilitado en esta subunidad acuífera.

Posterior a la MUT se observa una disminución en la eficiencia de inyección en los pozos RN3A y RN3e, por lo cual en el marco del PdC, se rehabilitaron. Las características constructivas de estos pozos se presentan en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Pozos de inyección actuales en Puquio N3

Pozo	Profundidad (m.b.n.s.)		Habilitación PVC 8" (m.b.n.s.)		Subunidad acuífera (habilitada)		Q inyección (L/s)	
	Perforación	Habilitación	Ciego	Ranurado	Superior	Inferior	Prom	Max
RN3A	58	30,1	0-9,9	9,9-29,9		9,9-29,9	5,6	10,3
RN3B	27,3	25,6	0-16,9	16,9-25,7		16,9-25,7	3,6	9,1
RN3C	27,3	26,9	0-18,6	18,3-27,2		18,6-27,2	5,0	12,0
RN3e	43	30,2	0-18	18-30		12-30	6,4	10,1

Fuente: Hidroestudios, 2022

2.1.3. Sistema Puquio N4

A fines del año 2013 se construyeron 4 pozos de inyección en el sistema puquio N4, denominados RN4A, RN4B, RN4C y RN4D como parte de la 3ª etapa de la puesta en marcha de la medida de mitigación.

Los pozos RN4A y RN4C fueron habilitados tanto en la subunidad acuífero superior e inferior (ver Tabla 2-5), obteniéndose buenos resultados desde su prueba de inyección (realizadas en diciembre de 2013). Mientras que las pruebas de inyección realizadas en los pozos RN4B y RN4D no prosperaron, debido a que el agua inyectada comenzó a aflorar en las proximidades de los pozos, por lo que se procedió a rehabilitarlos, el primero en la subunidad acuífero superior e inferior y el segundo en la subunidad acuífero superior (ver Tabla 2-5).

Tabla 2-5: Pozos de inyección actuales en Puquio N4

Pozo	Profundidad (m.b.n.s.)		Habilitación PVC 8" (m.b.n.s.)		Subunidad acuífera (habilitada)		Q inyección (L/s)	
	Perforación	Habilitación	Ciego	Ranurado	Superior	Inferior	Prom	Max
RN4A	8,8	8,8	0-3,4	3,9-8,8	4-6,5	6,5-9,0	1,6	6,4
RN4C	8,8	8,8	0-4,0	4,0-8,8	4,0-6,5	6,5-9,0	2,9	8,2
RN4B	100	36,2	0-12,3	12,3-36,0		12,3-36	6,4	11,5
RN4D	18,2	18,2	0-12,1	12,1-18		9-18	3,3	8,1

Fuente: Hidroestudios 2022

2.2. Análisis comportamiento CE y nivel

2.2.1. Sistema puquio N1-N2

Como se ha mencionado, el sistema puquio N1-N2, de acuerdo con la ROA, se controla mediante la CE en el puquio N1 y mediante el nivel superficial del puquio N2 en la regleta R3N2. La Figura 2-4 presenta el comportamiento diario de las variables ambientales señaladas en puquio N1, mientras que la Figura 2-5 muestra la situación del puquio N2, junto al caudal medio semanal inyectado en el sistema.

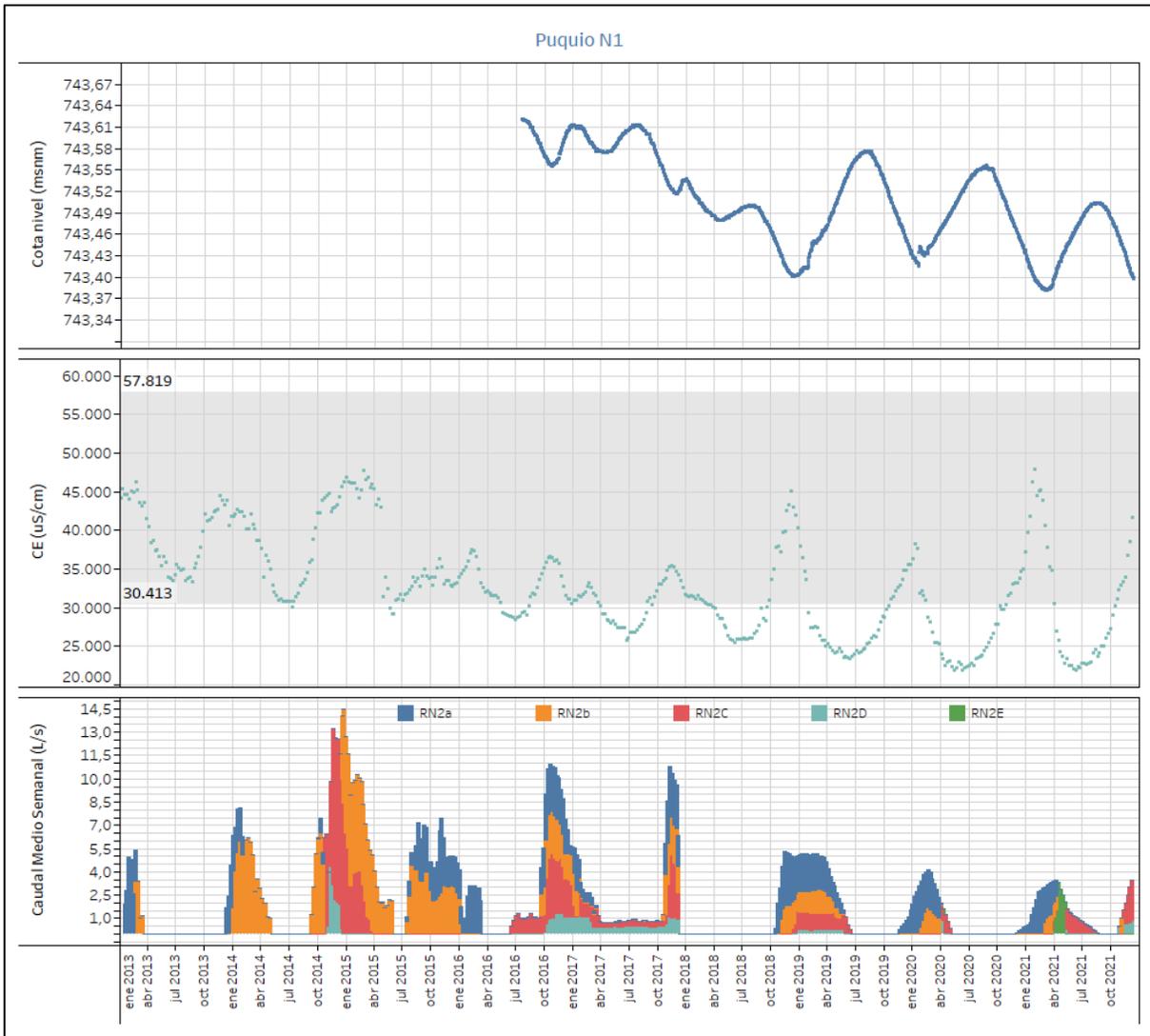
Tal como se visualiza en el gráfico, en el puquio N1 se ha observado una cierta tendencia al descenso en la CE durante los últimos años, estando por debajo del umbral inferior en gran parte de los años 2019 y 2020, con recuperación en los meses de verano. Para el año 2021 se observa que alcanza su valor mínimo a mediados del mes de junio, para luego registrar un aumento, estando por sobre el umbral a contar del mes de octubre. Por su parte, no se han registrado mediciones de CE por sobre el umbral superior.

Respecto a la CE medida en el puquio N2, el registro histórico muestra una tendencia estable, presentando una variación estacional natural y dentro de sus rangos históricos. Para el año 2021 presenta su mínimo a mediados del mes de septiembre, para luego observarse un aumento, tal cual como se observa en el puquio N1.

En relación con el nivel, en el periodo comprendido entre el año 2019 y 2021 se observa la estacionalidad de los niveles, con disminución en el periodo estival y aumento en los meses de invierno y una tendencia al descenso en ambos puquios. El nivel del puquio N2 se encuentra por sobre el umbral en los meses de invierno, sin embargo, se visualiza que para el año 2021 esta situación ocurre en un periodo más acotado y con un valor menor.

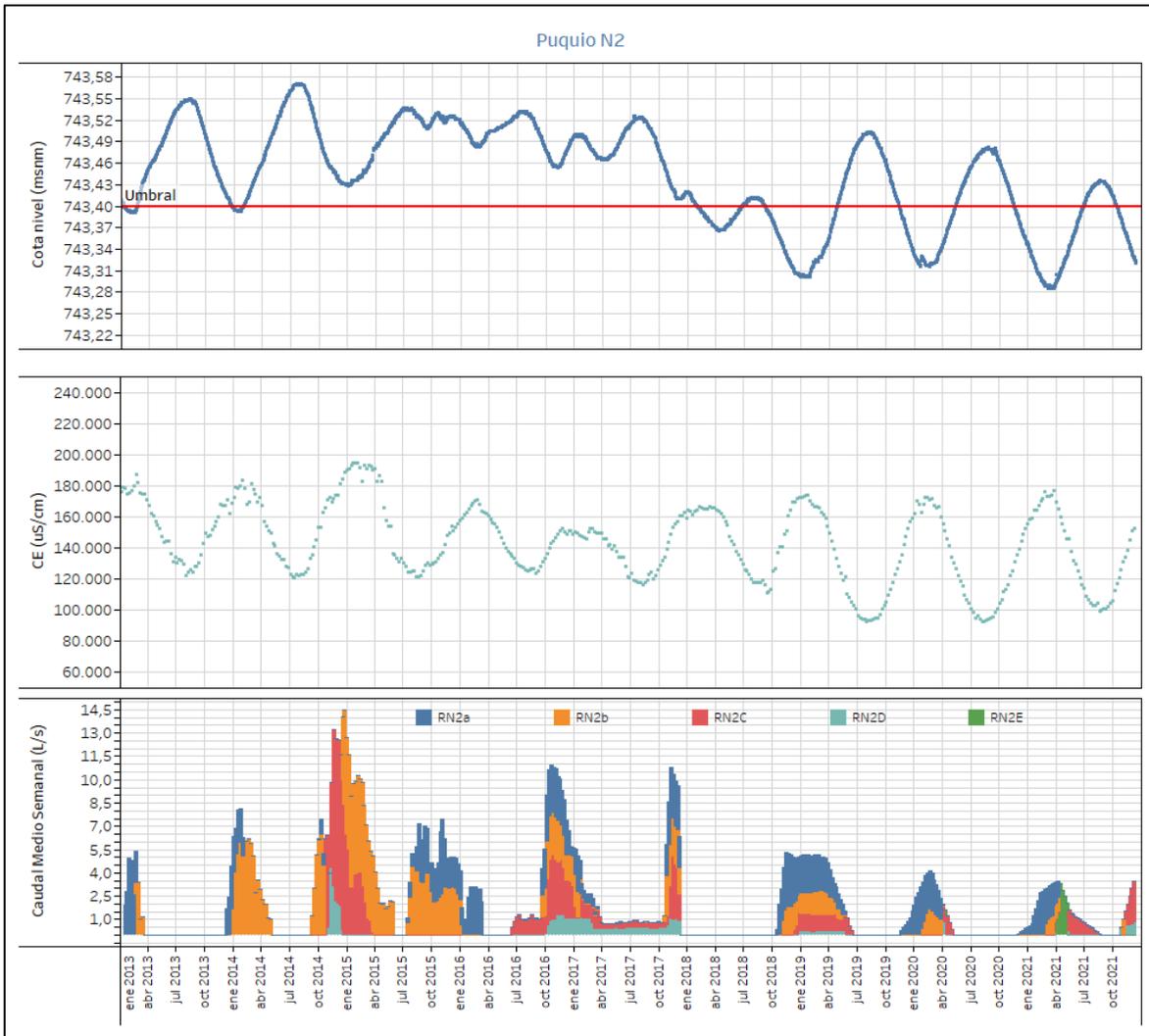
Cabe destacar que, dada la activación/desactivación de la ROA, la cual genera las variaciones de nivel y CE respecto de los rangos establecidos, se ha logrado mantener una sutil estacionalidad propia del sistema en la CE y una acentuada estacionalidad en el nivel de N2.

Figura 2-4. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N1



Fuente: Hidroestudios, 2022.

Figura 2-5. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N2



Fuente: Hidroestudios, 2022

2.2.2. Sistema puquio N3

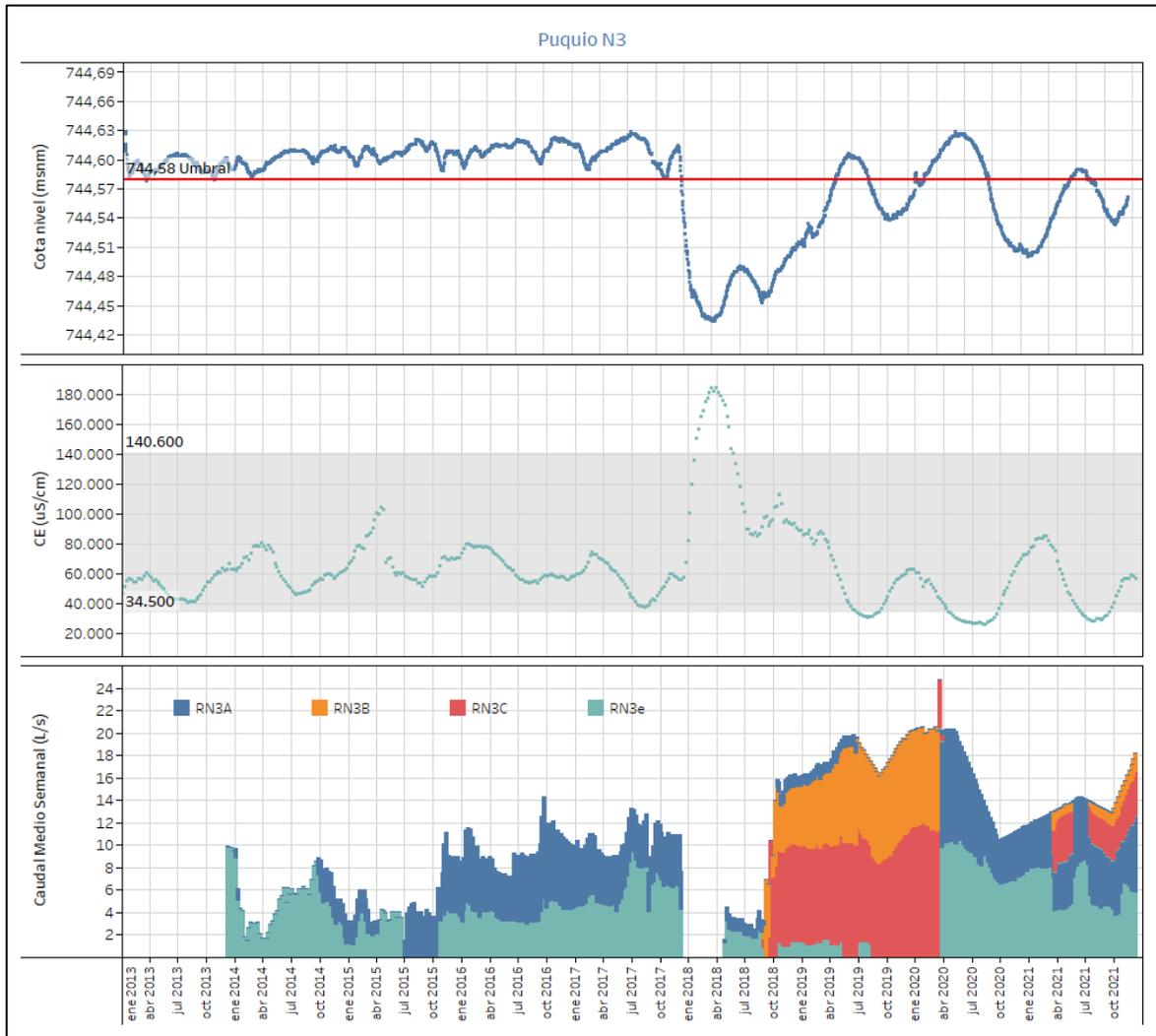
Para este puquio, se observa que, en el periodo de la detención de la inyección (producto de la aplicación de la MUT), hubo un aumento de la CE, donde se superó el umbral superior de CE entre los meses de enero y mayo de 2018. Esta relación tiene un sentido físico ya que, producto de que no estaba operativa la medida de mitigación, el nivel de los puquios disminuye, se reduce el volumen de agua y, por ende, la concentración de solutos aumenta.

Luego del periodo de aplicación de la MUT, al retomarse la inyección, la CE del puquio descendió a valores dentro del rango observado previo a la MUT, manteniendo un comportamiento estacional. En los meses de invierno de los años 2019 y 2020 la CE descendió por debajo del umbral inferior por algunos meses para luego presentar un aumento. En general durante el periodo 2019-2021 la CE se ha mantenido con una variación estacional en el tramo inferior del rango de tolerancia, tal como se observa en el gráfico de la Figura 2-6. Luego

de alcanzar su valor mínimo finalizando el mes de julio de 2021, se observa un aumento del valor de CE, estando por sobre el umbral hasta diciembre de 2021.

En términos generales, se observa que los niveles disminuyeron producto de la aplicación de la MUT, estando bajo el umbral definido en la RCA. En el periodo comprendido entre el año 2020 y 2021 se observa la estacionalidad, con disminución en el periodo estival y aumento en los meses de invierno. En particular para el periodo estival del año 2021 se registra una disminución mayor del nivel, para luego aumentar, y estar por sobre el umbral en un periodo menor de tiempo y en valores cercanos al umbral.

Figura 2-6. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N3



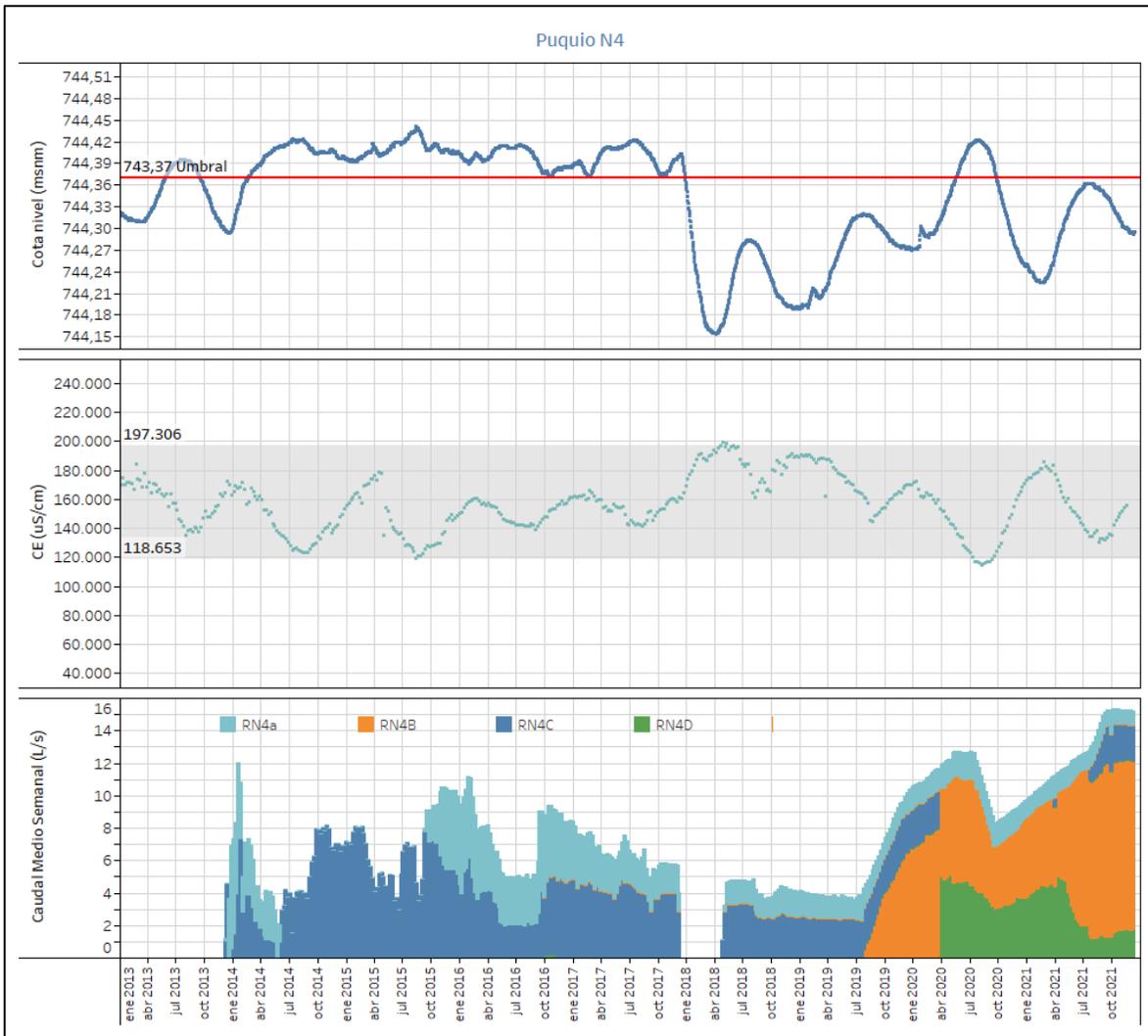
Fuente: Hidroestudios, 2022

2.2.3. Sistema puquio N4

Los registros en la regleta R5N4 se visualizan en la Figura 2-7 y muestran, al igual que lo observado en el puquio N3, que la CE mantiene un comportamiento estacional, manteniéndose durante casi todo el periodo posterior a la MUT dentro del rango definido en el PdC, con disminuciones hacia los meses de invierno y aumentos en el periodo estival, comportamiento que se mantiene hasta ahora.

En términos de nivel, se observa de manera evidente el desajuste ocurrido por la aplicación de la MUT, para luego presentar un aumento, estando por debajo del umbral hasta los meses de invierno del año 2020 y luego disminuir nuevamente en el periodo estival del año 2021, manteniéndose bajo el umbral durante todo el año 2021.

Figura 2-7. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en puquio N4



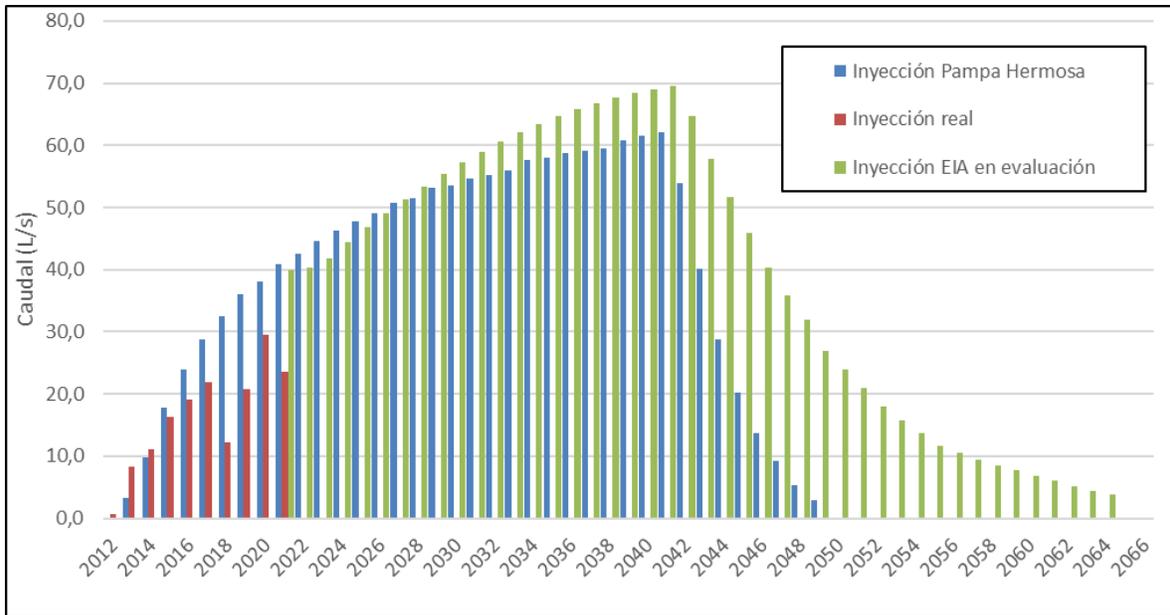
Fuente: Hidroestudios, 2022

3. SISTEMA DE INYECCIÓN Y REQUERIMIENTOS DE LA REGLA DE OPERACIÓN

Los antecedentes desarrollados en el capítulo anterior dan cuenta de la relación directa que hay entre los requerimientos de la ROA y la capacidad del sistema para responder a dichos requerimientos, En línea con este punto, se presenta en este apartado un análisis de los requerimientos actuales y proyectados para la aplicación de la ROA y cómo responde el sistema de inyección.

Para dar contexto a este análisis, es pertinente mencionar que en el proyecto Pampa Hermosa (RCA 890/2010) se realizó una proyección del caudal requerido para la operación de la medida de mitigación original, tal como se presenta en la Figura 3-1. Si bien durante la operación del proyecto se han realizado mantenciones a los pozos, estos trabajos no han sido suficiente para dar cumplimiento a lo estipulado, dado que la capacidad real de inyección de los pozos es menor a la estimada en la RCA. Esta situación se refleja también en la Figura 3-1, donde se muestra el caudal de inyección real. Por tal motivo, el proyecto “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara” actualmente en proceso de evaluación ambiental, considera para la operación de la MM la construcción de 24 pozos, los que se sumarán a los 13 existentes, conformando así una red de 37 pozos que podrán ser utilizados para la inyección de agua durante la operación de la medida de mitigación

Figura 3-1. Caudal requerido para operación medida de mitigación Pampa Hermosa



Fuente: Hidroestudios, 2022

3.1. Mantenimiento y mejoras realizadas al sistema de inyección

La operatividad de la medida de mitigación, tal como se ha reiterado, depende en gran parte con la disponibilidad de agua y la infraestructura instalada para ejecutar la inyección en los puquios. En este sentido, y de forma paralela a la construcción de pozos, se han realizado mantenimientos y rehabilitaciones en los pozos existentes con el objetivo de mantener o aumentar la capacidad del sistema. Se debe tener presente que de manera natural los pozos pierden capacidad de inyección por las características salinas del medio, y la capacidad de inyección es variable dependiendo del sector donde se inyecte.

En efecto, a comienzos del año 2012 se extrajeron las tuberías para filmar el estado de los pozos a modo de mantenimiento preventivo, confirmando el buen estado de los pozos. Posteriormente, entre agosto y septiembre del año 2017 se realizó una video inspección de los pozos de inyección construidos hasta esa fecha, con lo que se pudo obtener un registro del perímetro de las tuberías de habilitación y de la verticalidad de éstas. Con base en dicho levantamiento, se generó un diagnóstico de la situación de los pozos para luego realizar los trabajos de rehabilitación y mejoras en la infraestructura de inyección entre los años 2018 y 2019, -según lo comprometido en la acción N°4 del PdC - logrando aumentar la capacidad de inyección de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2-2.

En este sentido, transcurridos 3 años desde la ejecución de dichos trabajos de mejora en el contexto del PdC, y considerando el aumento en los requerimientos de inyección es que se requieren nuevos trabajos de mejora operacional para contar con capacidad de inyección, tal como se señala más adelante en este documento.

3.2. Requerimientos para aplicación Regla de Operación y comportamiento esperado

La ROA opera con frecuencia semanal y es aplicable a cada puquio, separando la inyección en sectores: N1-N2, N3 y N4. Para la operación considera la información de conductividad eléctrica y nivel medida diariamente en los puquios. Tal como fue señalado previamente, la regla de operación vigente define umbrales de niveles para los puquios N2, N3 y N4, y umbrales de conductividad eléctrica para los puquios N1, N3 y N4. La Tabla 2-1 muestra estos valores.

Tabla 3-1: Umbrales para niveles y conductividad eléctrica.

Puquio	Umbral Nivel	Umbral Inferior CE	Umbral Superior CE
	msnm	μS/cm	μS/cm
N1	-	30.413	57.819
N2	743,40	-	-
N3	744,58	34.500	140.600
N4	744,37	118.653	197.306

Fuente: Hidroestudios, 2022.

La modificación de los caudales de inyección se define por los siguientes criterios:

- En caso de que la CE se encuentre bajo su umbral mínimo, se debe bajar el caudal de inyección del puquio respectivo para la semana siguiente.
- En caso de que la CE se encuentre sobre su umbral máximo, se debe subir el caudal de inyección.
- En caso de que el nivel se encuentre bajo su umbral mínimo, se debe subir el caudal de inyección.
- El cumplimiento de la regla de la CE tiene prioridad sobre la regla de niveles.
- En el caso de cumplir con los umbrales tanto de niveles como de CE, se debe mantener el caudal de inyección actual.
- El aumento o disminución de caudales de inyección debe tener una tasa de cambio máxima de 0,5 L/s por semana, y una tasa mínima de 0,1 L/s por semana.

Como se plantea, la decisión sobre el valor del caudal a inyectar ya sea por aumentos o disminución depende del seguimiento diario de la variable CE, en complemento con la información del nivel de los puquios y respecto a los umbrales establecidos. Es decir, los umbrales en la ROA están establecidos para activar/desactivar acciones, toda vez que no permite generar aumentos o descensos en la inyección mientras los niveles y CE estén dentro de los rangos.

Con base en los análisis mostrados, los registros de CE recolectados durante el último periodo presentan una tendencia al alza y están ubicados en la Zona 2 definido para la ROA. Por su parte, los registros del nivel indican que los promedios semanales están por debajo del umbral lo que implicó realizar aumentos en la inyección semanal, generando una tendencia a la estabilización en los niveles de los puquios N1, N2, y N4, y una tendencia al ascenso en el puquio N3.

Con respecto a la capacidad actual de inyección en el Sistema puquio N4, y de acuerdo con lo reportado en los Informes Ejecutivos Mensuales (IEM) N ° 31, 32 y 33 (periodos 27 de septiembre al 26 de diciembre de 2021), la ROA requería incrementar el caudal de inyección para dicho periodo, sin embargo, y tal como se señaló en los reportes mencionados, para el puquio N4 se alcanzó la máxima capacidad de inyección, por lo que los caudales de inyección se mantuvieron. Lo anterior evidencia la falta de capacidad de inyección actual para cumplir los requerimientos de la ROA.

Tomando esto en consideración, se realizó un análisis de proyección de la operación de la ROA hasta abril del año 2023, mediante un análisis del comportamiento esperado en los puquios, utilizando un modelo predictivo, que corresponde a un modelo estocástico.

3.2.1. Descripción del modelo de predicción

El modelo estocástico desarrollado corresponde específicamente a un modelo de series de tiempo, de escala mensual, con variables explicativas externas. Estos modelos se componen de una variable dependiente o variable explicada, una serie de variables explicativas y finalmente una componente aleatoria residual. La variable dependiente es explicada por una componente determinística, dada por las variables explicativas; y una componente probabilística, dada por el residuo no explicado por la modelación.

En el caso del modelo de niveles, la variable explicada es la variación mensual de nivel. Las variables explicativas son: el caudal de inyección en el puquio, el caudal de inyección en el resto de los puquios, la evaporación, el nivel del acuífero y por último el nivel y variaciones de nivel anteriores del mismo puquio.

En el modelo de conductividad eléctrica, la variable explicada es la variación mensual de CE. Las variables explicativas son: el caudal de inyección en el puquio, la variación del caudal de inyección del puquio, el caudal de inyección total, la variación del caudal de inyección total, la evaporación, el nivel y variación de nivel del puquio y por último la CE y variación mensual de CE anterior.

El modelo fue construido y calibrado con datos de terreno hasta mayo de 2019. Posteriormente, se evaluó el desempeño del modelo con datos del periodo junio 2019 – octubre 2021, los que validaron el buen desempeño para fines de proyección y simulación.

El detalle técnico de la construcción y funcionamiento del modelo se puede consultar en el Informe “*Modelación estocástica de nivel de agua superficial y conductividad eléctrica en puquios de Llamara*” de junio de 2021 en su última versión, correspondiente al Anexo 7-3 del EIA “*Modificación Parcial del Sistema de Reinyección en los Puquios de Llamara*”.

3.2.2. Simulación y caudales de inyección requeridos

De acuerdo con las simulaciones realizadas con el modelo anteriormente descrito, en las que se evaluó el comportamiento de la CE y nivel de cada puquio, se determinaron los caudales de inyección requeridos para cumplir con la operación de la ROA, proyectado a abril de 2023. La fecha límite de la simulación tiene relación con buscar la condición más desfavorable teniendo como horizonte de tiempo el año 2023, en ese sentido, para el periodo invernal del 2023 se estima una condición con un caudal requerido de inyección menor, acorde al comportamiento del sistema.

En la Tabla 3-2 se muestra el caudal requerido de inyección para cada puquio, considerando la proyección realizada con el modelo para las variables CE y nivel. En la tabla se ha identificado con distinto color si el requerimiento es aumentar el caudal, disminuir o bien mantener, y se ha marcado con rojo en aquellos casos donde se supera la capacidad instalada.

A partir de las proyecciones y la situación actual de la infraestructura de inyección, se observan situaciones que requieren atención en el marco de la operación de la medida de mitigación:

- En el caso del puquio N4 existe una limitación en cuanto a la capacidad de inyección lo que no permite realizar aumentos de inyección de acuerdo con lo que indica la regla de operación. En efecto, y de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 2-2, el sistema de inyección para el puquio N4 tiene una capacidad máxima de 14,8 L/s, -según la prueba de inyección del año 2021- por lo tanto, para todo el periodo evaluado no se estaría cumpliendo con los requerimientos de la ROA y los pozos de inyección están operando a máxima capacidad
- En el caso de los puquios N1-N2 se observa una baja capacidad de inyección (3 de 4 pozos con una capacidad menor a 2 L/s) lo que podría generar efectos en el nivel en marzo y que se podría prolongar hasta mayo-junio del presente año.
- En el puquio N3 se observa que, si bien el caudal máximo requerido es factible de cumplir con la capacidad actual, la proyección indica que hacia el mes de mayo de 2022 se debe aumentar a un caudal aproximado de 22,8 L/s, cercano al caudal disponible por capacidad, y, dependiendo de las pruebas de inyección que se deben realizar durante marzo y abril de 2022, es posible que la capacidad se encuentre en una situación límite para cumplir con los requerimientos de la ROA en los meses de marzo, abril y mayo.

Los resultados presentados muestran que se ha alcanzado la máxima capacidad de inyección en el puquio N4 a pesar de que la ROA indica aumentar inyección no es posible aumentar el caudal. Cabe señalar que esta condición no corresponde a un incumplimiento de la ROA, ya que, ésta considera la situación en la cual se alcanza el caudal máximo de inyección por puquio. La diferencia entre el caudal máximo y el que indica la ROA se ha generado desde la última semana del mes de octubre de 2021, situación que se mantendría durante todo el periodo proyectado, es decir, hasta abril de 2023. Por su parte, para el sistema N1-N2, no se cumpliría con la ROA entre los meses de marzo a mayo de 2022 con un requerimiento máximo en abril 2022.

Finalmente, cabe indicar que entre marzo y abril del presente año se realizarán las pruebas de inyección en los pozos asociados a los 4 sistemas puquios, información que permitirá actualizar lo presentado en la Tabla 2-2 y Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Caudal requerido para aplicación ROA a abril de 2023 (L/s)

Fecha	Puquios N1-N2	Puquio N3	Puquio N4
nov 2021	2,2	16,3	17,3
dic 2021	4,4	18,6	19,5
ene 2022	6,6	20,8	21,7
feb 2022	8,6	22,8	23,7
mar 2022	10,8	22,8	23,7
abr 2022	13,0	22,8	23,7
may 2022	10,8	22,8	23,7
jun 2022	8,6	20,6	23,7
jul 2022	6,4	18,4	23,7
ago 2022	4,2	16,2	21,5
sept 2022	2,0	14,1	19,4
oct 2022	0,0	11,8	17,1
nov 2022	0,0	11,8	17,1
dic 2022	0,0	14,1	17,1
ene 2023	2,2	16,3	17,1
feb 2023	4,2	18,3	19,1
mar 2023	6,4	20,5	19,1
abr 2023	8,6	20,5	19,1

	Aumento de caudal
	Mantenión de caudal
	Disminución de caudal
	Sobrepasa la capacidad

Fuente: Hidroestudios, 2022.

A continuación, se presenta una propuesta de trabajos que permitirán aumentar la capacidad del sistema y cumplir con los requerimientos de la ROA para mantener la operatividad durante el periodo 2022-2023.

4. PROPUESTA MEJORA OPERACIONAL CAPACIDAD DE INYECCIÓN

Actualmente, se encuentra en evaluación ambiental el EIA del proyecto “Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara”, asociado al PdC (Acción 29), que considera la construcción escalonada y la operación de 24 nuevos pozos de inyección sumados a los 13 existentes, lo que permitirá cumplir con los requerimientos de inyección para la operación de la ROA, acorde a lo estimado, una vez que se cuente con la autorización ambiental. Es importante señalar que este aumento el número de pozos de inyección se debe a que la capacidad de cada pozo fue menor a la estimada en el proyecto Pampa Hermosa, por lo que se requiere más pozos para inyectar el mismo caudal.

Considerando la situación actual de cumplimiento de la ROA, el estatus del proceso de evaluación ambiental del EIA, y los requerimientos de inyección que se proyectan durante la vigencia del PdC, se presenta en este apartado una propuesta de trabajos y el diseño conceptual para la implementación de nuevos pozos de inyección. La habilitación de los pozos que considera esta propuesta se estima necesaria, sin perjuicio a las capacidades que se puedan recuperar mediante las mantenciones de los pozos existentes a realizar durante el invierno de 2022, dado que como se ha indicado la ROA requiere mayor caudal de inyección año a año.

Basados en la capacidad actual de inyección indicada en la Tabla 2-2 y la inyección futura requerida que se indica en la Tabla 3-2, se ha definido la necesidad de implementar 3 nuevos pozos de inyección, los cuales se muestran en la Figura 4-1. De este total de 3 pozos, uno (1) se ubicará al suroeste del sistema puquio N1-N2, y dos (2) en el noroeste del puquio N4.

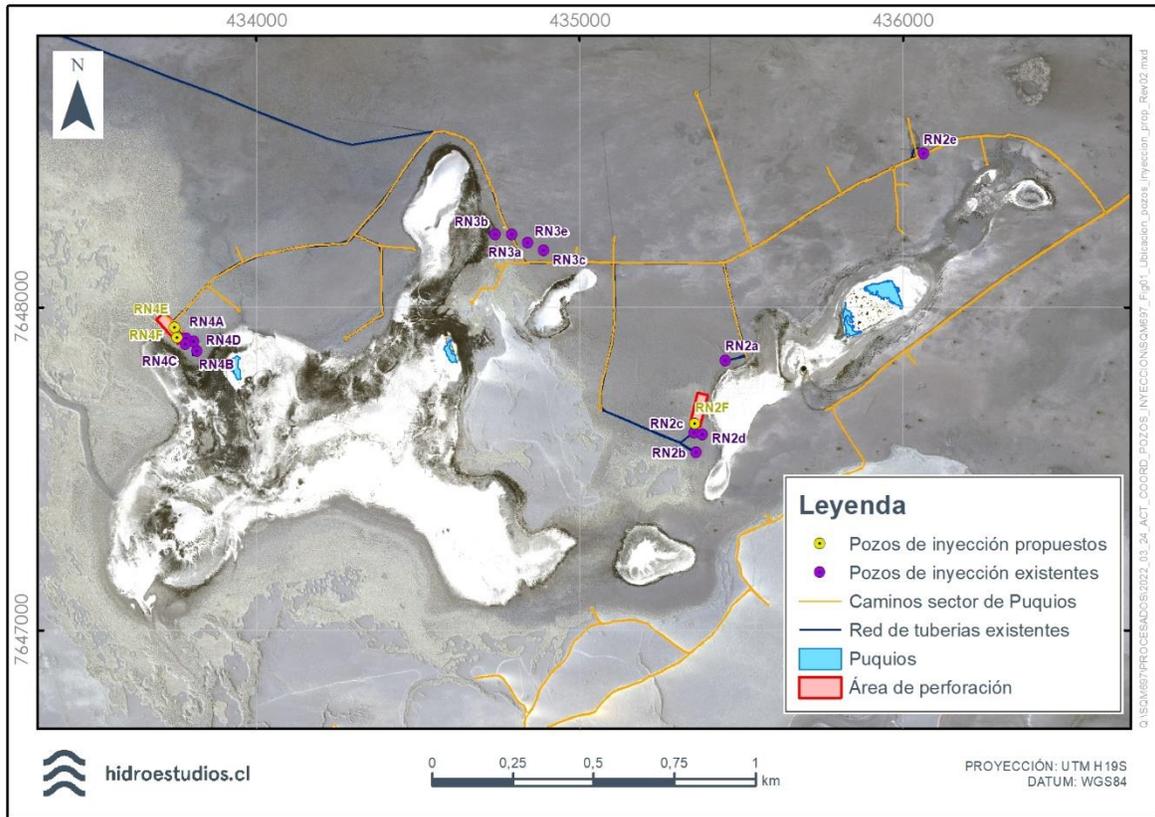
Se presenta en esta sección el diseño de estos nuevos pozos de inyección junto con la justificación de su ubicación, definidos en función de los resultados obtenidos de la operación histórica de la medida de mitigación y de la información generada a partir de los modelos hidrogeológicos realizados en el Salar de Llamara.

Cabe destacar que las ubicaciones definidas para estos 3 nuevos pozos de inyección cumplen con los siguientes criterios comprometidos en el EIA que se encuentra actualmente en evaluación:

- Criterios de resguardo ambiental:
 - Ubicar los primeros pozos en donde se cuenta con más información hidrogeológica, en zona de pozos ya construidos,
 - No se instalarán plataformas de perforación o pozos en superficies con presencia de vegetación o especies de flora y fauna protegidas,
 - No se instalarán plataformas de perforación o pozos en sectores de hallazgos arqueológicos,
 - La ubicación de mallas de protección será aquella que considere el menor efecto sobre el paisaje.
- Criterios técnicos:
 - Minimizar el número de pozos de inyección manteniendo la eficacia y eficiencia de la medida,
 - Cada vez que se define un nuevo punto de perforación se considerará y analizará toda la información hidrogeológica disponible a la fecha como: estratigrafía, calidad química, respuesta del nivel frente a la inyección, entre otras,
 - Se privilegiará la inyección en la subunidad profunda (acuífero regional),
 - Se privilegiará la construcción de pozos de inyección en sectores donde se tiene evidencia empírica que es factible inyectar un caudal mayor y que este es efectivo en mantener el nivel en los puquios,
 - En caso de que se requiera perforar pozos en sectores con menor información empírica, se perforará buscando capas que hayan demostrado buena capacidad de transmitir el agua.

Las coordenadas definidas para los pozos de inyección propuestos se presentan en la Tabla 4-1, mientras que su ubicación se indica en la Figura 4-1, en donde se señalan las ubicaciones puntuales para los 3 pozos a perforar (RN2F, RN4E y RN4F), junto con un área de perforación propuesta para cada puquio. En donde, el área de perforación consiste en una zona dentro de la cual, en caso de construir un pozo de inyección, se obtendrían similares resultados a los esperados para los pozos de inyección definidos, por lo que en caso de ser necesario mover la ubicación original de alguno de estos pozos propuestos, se cuenta con un área de resguardo.

Figura 4-1: Ubicación pozos de inyección propuestos



Fuente: Hidroestudios, 2022

Tabla 4-1: Coordenadas de ubicación pozos de inyección propuestos

Pozo	Coordenadas UTM (WGS 84)	
	Este (m)	Norte (m)
RN4E	433.748	7.647.937
RN4F	433.756	7.647.906
RN2F	435.358	7.647.640

Fuente: Hidroestudios, 2022

A continuación, se expone, el fundamento de la ubicación propuesta y el detalle del perfil de habilitación de cada pozo. Cabe señalar que, de acuerdo con el material encontrado durante la etapa de perforación, el perfil de habitación puede ser modificado.

4.1. Sistema Puquio N4

4.1.1. Perforación de pozos nuevos

La capacidad actual de inyección en el sistema puquio N4 es de 14,8 a 15,3 L/s (ver Tabla 2-2), mientras que la inyección requerida estimada a febrero de 2022 es de 23,7 L/s (ver Tabla 3-2), por lo cual se requiere implementar infraestructura para inyectar 9 L/s adicionales. De acuerdo con la información de la inyección histórica se propone perforar 2 nuevos pozos de inyección habilitados en la subunidad acuífera inferior.

El diseño propuesto de estos dos nuevos pozos de inyección, denominados RN4E y RN4F, se presenta en la Tabla 4-2 y en la Figura 4-2.

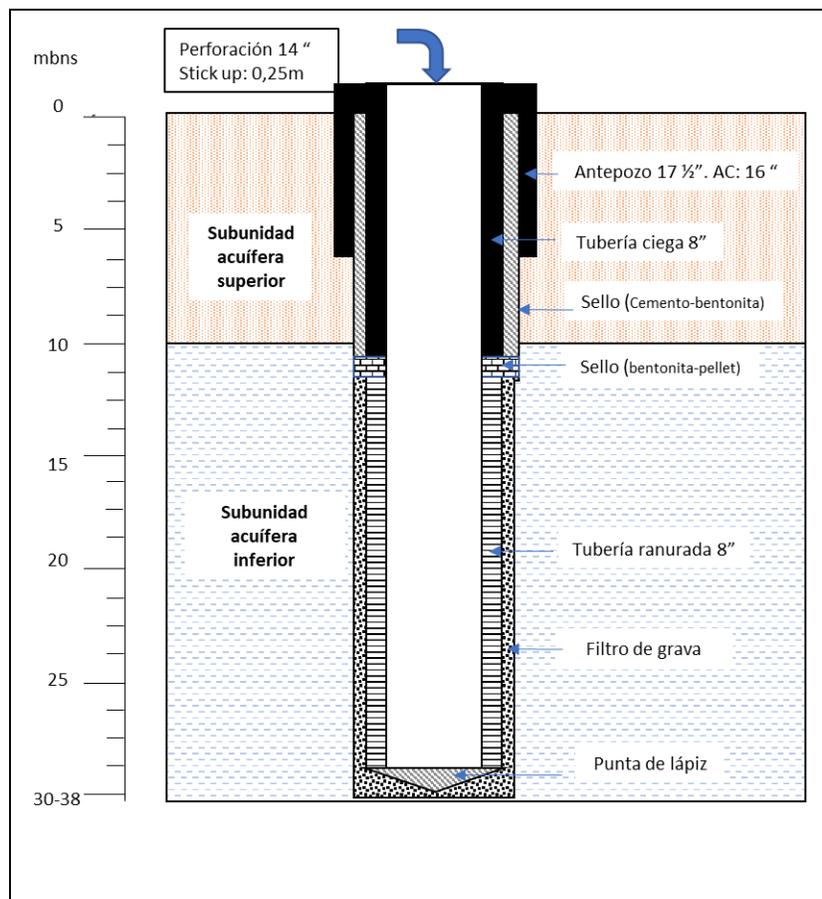
Tabla 4-2: Pozos de inyección propuestos en puquio N4

Pozo	Profundidad (m.b.n.s.)*		Habilitación PVC 8" (m.b.n.s.)		
	Perforación	Habilitación	Ciego	Ranurado	Stick up
RN4E	36	36	0-12	12-36	0,25
RN4F	36	36	0-12	12-36	0,25

*m.b.n.s: metros bajo el nivel del suelo

Fuente: Hidroestudios, 2022

Figura 4-2: Diseño pozos de inyección propuestos en puquio N4



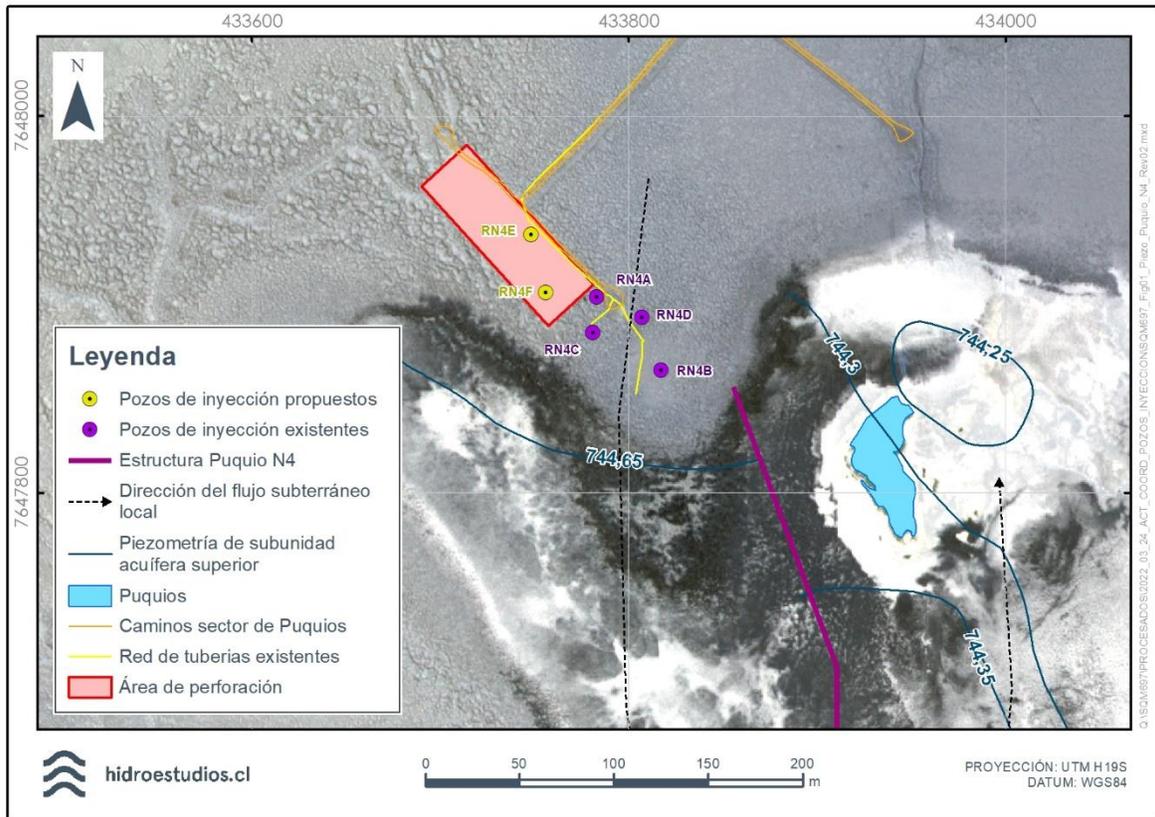
Fuente: Hidroestudios, 2022

4.1.2. Justificación del lugar

Históricamente se ha inyectado con buenos resultados en los pozos de inyección ubicados al noroeste del puquio N4, por lo que se propone la ubicación de los nuevos pozos en las inmediaciones de los pozos ya construidos.

La ubicación propuesta para los pozos RN4E y RN4F se muestra en la Figura 4-3, en donde además se indica un área de perforación, las coordenadas de ubicación de estos pozos fueron indicadas en la Tabla 4-1. Cabe destacar que el sector cuenta con caminos habilitados y tuberías operativas.

Figura 4-3: Ubicación pozos de inyección propuestos en Puquio N4



Fuente: Hidroestudios, 2022

4.2. Sistema Puquio N1-N2

4.2.1. Perforación de pozos nuevos

La capacidad actual de inyección es de 10,5 a 10,8 L/s (ver Tabla 2-2), mientras que la inyección requerida estimada a abril de 2022 es de 13,0 L/s (ver Tabla 3-2), por lo cual se requiere implementar infraestructura para inyectar 3 L/s. De acuerdo con la información de la inyección histórica se propone perforar 1 nuevo pozo de inyección habilitado en la subunidad acuífera inferior.

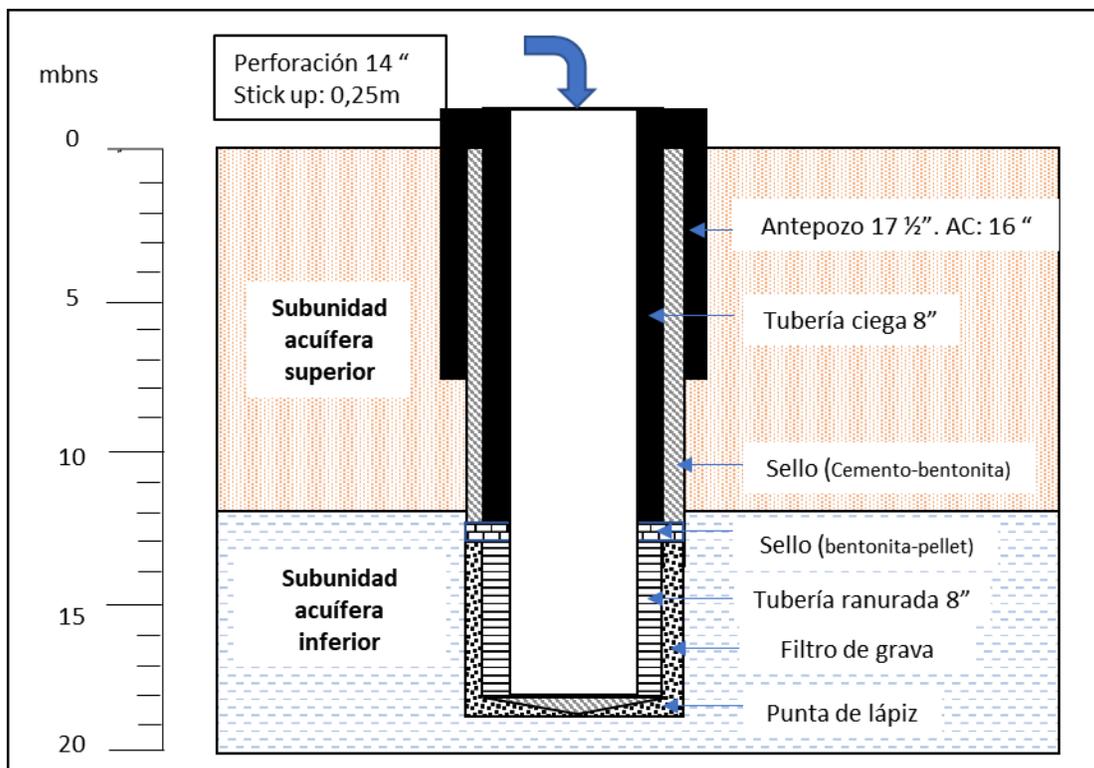
El diseño de este nuevo pozo de inyección, denominados RN2F, se presenta en la Tabla 4-3 y en la Figura 4-4. Cabe indicar que la propuesta considera los antecedentes de cómo ha operado la inyección en este sector, donde se observa una mejor respuesta a la inyección, en cuanto a nivel y calidad, del sistema puquio N1-N2 en aquellos pozos habilitados en la subunidad acuífera inferior.

Tabla 4-3: Pozos de inyección propuestos en puquio N2

Pozo	Profundidad (m.b.n.s.)		Habilitación PVC 8" (m.b.n.s.)		
	Perforación	Habilitación	Ciego	Ranurado	Stick up
RN2F	18	18	0-13	13-18	0,25

Fuente: Hidroestudios, 2022

Figura 4-4: Diseño pozos de inyección propuestos en puquio N2

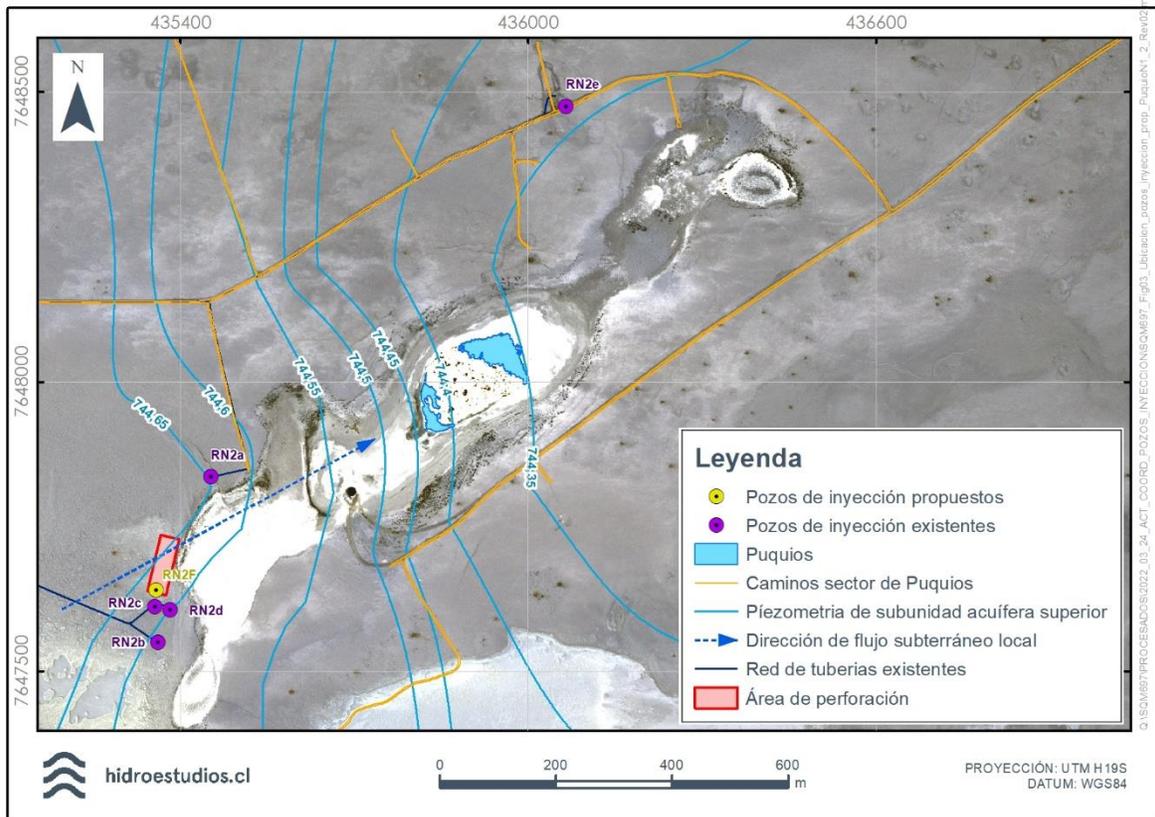


Fuente: Hidroestudios, 2022

4.2.2. Justificación de la ubicación

Se muestra en la Figura 4-5 la ubicación propuesta para el pozo de inyección RN2F junto con el área de perforación, mientras que en la Tabla 4-1 se indican sus coordenadas. De acuerdo con la información piezométrica de la subunidad acuífera superior, el flujo se mueve desde suroeste a noreste por lo que se ha definido la ubicación para el nuevo pozo de inyección al sureste del sistema puquio N1-N2. Adicionalmente el sector cuenta con caminos habilitados y tuberías operativas.

Figura 4-5: Ubicación pozos de inyección propuestos en sistema puquios N1-N2



Fuente: Hidroestudios, 2022

4.3. Planificación de los trabajos

Se estima un total de 13 semanas, para la construcción de los 3 nuevos pozos de inyección requeridos para la operación de la MM, siendo necesario comenzar la perforación con los pozos que inyectan agua en el sector del sistema puquio N4, dado que actualmente es necesario aumentar la inyección. Luego se debe realizar la perforación del pozo de inyección del sistema puquio N1-N2. Ante este escenario se indica que la construcción de estos pozos se debe comenzar lo antes posible. Se presenta en la Tabla 4-4 la planificación de actividades involucradas en la construcción de estos pozos.

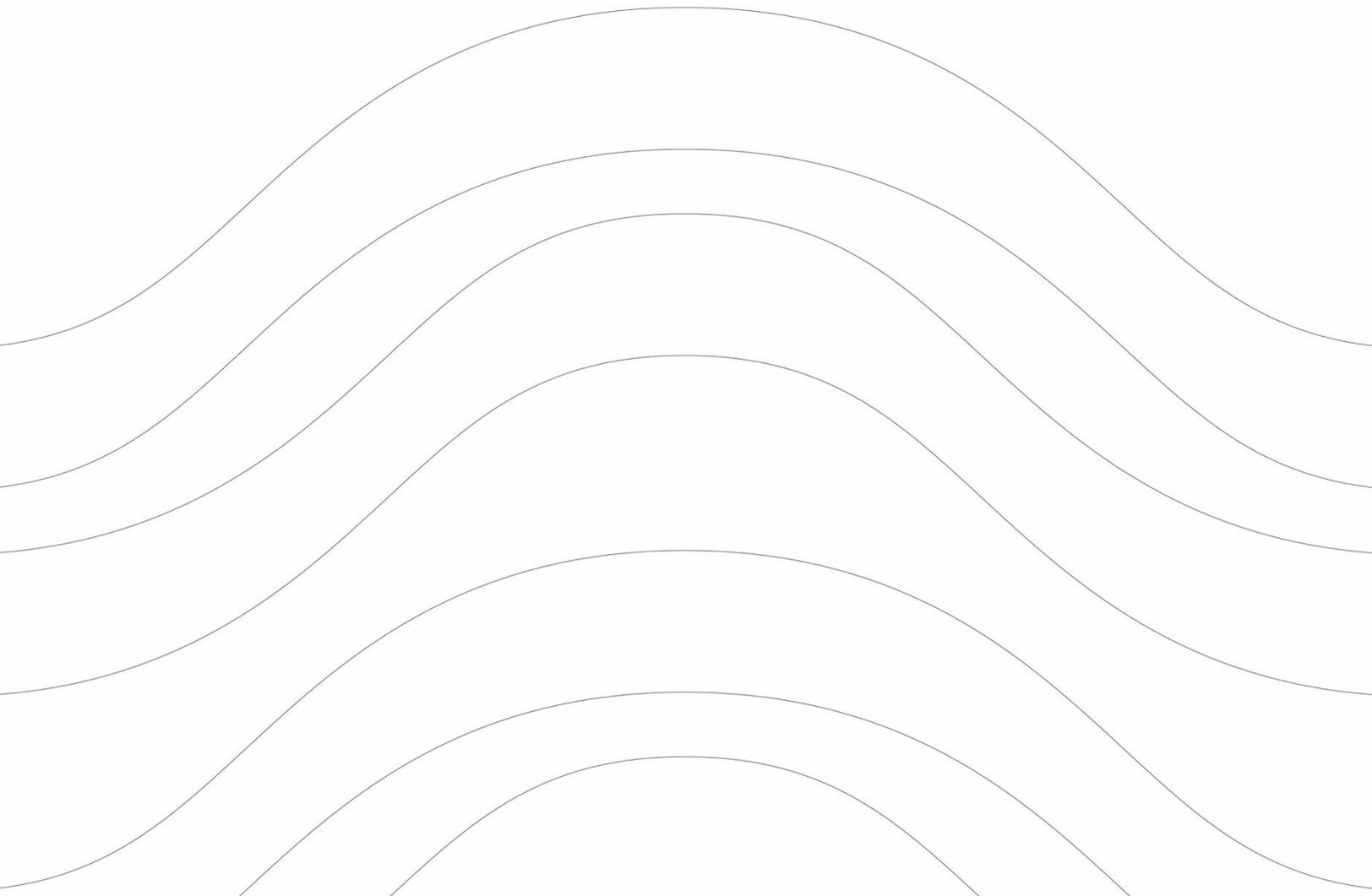
Tabla 4-4: Cronograma de construcción de 3 pozos de inyección

Actividad/ semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Plataformas y accesos	X	X													
Perforación			RN4E			RN4F			RN2F						
Habilitación					RN4E			RN4F			RN2F				
Limpieza y desarrollo															
Gestión muestras y laboratorio															
Informe Pozo								RN4E			RN4F		RN2F		

Fuente: Hidroestudios, 2022



hidroestudios.cl



Evaluación Regla de Operación Actualizada

Apoyo al Programa de Cumplimiento Proyecto Pampa Hermosa SQM ROL-D-027-2016

Preparado para SQM S.A.
HIDRO.SQM697.INF002.REV0
Junio de 2021

hidroestudios



Rev.	Id	Ejecutor	Revisor	Aprueba	Descripción
A	Nombre	J. P. Montt	A. Pucheu	A. Pucheu	Revisión interna
	Fecha	30.04.2021	30.04.2021	30.04.2021	
B	Nombre	J. P. Montt	A. Pucheu	C. Ortiz	Revisión cliente
	Fecha	30.04.2021	30.04.2021	30.04.2021	
C	Nombre	J. P. Montt	A. Pucheu	C. Ortiz	Revisión cliente
	Fecha	31.05.2021	31.05.2021	31.05.2021	
0	Nombre	G. Sepúlveda	A. Pucheu	C. Ortiz	Aprobado cliente
	Fecha	02.06.2021	02.06.2021	02.06.2021	

Índice de Contenido

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. OBJETIVOS.....	2
4. MATERIALES Y MÉTODOS	2
4.1. Descripción del proyecto y área de estudio	2
4.2. Ubicación de puntos de monitoreo	6
4.3. Metodología de muestreo	7
4.3.1. Nivel de espejo de agua en regletas.....	7
4.3.2. Conductividad eléctrica	8
4.4. Materiales y equipos utilizados.....	8
5. RESULTADOS.....	9
5.1. Conductividad eléctrica	10
5.2. Nivel de los puquios.....	12
5.3. Caudal de inyección.....	13
6. DISCUSIONES	14
6.1. Sistema puquio N1-N2.....	14
6.2. Sistema puquio N3	16
6.3. Sistema puquio N4	18
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
8. REFERENCIAS	20

Listado de Anexos

Anexo 1: Responsables y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control y elaboración del informe de seguimiento ambiental.

Anexo 2: Regla de operación vigente (Anexo 7.2 PDCR3)

Listado Tablas

Tabla 4-1: Puntos de monitoreo para PAT Sistema Puquios Salar de Llamara.....	6
Tabla 4-2: Equipos utilizados en la medición	8

Listado de Figuras

Figura 4-1: Acuífero Salar de Llamara y puntos de observación	3
Figura 4-2: Puquios del Salar de Llamara.....	4
Figura 4-3: Medida de Mitigación, Regla de Operación Actualizada. Salar de Llamara.....	5
Figura 4-4: Medida de Mitigación, Regla de Operación Actualizada. Puquios de Llamara	7
Figura 5-1: Diagrama de flujo ROA puquio N3.....	9
Figura 5-2: Comportamiento histórico de la CE puquio N1	10
Figura 5-3: Comportamiento histórico de la CE puquio N2.....	10
Figura 5-4: Comportamiento histórico de la CE puquio N3.....	11
Figura 5-5. Comportamiento histórico de la CE puquio N4.....	11
Figura 5-6. Nivel histórico puquio N2.....	12
Figura 5-7. Nivel histórico puquio N3.....	12
Figura 5-8. Nivel histórico puquio N4.....	13
Figura 5-9. Caudal de inyección históricos de la medida de mitigación	13
Figura 6-1. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N1-N2.....	15
Figura 6-2. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N3.	17
Figura 6-3. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N4.	19

1. RESUMEN

El presente informe expone el análisis realizado a las variables conductividad eléctrica y nivel de agua superficial de los puquios, en el marco de reportabilidad del Programa de Cumplimiento Refundido N°3 (en adelante PDCR3), acción número 7, con el objetivo de realizar la evaluación anual de aplicación de la Regla de Operación Actualizada (en adelante ROA), para el periodo 26 de abril de 2020 a 26 de abril de 2021. Junto a lo anterior, se presenta un análisis del comportamiento de los puquios, en términos de conductividad y nivel, respecto al caudal de inyección.

Como resultado del análisis de las variables señaladas, se concluye que la ROA ha funcionado de manera correcta, siendo exitosa en corregir y mantener los valores de conductividad eléctrica dentro de sus rangos establecidos, priorizando la calidad química de los puquios, y recuperando paulatinamente el comportamiento estacional tanto para nivel como para conductividad eléctrica. Se desprende también que durante el último año se ha observado que ha podido mantenerse la CE dentro de los rangos por un mayor periodo de tiempo, aun cuando existió un desajuste provocado por la MUT en los niveles superficiales de los puquios.

2. INTRODUCCIÓN

En cumplimiento de lo indicado en el cargo 1 de la Res. Ex. N°1/ROL D-027-2016, y lo solicitado en la Res. Ex. N°22/ROL D-027-2016 observación N°24, SQM presentó en el Programa de Cumplimiento Refundido N°3 (PDCR3) el documento "Anexo 7.2 Detalle Regla Operación Actualizada", el cual indica que la Regla de Operación Actualizada (ROA) estará operativa durante toda la vigencia del Plan de Cumplimiento (PdC), y su objetivo es proteger la biota acuática presente en los puquios, para lo cual se prioriza mantener la calidad química por sobre el nivel de los puquios, conforme a lo requerido por el SMA. La respuesta del sistema a la ROA se mide principalmente a través del monitoreo diario de la conductividad eléctrica como variable representativa de la calidad química de los cuerpos de agua y de los niveles de cada puquio, en sus respectivas regletas (N1, R3N2, R4N3 y R5N4).

En junio de 2019, SQM, en cumplimiento con la Acción 7.6, presentó el informe de los resultados de la implementación de la regla de operación durante el periodo de marcha blanca (7.6 b Informe de Evaluación Regla Operacional Actualizada - Periodo Marcha Blanca), la cual contempló el periodo entre el 26 de marzo (fecha de inicio de la operación de la medida de mitigación de acuerdo con el PdC) y el 25 de mayo (dos meses luego de iniciada la operación de la medida de mitigación). En este informe de evaluación se sugiere realizar evaluaciones anuales de la regla de operación actualizada que permita chequear su comportamiento ante variaciones estacionales.

Cabe destacar, que dado que las Medidas Urgentes y Transitorias (MUT, Res. Ex N° 1485/2017), estuvieron activas durante diciembre 2017 a abril y octubre 2018, para los puquios N3-N4 y puquios N1-N2 respectivamente, la inyección se detuvo completamente en el sector de los puquios, generando aumentos en la conductividad eléctrica y descensos significativos en los niveles. Bajo este escenario, es que comienza a operar la regla operacional actualizada, con un sistema en desequilibrio producto de la MUT y en proceso de recuperación que se mantiene a la fecha.

En el presente informe se evalúa la respuesta de las variables conductividad eléctrica y nivel superficial del puquio ante la operación de la ROA, primero para todo el periodo de monitoreo a modo de contexto, y luego con foco en el segundo año de funcionamiento la regla de operación actualizada, es decir, desde el 26 de abril de 2020 al 26 de abril de 2021. Adicionalmente, se incluye un análisis del comportamiento de los puquios, en términos de conductividad y nivel, respecto al caudal de inyección.

3. OBJETIVOS

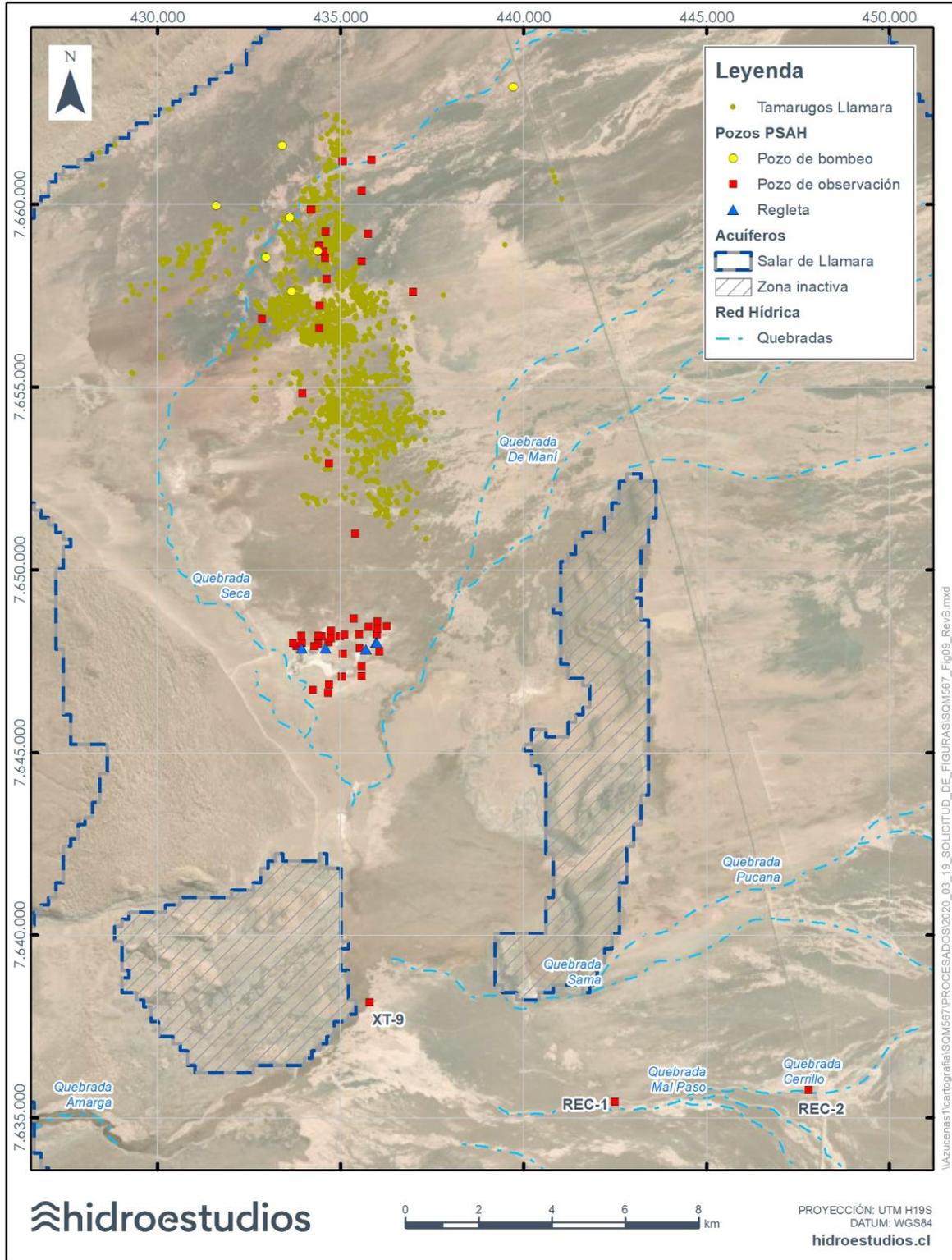
Dar cuenta de la ejecución de la Acción 7 del PDC aprobado por parte de la SMA mediante Res. Ex. N° 24/Rol D-027-2016. En específico, el objetivo es presentar la evaluación anual de la regla de operación actualizada.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del proyecto y área de estudio

El Proyecto Pampa Hermosa se ubica en la Región de Tarapacá, provincia del Tamarugal, comuna de Pozo Almonte, y tiene por objeto aumentar la producción de yodo del área industrial Nueva Victoria en 6.500 ton/año logrando una capacidad de 11.000 ton/año de yodo, y construir una nueva planta de nitrato con una capacidad de 1.200.000 ton/año de nitrato de sodio y/o potasio en el área industrial de Sur Viejo. Para el desarrollo de sus actividades, el Proyecto contempla la extracción de agua industrial en pozos de bombeo de agua subterránea en los acuíferos del Salar de Llamara, Sur Viejo y Pampa del Tamarugal. En la Figura 4-1 se muestra el acuífero del Salar de Llamara, junto a los pozos de bombeo y observación.

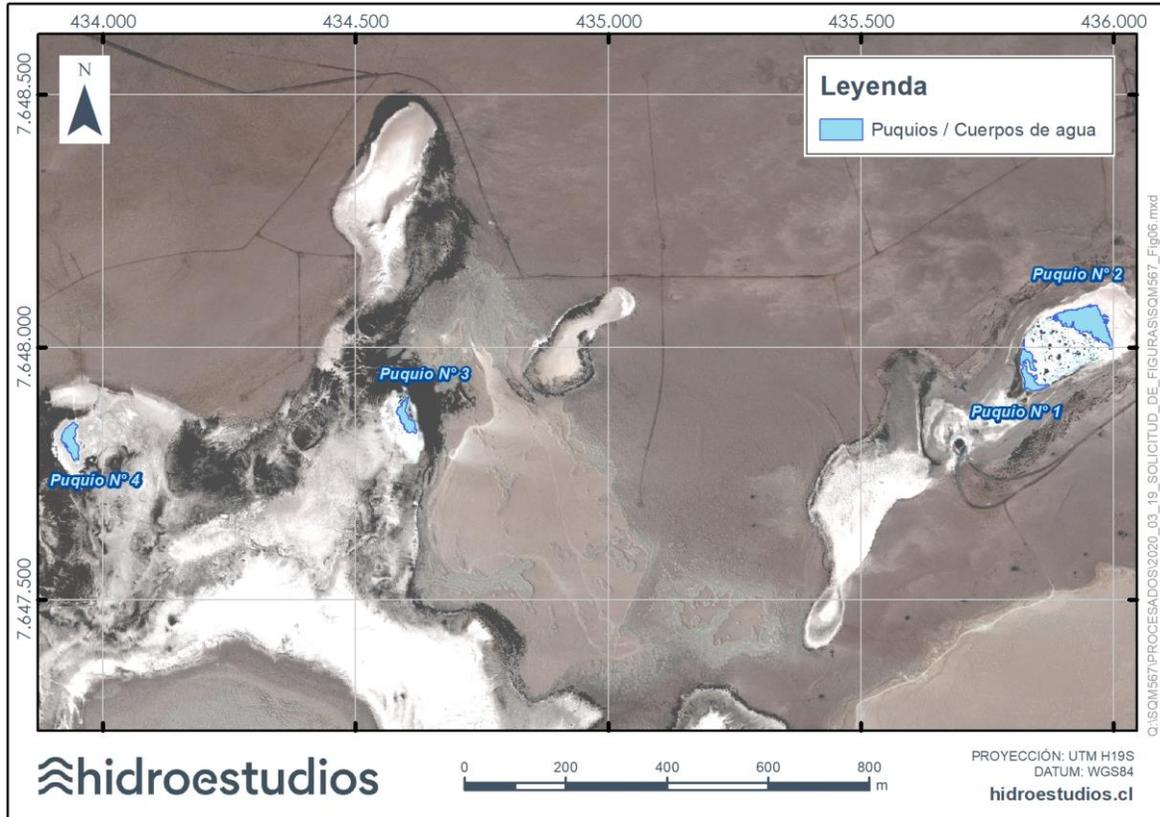
Figura 4-1: Acuífero Salar de Llamara y puntos de observación



Fuente: Hidroestudios 2021.

En el sector central del Salar de Llamara, a un costado del cerro Soledad, se ubican los Puquios, los que corresponden a afloramientos de agua subterránea producto del hundimiento del terreno superficial (Figura 4-2).

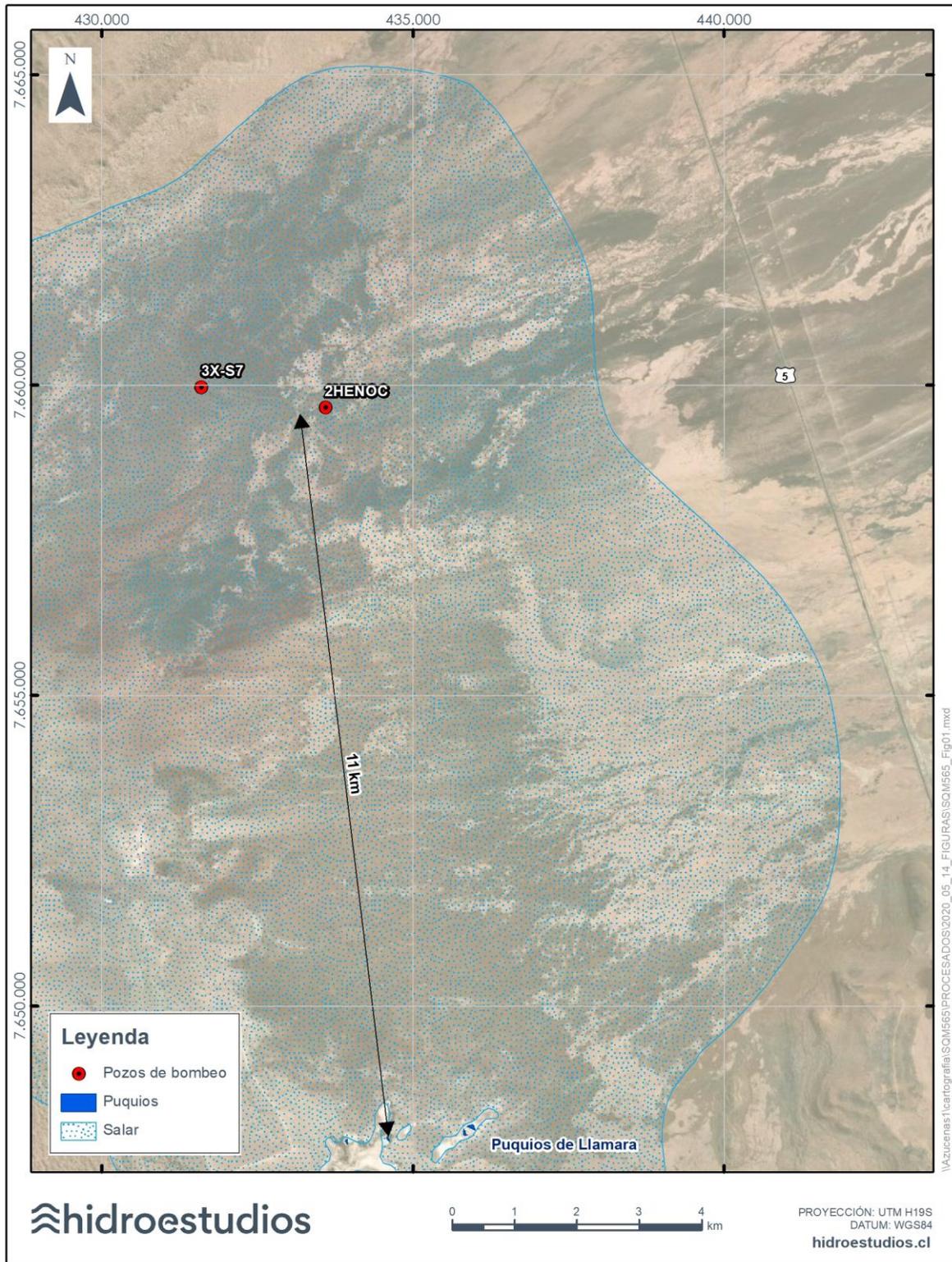
Figura 4-2: Puquios del Salar de Llamara



Fuente: Hidroestudios 2021.

La medida de mitigación opera en el sector del Salar de Llamara (Figura 4-3), mediante 13 pozos de inyección ubicados en el sector de los puquios (Figura 4-4), 11 de los cuales fueron implementados como parte de la medida de mitigación original (RCA N°890/2010) y 2 a través de la Res Ex. N°24/2019 del 26 de febrero de 2019 que aprueba el Programa de Cumplimiento presentado por SQM en el marco del proceso sancionatorio ROL D-027-2016, para lo cual se bombea agua desde el sector norte del Salar de Llamara donde se ubican los pozos de bombeo, específicamente de los pozos 3X-S7 y 2HENOC, en concordancia con lo indicado en la acción 7.3.

Figura 4-3: Medida de Mitigación, Regla de Operación Actualizada. Salar de Llamara



Fuente: Hidroestudios 2021.

4.2. Ubicación de puntos de monitoreo

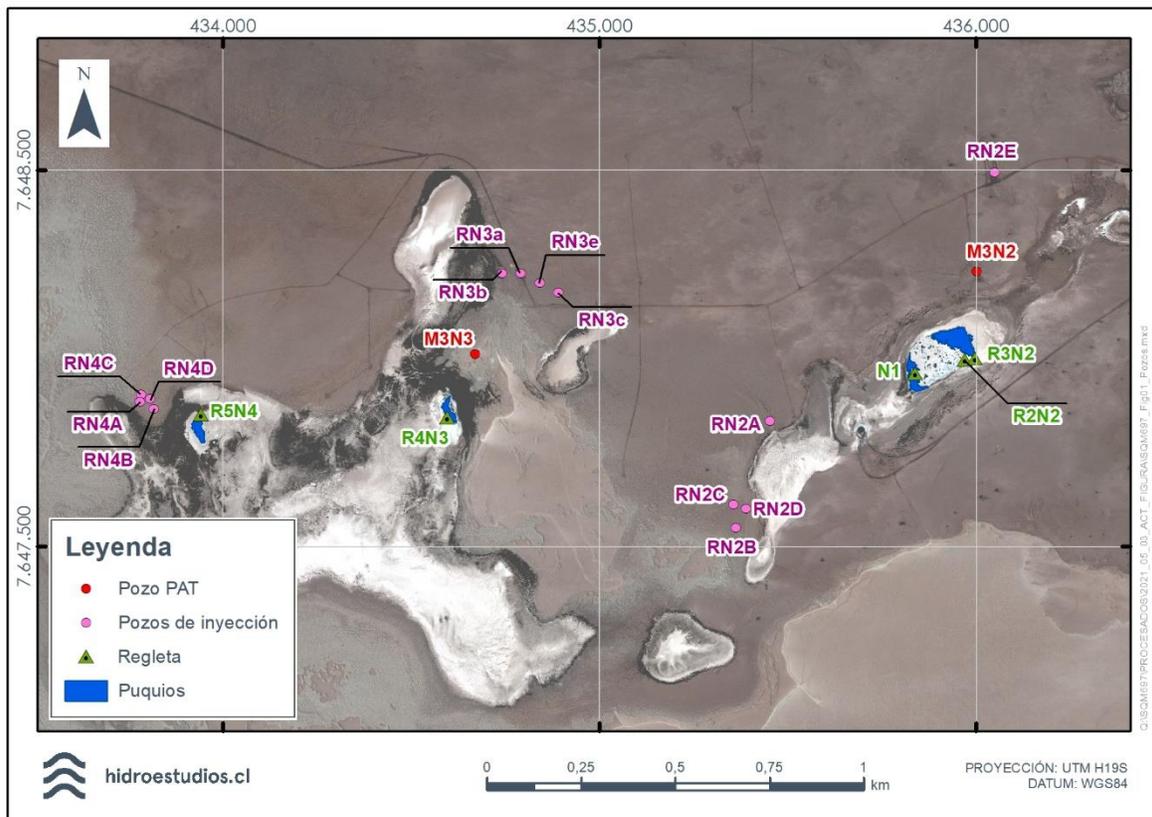
En la Tabla 4-1 se presentan las coordenadas y cota de los puquios en los cuales se mide la conductividad eléctrica y nivel de manera diaria, junto a los pozos de inyección. La Figura 4-1 presenta la ubicación de las regletas de los puquios y los pozos pertenecientes al sistema de inyección.

Tabla 4-1: Puntos de monitoreo para PAT Sistema Puquios Salar de Llamara.

N°	Puntos	Coordenadas UTM (WGS 84 H19S)		Variable medida	Frecuencia Medición	Cotas (msnm)		
		Este	Norte			Punta de referencia	Base cemento	Superficie del terreno
1	N1	435.838	7.647.960	Nivel y CE	Diaria	744,11		
2	R3N2	435.997	7.648.001	Nivel y CE	Diaria	743,99	-	-
3	R4N3	434.595	7.647.844	Nivel y CE	Diaria	744,97	-	-
4	R5N4	433.942	7.647.851	Nivel y CE	Diaria	744,67	-	-
5	RN2A	434.820	7.648.194	Caudal	Diaria	-	-	-
6	RN2B	434.797	7.648.246	Caudal	Diaria	-	-	-
7	RN2C	434.741	7.648.228	Caudal	Diaria	-	-	-
8	RN2D	434.845	7.648.193	Caudal	Diaria	-	-	-
9	RN2E	435.453	7.647.835	Caudal	Diaria	-	-	-
10	RN3E	435.362	7.647.550	Caudal	Diaria	-	-	-
11	RN3A	435.356	7.647.611	Caudal	Diaria	-	-	-
12	RN3B	435.382	7.647.606	Caudal	Diaria	-	-	-
13	RN3C	436.066	7.648.475	Caudal	Diaria	-	-	-
14	RN4A	433.783	7.647.904	Caudal	Diaria	-	-	-
15	RN4C	433.817	7.647.865	Caudal	Diaria	-	-	-
16	RN4B	433.781	7.647.885	Caudal	Diaria	-	-	-
17	RN4D	433.807	7.647.893	Caudal	Diaria	-	-	-

Fuente: Hidroestudios 2021.

Figura 4-4: Medida de Mitigación, Regla de Operación Actualizada. Puquios de Llamara



Fuente: Hidroestudios 2020.

4.3. Metodología de muestreo

4.3.1. Nivel de espejo de agua en regletas

La metodología de medición de nivel de agua superficial consiste en medir la distancia existente entre la punta de la regla limnimétrica (extremo superior) instalada en las lagunas y la superficie de agua de éstas, utilizando para este fin un flexómetro. Posteriormente, con esta información, se obtiene en gabinete la cota del agua superficial, restando de la cota correspondiente a la punta de la regla limnimétrica el valor medido en terreno, usando planilla de cálculo Excel. Cabe indicar que la cota de la punta de la regla limnimétrica se obtuvo a través de un levantamiento topográfico.

A continuación, se señalan las actividades que se llevan a cabo para obtener el registro diario del nivel de espejo de agua en las regletas N1, R3N2, R4N3 y R5N4, conforme a lo establecido en la RCA 890/2010 y al procedimiento "Medición y registro de niveles y conductividad eléctrica en Laguna Puquios", presentado en el marco del programa de cumplimiento en curso.

Las actividades que forman parte de la medición de nivel de agua son:

- 1) Verificar el estado de los equipos y herramientas
- 2) Calibración de equipo
- 3) Medir el nivel desde la superficie del agua hasta el límite superior de la regla, utilizando un flexómetro.
- 4) Posicionarse en el borde de la laguna; lo más cerca posible de la regla de medición.

hidroestudios

- 5) Medir el nivel desde la superficie del agua hasta el límite superior de la regla, utilizando el flexómetro.
- 6) Verificar qué valor registra el flexómetro en la superficie de agua y qué valor registra en la parte superior de la regleta (el operador debe posicionarse frente a la regla y visualizar de frente el valor que se registra el flexómetro en la parte superior de la regla).
- 7) Registrar el valor en la planilla de mediciones de terreno que completa el operador diariamente, anotando la hora, nombre de la laguna y lectura recolectada.

Las actividades señaladas anteriormente, incluida la medición de niveles de agua superficial es realizado por personal de SQM. Es importante destacar que, dado que el muestreo y/o medición de nivel corresponde a una actividad que se realiza en terreno con una frecuencia diaria, no se requiere utilizar una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA), de acuerdo con la Res. Ex. N°127/2019.

4.3.2. Conductividad eléctrica

A continuación, se indican las actividades llevadas a cabo para obtener el registro diario de la conductividad eléctrica de los puquios N1, N2, N3 y N4, conforme a lo establecido en la RCA 890/2010 y al procedimiento “Medición y registro de niveles y conductividad eléctrica en Laguna Puquios” en el Programa de cumplimiento en curso.

Las actividades que forman parte de la medición de la conductividad eléctrica de agua son:

- 1) Verificación del estado de los equipos y herramientas
- 2) Calibración de equipo “Medidor multiparámetro HI9829, utilizando patrones certificados
- 3) Lavado del sensor de conductividad eléctrica con agua desionizada, lo que se repite 3 veces antes de ingresar el sensor a la laguna y 3 veces después de retirar el sensor de la laguna.
- 4) El equipo se ubica en el punto de medición, sumergiendo la totalidad del sensor en la laguna.
- 5) Se espera a que la temperatura que registra el equipo se estabilice
- 6) Se toma la lectura de conductividad eléctrica, la cual también debe presentar estabilización en sus valores.
- 7) Registrar el valor en la planilla de mediciones de terreno que completa el operador diariamente, anotando la hora, nombre de la laguna, lectura recolectada, e identificando el N° de serie del equipo utilizado.

4.4. Materiales y equipos utilizados

Tabla 4-2: Equipos utilizados en la medición

Monitoreo	Materiales y equipos	Marca/Modelo/Especificaciones	Cantidad	Uso
Nivel de agua superficial	Flexómetro (Huincha)	Stanley	1	Diario
Conductividad eléctrica	Medidor (sonda) multiparámetro	HANNA modelo HI9829	2	Diario y respaldo
	Medidor (sonda) multiparámetro	HANNA modelo HI98192	1	Respaldo

Fuente: Hidroestudios, 2021.

5. RESULTADOS

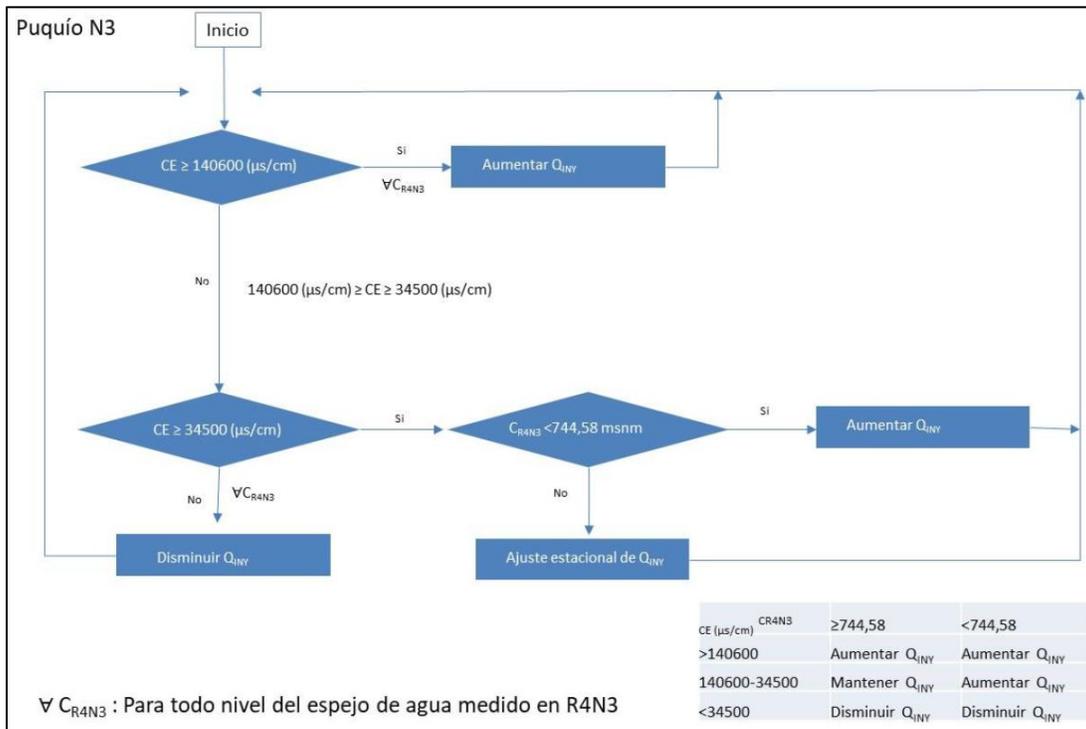
A continuación, se presenta el monitoreo histórico de las variables conductividad eléctrica (CE) y nivel superficial de los puquios. Se muestran los valores históricos dado que se requiere contar con dicha información para realizar la evaluación de la regla de operación.

También se presentan los caudales diarios de inyección a los sistemas puquios derivados de la medida de mitigación.

Cabe mencionar que, dado que las Medidas Urgentes y Transitorias (MUT) estuvieron activas durante diciembre 2017 a abril y octubre 2018, para los puquios N3-N4 y puquios N1-N2 respectivamente, la inyección se detuvo completamente en el sector de los puquios, generando descensos significativos en los niveles y por ende aumentos en la conductividad eléctrica. Bajo este escenario, es que comienza a operar la regla operacional actualizada, con un sistema en desequilibrio producto de la MUT y en proceso de recuperación que se mantiene a la fecha.

Adicionalmente, para entender los resultados y el análisis que se presenta a continuación, es relevante comprender que los umbrales establecidos en la regla de operación actualizada permiten activar/desactivar acciones, siendo una regla que es reactiva, toda vez que no permite generar aumentos o descensos en la inyección mientras los niveles y la CE estén dentro de los rangos, sino que las acciones se realizan al sobrepasarlos. Esta forma de operar se basa en la información empírica recopilada en el tiempo. En el Anexo 3 de este informe se muestran los diagramas de flujo para la operación de la regla para cada puquio, a modo de ejemplo se presenta el del puquio N3, donde puede verse que los aumentos y descensos de inyección aplican al sobrepasar umbrales y que al estar dentro de los rangos la acción corresponde a mantenerlos.

Figura 5-1: Diagrama de flujo ROA puquio N3



Fuente: Geobiota 2019, regla de operación MM actualizada, Anexo 7.2 del PDCR3

hidroestudios

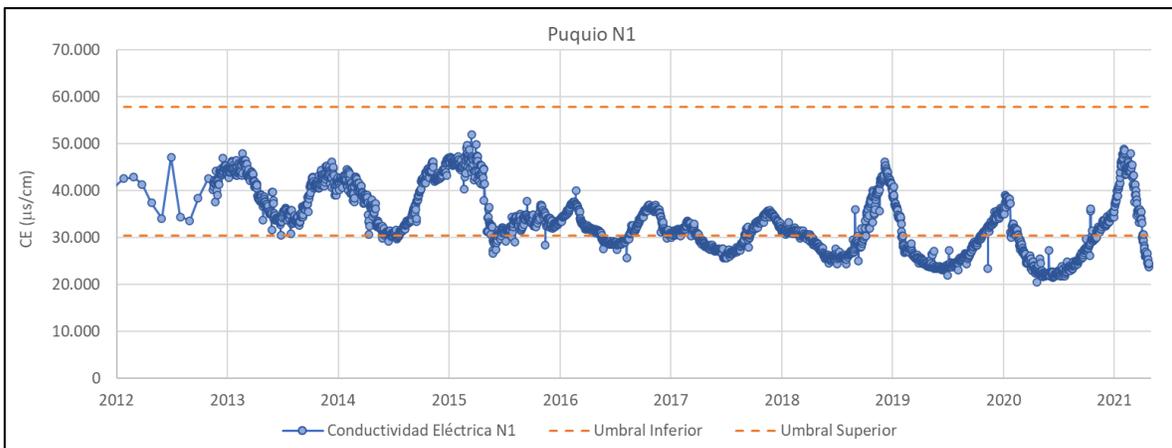
5.1. Conductividad eléctrica

La Figura 5-2, Figura 5-3, Figura 5-4 y Figura 5-5 presentan el comportamiento histórico de la conductividad eléctrica (CE) hasta el 26 de abril de 2021 de los puquios N1, N2, N3 y N4 respectivamente, junto con los valores umbrales definidos en el documento Detalle Regla Operación Actualizada (Anexo 7.2) del PDCR3.

En el caso del puquio N1 se ha observado una cierta tendencia relativamente estable con un descenso en los valores mínimos de la CE durante los últimos años, pero con una marcada recuperación en los meses de verano, llegando incluso a valores máximos de concentración.

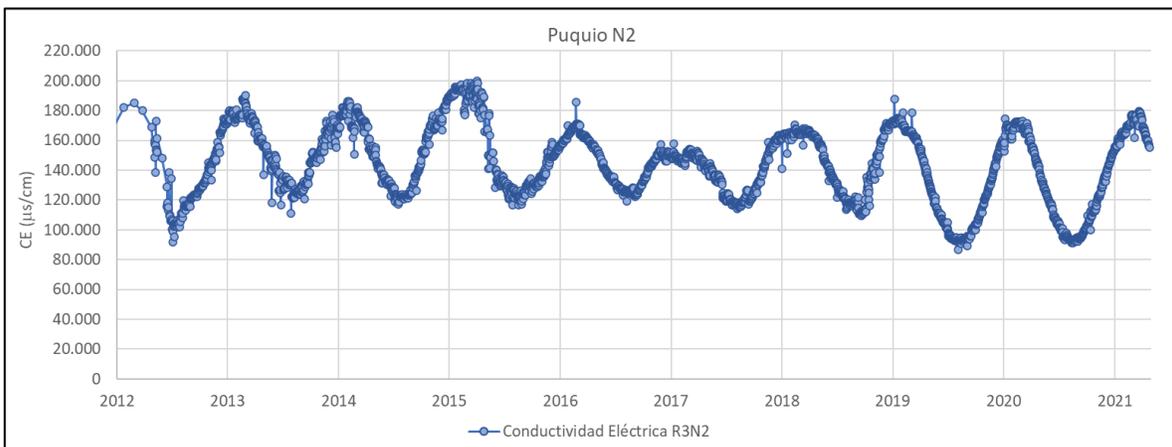
En el puquio N2, por otro lado, se observa que la conductividad eléctrica se ha mantenido estable, con una variación estacional natural y dentro de sus rangos históricos.

Figura 5-2: Comportamiento histórico de la CE puquio N1



Fuente: Hidroestudios 2021.

Figura 5-3: Comportamiento histórico de la CE puquio N2



Fuente: Hidroestudios 2021.

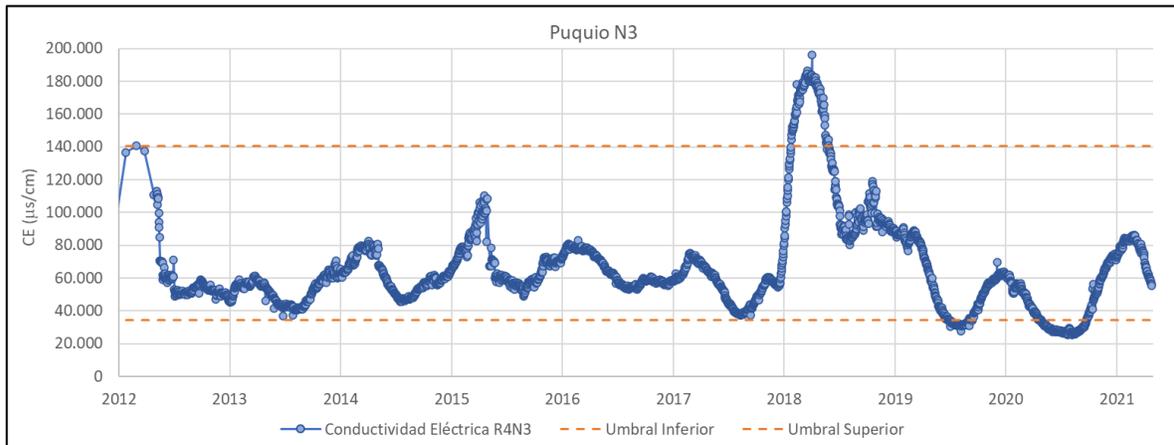
hidroestudios

En el caso de los puquios N3 y N4, se observa que en el periodo de la detención de la inyección (producto de la aplicación de la MUT), hubo un aumento de la CE, especialmente notorio en el puquio N3 y en menor medida en el puquio N4. En el caso del puquio N3, se superó el umbral superior de CE entre los meses de enero y mayo de 2018, mientras que la CE en el puquio N4 estuvo ligeramente por sobre el valor del umbral superior en mayo de 2018.

Luego del período de aplicación de la MUT, la CE del puquio N3 descendió a valores dentro del rango observado previo a la MUT, manteniendo un comportamiento estacional. En general, durante el período 2019-2021 la CE se ha mantenido estable, con una variación estacional en el tramo inferior del rango de tolerancia, pero con un aumento de ésta en el periodo estival, en particular durante el último verano.

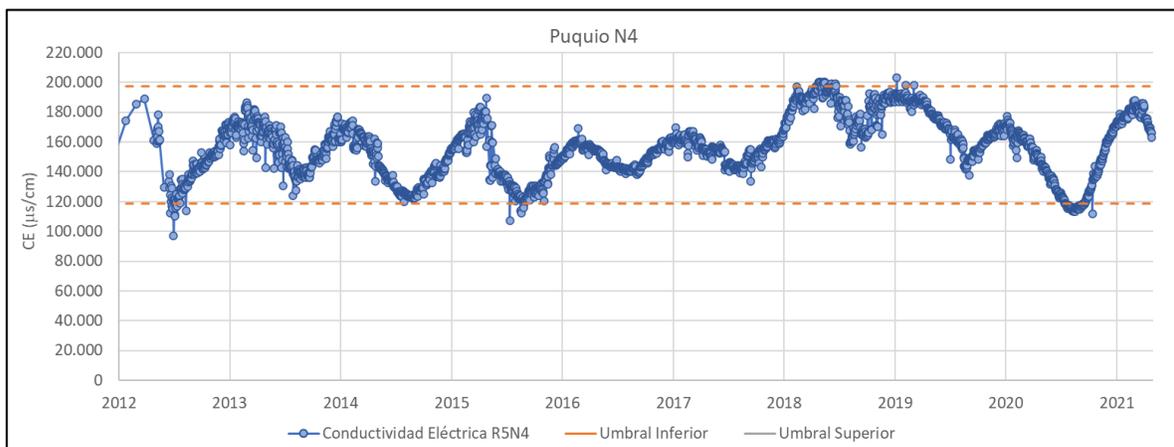
Análogamente, la CE del puquio N4 descendió luego del término de la MUT a sus rangos de variación previos. Durante el invierno de 2020 también se observó un descenso de la CE llegando a estar debajo del umbral inferior, para luego presentar un aumento llegando a un máximo valor en el mes de marzo 2021, por debajo del umbral superior, para luego observarse que comienza a descender, tal como se visualiza en N3, con lo que se logra un comportamiento estacional con la amplitud esperada, con mínimos en invierno y máximos en verano

Figura 5-4: Comportamiento histórico de la CE puquio N3



Fuente: Hidroestudios 2021.

Figura 5-5. Comportamiento histórico de la CE puquio N4



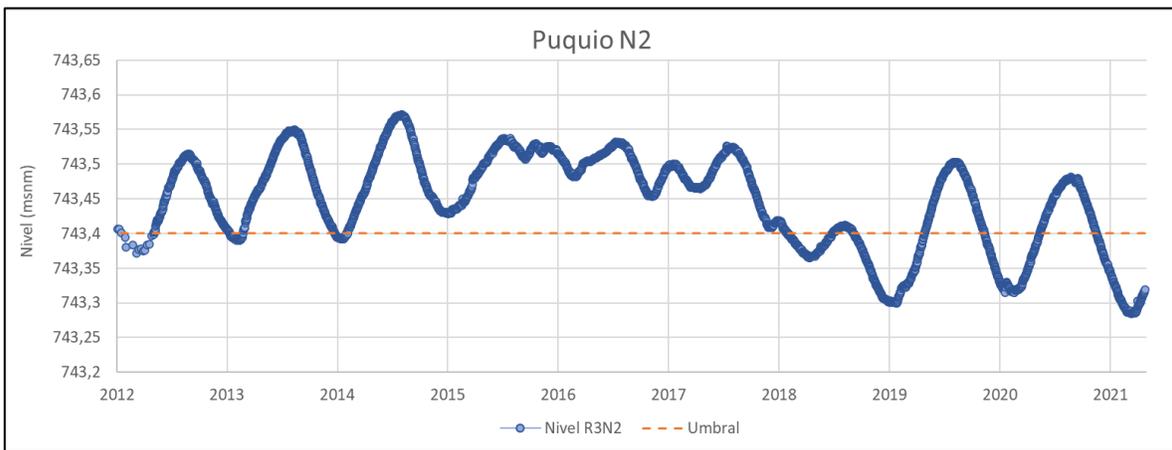
Fuente: Hidroestudios, 2021.

5.2. Nivel de los puquios

La Figura 5-6, Figura 5-7 y Figura 5-8 presentan el comportamiento histórico del nivel en los puquios N2, N3 y N4 respectivamente, junto con los valores umbrales definidos en el documento Detalle Regla Operación Actualizada (Anexo 7.2) del PDCR3.

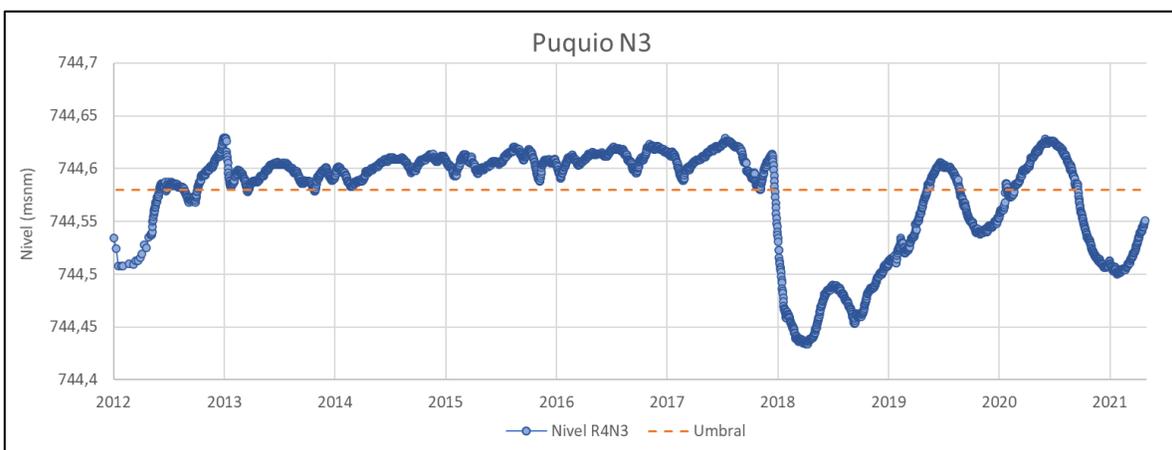
En términos generales se observa que los niveles disminuyeron producto de la aplicación de la MUT, generando fuertes descensos, especialmente en los puquios N3 y N4 cuyos, niveles descendieron bajo el umbral en diciembre 2017, mientras que el puquio N2 tuvo una respuesta levemente más tardía, descendiendo bajo el umbral en el siguiente mes del cese de la inyección, es decir, en enero de 2018. En el segundo semestre del año 2020 los niveles de los puquios N2, N3 y N4 descendieron por debajo de sus umbrales, manteniéndose en esa condición hasta el mes de marzo de 2021. Actualmente, los niveles de los tres puquios se encuentran con una tendencia al alza producto del fin del periodo estival, observándose que se está recuperando la estacionalidad del nivel con valores máximos y mínimos, asociados al periodo de ajuste previsto post MUT.

Figura 5-6. Nivel histórico puquio N2



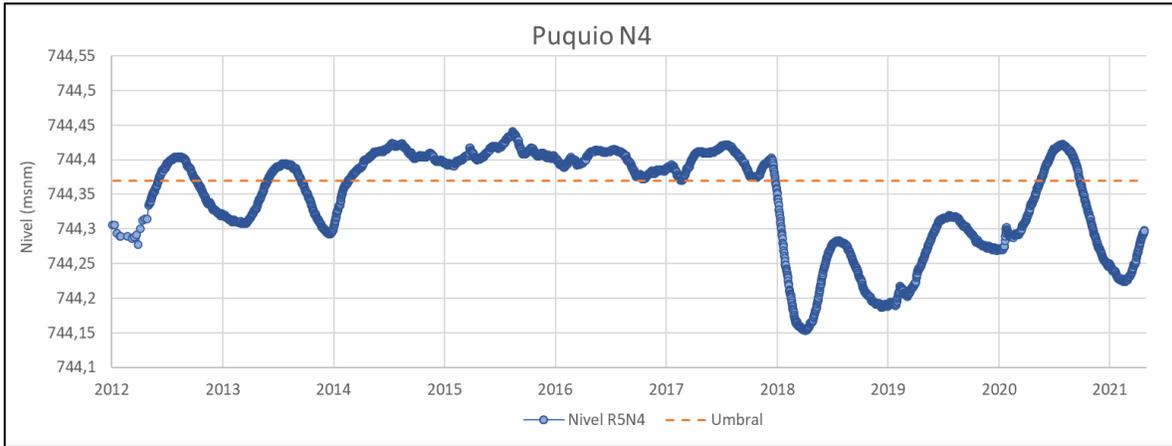
Fuente: Hidroestudios, 2021.

Figura 5-7. Nivel histórico puquio N3



Fuente: Hidroestudios, 2021.

Figura 5-8. Nivel histórico puquio N4



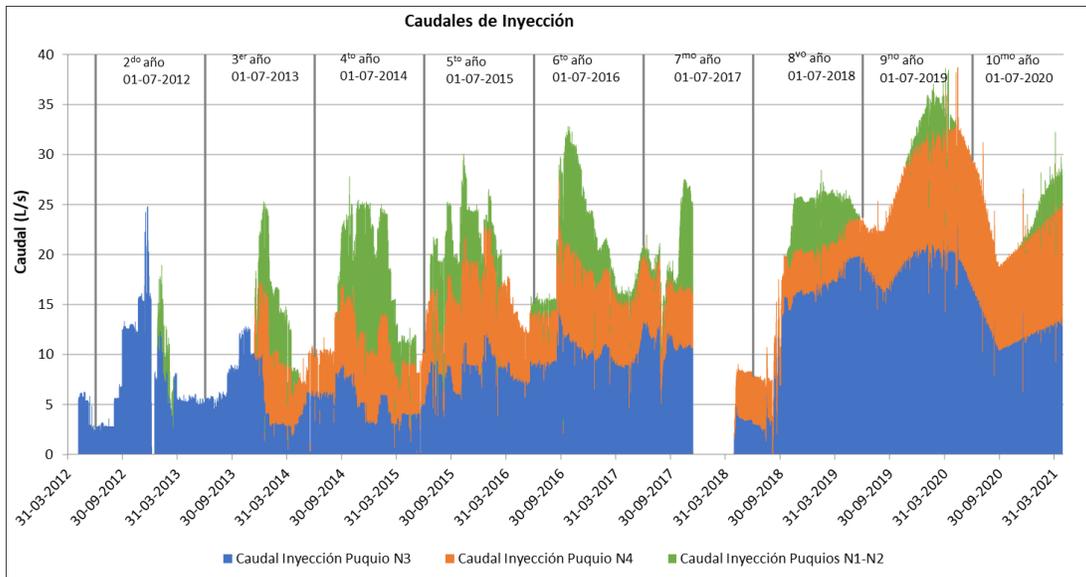
Fuente: Hidroestudios, 2021.

5.3. Caudal de inyección

La Figura 5-9 presenta el funcionamiento histórico de la medida de mitigación respecto a los caudales inyectados en los sistemas puquios N1-N2, N3 y N4. En la figura se observa el cese de inyección del periodo de la MUT, entre diciembre de 2017 hasta abril de 2018 en puquios N3 y N4, y hasta octubre de 2018 en sistema puquio N1-N2. Además, se observa el aumento notorio en la inyección de los sistemas puquios a partir del periodo estival del 2019-2020, producto de los resultados de la Acción N°4 del PDCR3, donde se rehabilitaron los pozos de inyección, aumentando la capacidad en los pozos existentes (RN2E, RN3A, RN3E, RN4B y RN4D).

Cabe recordar que el agua de inyección proviene exclusivamente de los pozos 3X-S7 y 2HENOC, ubicados en el sector norte del salar de Llamara, en concordancia con lo indicado en la acción 7.3, y se inyecta en 13 pozos (Figura 2 2), 11 de los cuales fueron implementados como parte de la medida de mitigación original (RCA N°890/2010) y 2 a Res Ex. N°24/2019 del 26 de febrero de 2019.

Figura 5-9. Caudal de inyección históricos de la medida de mitigación



Fuente: Hidroestudios, 2021.

6. DISCUSIONES

En este apartado se presenta el análisis del funcionamiento de la regla de operación actualizada, para el periodo marzo 2020 a abril 2021, considerando los datos presentados en el capítulo resultados.

La respuesta del sistema a la regla de operación actualizada se mide principalmente a través del monitoreo de nivel superficial y de la conductividad eléctrica (CE) como variable representativa de la calidad química de los puquios en sus respectivas regletas (N1, R3N2, R4N3 y R5N4), y a través del caudal de inyección de la medida de mitigación. Cabe mencionar que en esta evaluación se presenta el dato diario de conductividad eléctrica y nivel superficial de los puquios, mientras que el caudal de inyección se presenta como el caudal medio semanal por sistema puquio, considerando que el primer día de la semana es el viernes y el último día es el jueves de la semana siguiente.

A continuación, se presenta la respuesta de estas variables enfocándose en el segundo año en que ha estado operativa la regla de operación actualizada, es decir, desde el 26 de abril de 2020 al 26 de abril de 2021.

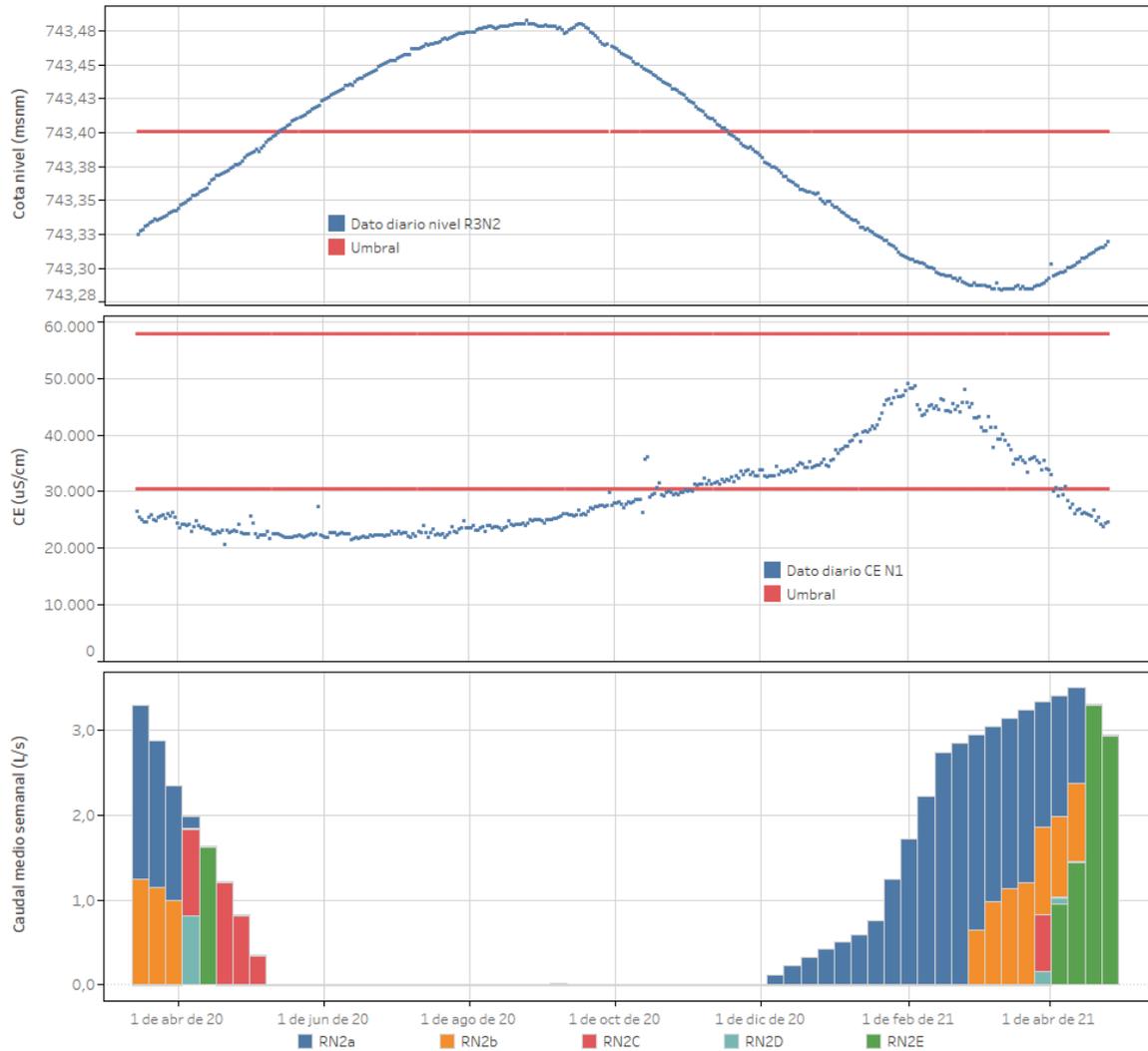
6.1. Sistema puquio N1-N2

El sistema puquio N1-N2, de acuerdo con la regla de operación actualizada, se controla mediante la CE en el puquio N1 y mediante el nivel superficial del puquio N2 en la regleta R3N2. Esto, porque el puquio N2 corresponde al mismo cuerpo de agua del puquio N1 en su fase terminal. La Figura 6-1 presenta el comportamiento diario de las variables ambientales conductividad eléctrica y nivel superficial en puquio N1 y N2, respectivamente, y el caudal medio semanal inyectado en el sistema puquio N1-N2.

Al inicio del período, en abril de 2020, los niveles se encontraban bajo su umbral producto del descenso del período estival y con tendencia marcada de recuperación asociada al inicio del período invernal. Adicionalmente, la CE del puquio N1 estaba por debajo del umbral mínimo establecido, lo que indicaba disminuir la inyección acorde a lo definido en la ROA, efectuándose disminuciones semanales del caudal inyectado en el sistema puquio N1-N2, en un rango de 0,2 L/s a 0,5 L/s, hasta llegar al cese de inyección durante la primera semana de mayo de 2020, periodo en el que continuó el comportamiento estacional tanto del nivel, como de la CE. Durante el año el nivel mantuvo una clara estacionalidad, alcanzando el máximo a fines de agosto de 2020, para luego comenzar una tendencia al descenso. Lo anterior activó nuevamente la ROA, por lo que a partir de la primera semana de diciembre de 2020 comenzó el aumento progresivo de inyección para disminuir el descenso hasta febrero de 2021, fecha en la que la CE nuevamente se encuentra bajo el umbral, por lo que, y de acuerdo a lo señalado en la ROA, comenzó la disminución del caudal de inyección a partir del 9 de abril de 2021, con disminuciones semanales de entre 0,2 L/s y 0,4 L/s, las cuales, al 26 de abril de 2021, han permitido mantener la estacionalidad, con el aumento del nivel y la estabilización de la CE.

Cabe destacar que, dada la activación/desactivación de la ROA, la cual genera las variaciones de nivel y CE respecto de los rangos establecidos, se ha logrado mantener una sutil estacionalidad propia del sistema en la CE y una acentuada estacionalidad en el nivel de N2, manteniendo ambos parámetros en rangos similares para cada año, desde que ésta se encuentra operativa.

Figura 6-1. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N1-N2.



Fuente: Hidroestudios, 2021.

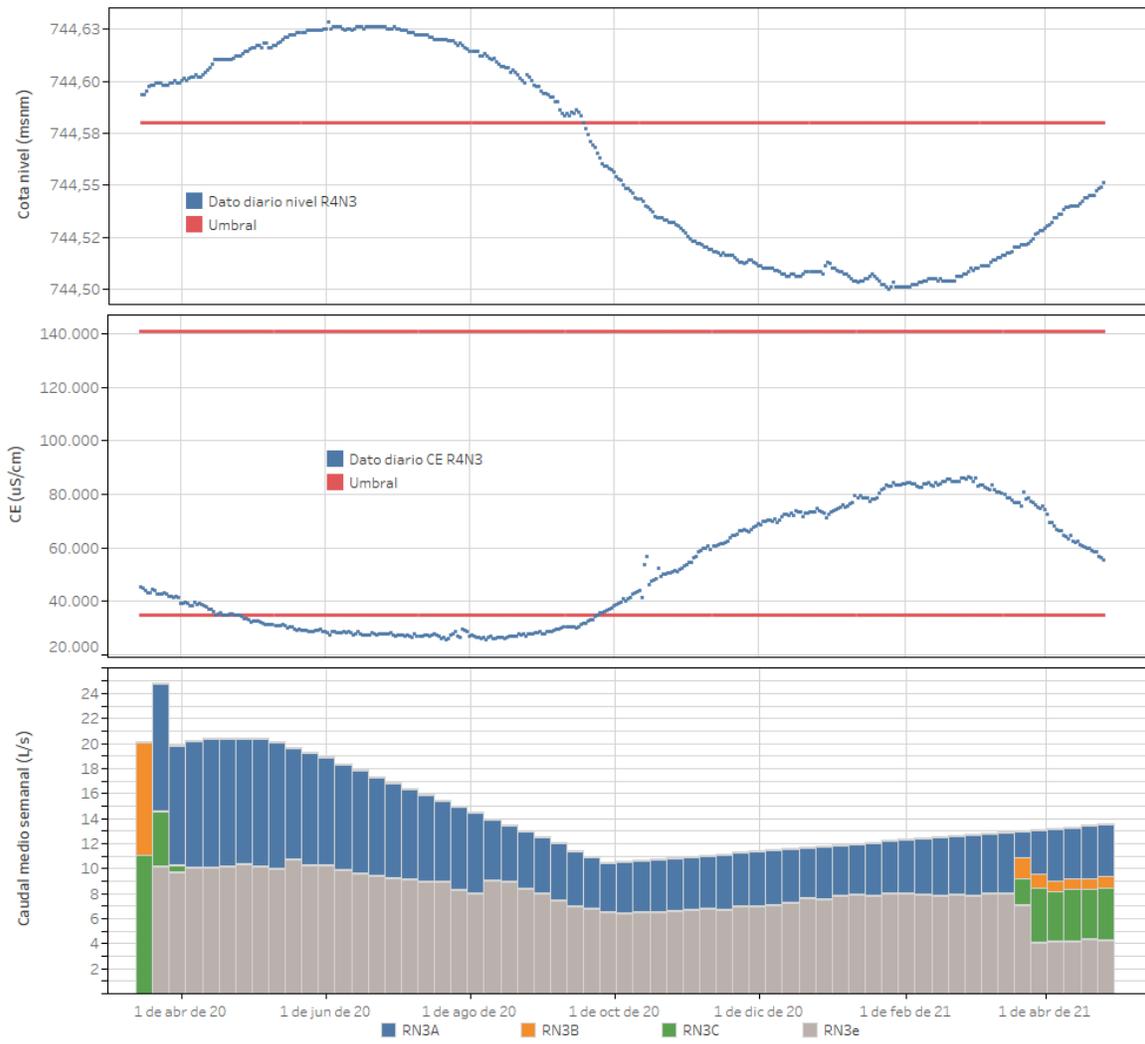
6.2. Sistema puquio N3

La respuesta del sistema a la regla de operación actualizada en el puquio N3 se mide a través del monitoreo diario de la conductividad eléctrica y nivel superficial de la laguna en la regleta R4N3. La Figura 6-2 presenta el comportamiento diario de estas variables ambientales durante el periodo 26 de abril de 2020 al 26 de abril de 2021, junto con el caudal medio semanal inyectado en el sistema puquio N3.

Al inicio del período de análisis, en abril de 2020, el nivel del puquio N3 se encontraba por sobre su umbral mínimo, mientras que la CE, se encontraba por debajo del rango de umbrales establecido. Debido a lo anterior, se efectuaron disminuciones semanales del caudal inyectado, a tasa constante en torno a 0,5 L/s, mientras la CE comenzaba a aumentar su valor asociado al comportamiento estacional observado en invierno, superando el umbral el 24 de septiembre de 2020. Luego, el 20 de septiembre de 2020, el nivel superficial del puquio N3 pasó a estar bajo el umbral definido asociado a la estacionalidad del período estival. Por ello, a partir de la primera semana de octubre se efectuaron aumentos progresivos del caudal inyectado a una tasa constante hasta la fecha (abril 2021), logrando que el nivel aumente y la CE se mantenga dentro del rango establecido.

Cabe destacar que, acorde a lo estipulado en la ROA se ha priorizado la CE por sobre el nivel y se ha logrado mantener la estacionalidad propia del sistema para ambos parámetros. Además, cabe mencionar que durante el último periodo se observa una tendencia de recuperación de niveles por lo que se espera que se encuentre nuevamente por sobre su umbral mínimo entre mayo y junio 2021.

Figura 6-2. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N3.



Fuente: Hidroestudios, 2021.

6.3. Sistema puquio N4

La respuesta del sistema a la regla de operación actualizada en el puquio N4 se mide a través del monitoreo diario de la conductividad eléctrica y nivel superficial del puquio N4 en la regleta R5N4. La Figura 6-3 presenta el comportamiento diario de estas variables ambientales durante el periodo 26 de abril de 2020 al 26 de abril de 2021, junto con el caudal medio semanal inyectado en el sistema puquio N4.

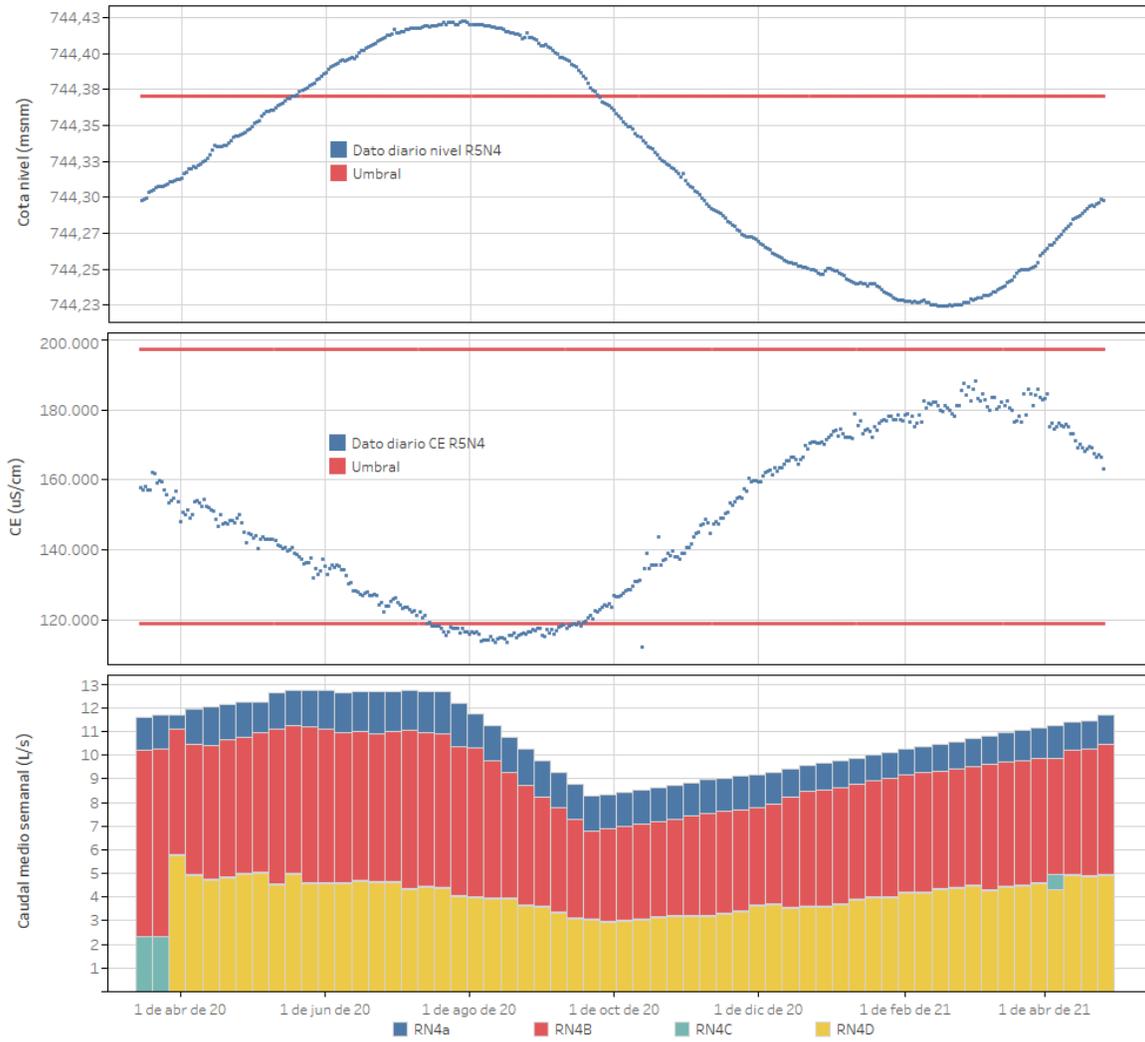
Al inicio del período de evaluación, abril de 2020, la CE del puquio N4 se encontraba dentro del rango de umbrales establecido, mientras que el nivel se encontraba bajo el umbral mínimo definido. En concordancia con la regla de operación, se procedió a aumentar el caudal de inyección a una tasa en torno a 0,1 L/s a 0,2 L/s por semana, con el objetivo de recuperar los niveles. El objetivo se logró el 14 de mayo de 2020.

Luego, y acorde al comportamiento estacional habitual del puquio, la CE estuvo bajo su umbral inferior desde el 14 de julio de 2020. En ese momento, y de acuerdo con la regla de operación se comenzó a reducir el caudal de inyección a una tasa aproximada de 0,2 L/s por semana. La reducción de caudal se mantuvo hasta que se recuperaron los valores de CE por sobre su umbral inferior, lo cual se produjo el día 18 de septiembre de 2020. A partir de esa fecha, la CE se ha mantenido dentro de sus rangos establecidos hasta la fecha de este informe (abril 2021).

El nivel del puquio descendió por debajo de su umbral el día 22 de septiembre de 2020, coincidentemente con la recuperación de la CE. A partir de esa fecha, y de acuerdo con la regla de operación se procedió a aumentar el caudal de inyección a una tasa constante en torno a los 0,1 L/s - 0,2 L/s por semana. Este aumento de caudal se ha mantenido hasta la fecha de este informe (abril 2021), consiguiendo su objetivo de disminuir la tasa de descenso en el periodo estival y que los niveles se recuperen de acuerdo a la estacionalidad habitual del puquio, además logrando que la CE se mantenga dentro de los rangos.

Cabe destacar que, si bien no se ha logrado mantener durante todo el año los umbrales definidos de CE y niveles, sí se logra mantener la estacionalidad propia del sistema tanto de la CE como del nivel superficial. Cabe mencionar que, el nivel aún se encuentra en desequilibrio producto de la MUT y en proceso de recuperación que se mantiene a la fecha.

Figura 6-3. Conductividad eléctrica, nivel superficial y caudal de inyección en sistema puquio N4.



Fuente: Hidroestudios, 2021.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al evaluar la regla de operación actualizada, en términos de los caudales inyectados, la conductividad eléctrica y el nivel en los puquios, se concluye que ha operado correctamente, cumpliendo con los criterios establecidos de lo que fue aprobado en el marco del PDCR3 (Anexo 7.2), es decir priorizando la calidad por sobre el nivel y buscando la estacionalidad de ambas variables.

Esta aplicación correcta de la ROA se ve reflejada en sus resultados y el éxito que ha tenido en recuperar los niveles y su estacionalidad, dado el desajuste provocado por la MUT. Aun cuando se requiere hacer algunos ajustes dentro del marco permitido por la ROA, para lo cual se presentan las siguientes recomendaciones para el próximo periodo de operación, es decir, mayo 2021 – abril 2022.

- Procurar la mantención de los niveles con su estacionalidad característica, para el periodo de mayo 2021 – abril 2022, dado que se ha recuperado la estacionalidad de la CE en los rangos establecidos.
- Como criterio de acción se recomienda una operación de tipo preventiva, manteniendo siempre las restricciones de la regla de operación vigente, es decir, variar la tasa de inyección en el rango establecido dependiendo si la inyección se activa por el rango superior o inferior.
- Se recomienda privilegiar la inyección en pozos que inyectan al acuífero inferior (regional).

8. REFERENCIAS

- Programa de cumplimiento refundido corregido (PDCR3) de fecha 10 de abril de 2019. Anexo 7.2 Detalle Regla Operación Actualizada
- Res. Ex. N° 24/ROL D-027-2016 que aprueba programa de cumplimiento y suspende procedimiento administrativo sancionatorio en contra de SQM S.A., con fecha 26 de febrero de 2019.
- Res. Ex N° 1485/2017 que ordena las Medidas Urgentes y Transitorias
- Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 890 de fecha 1 de Septiembre de 2010 que califica ambientalmente el Proyecto Pampa Hermosa. República de Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

ANEXOS



hidroestudios

Anexo 1

Responsables y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y-o control y elaboración del informe de seguimiento ambiental

Responsables y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y-o control y elaboración del informe de seguimiento ambiental

Supervisión General

Jefe de Área Recursos Hídricos: Mario Vargas Barrios

Supervisión Operadores

Ingeniero Analista de Recursos Hídricos: Claudio Cayo Rivera

Mediciones

Operadores de Recursos Hídricos:

Daniel Calderón Cataldo
Manuel Plaza Gallardo
Argeo Araya Muñoz
Patricio Camilo Marchant
Juan Muñoz Vallejos

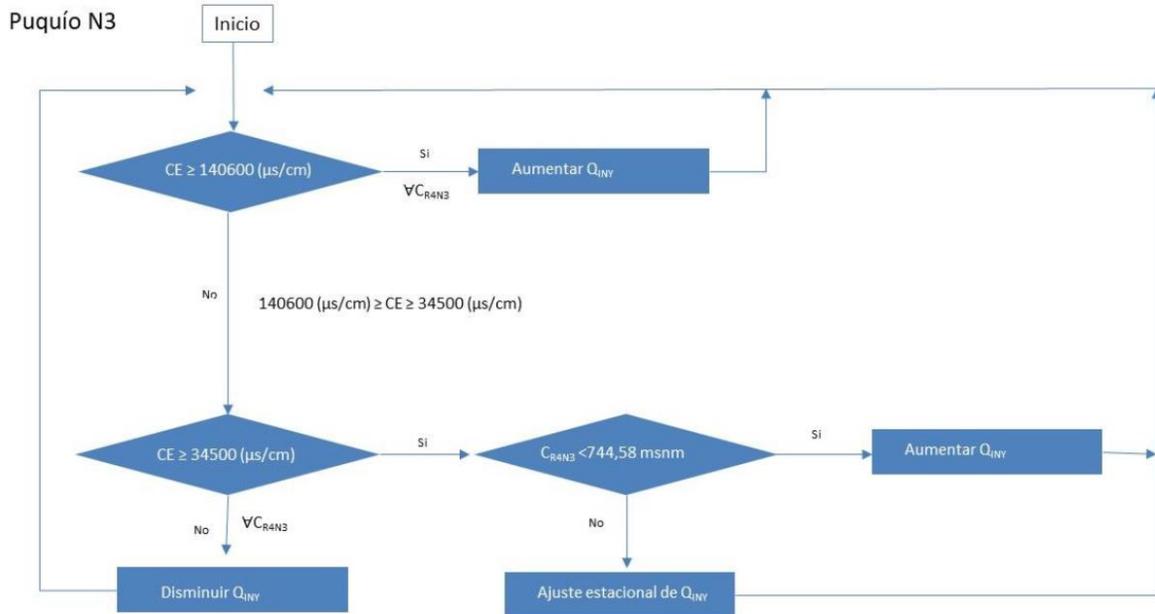
Responsables elaboración de informe

Ingeniero de Proyecto (Hidroestudios) José Pedro Montt
Jefe de Proyecto (Hidroestudios) Andrés Pucheu

Responsables análisis de resultados y revisión de informe

Jefe de Área Recursos Hídricos: Mario Vargas Barrios
Subgerente Medio Ambiente: Sandra Araya

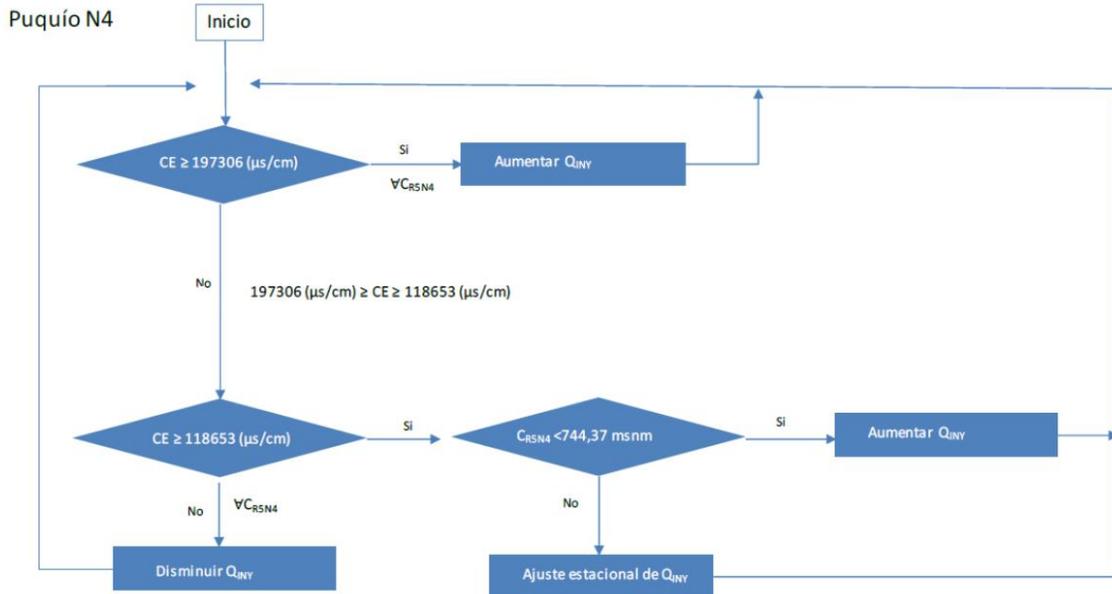
Regla de Operación Puquio N3



CE (μs/cm)	C _{R4N3} ≥ 744,58	C _{R4N3} < 744,58
>140600	Aumentar Q _{INY}	Aumentar Q _{INY}
140600-34500	Mantener Q _{INY}	Aumentar Q _{INY}
<34500	Disminuir Q _{INY}	Disminuir Q _{INY}

∀ C_{R4N3} : Para todo nivel del espejo de agua medido en R4N3

Regla de Operación Puquio N4



CE (μs/cm)	C _{RSN4}	≥744,37	<744,37
>197306		Aumentar Q _{INY}	Aumentar Q _{INY}
197306-118653		Mantener Q _{INY}	Aumentar Q _{INY}
<118653		Disminuir Q _{INY}	Disminuir Q _{INY}

∀ C_{RSN4} : Para todo nivel del espejo de agua medido en R5N4



hidroestudios.cl

