



**Mat.:** Presenta propuesta para abordar exigencias establecidas en Resuelvo III de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016 y solicita tener presente consideraciones.

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

**Ant.:**

- Res. Ex. N°24/ Rol D-027-2016 que aprueba programa de cumplimiento y suspende procedimiento administrativo sancionatorio en contra de SQM S.A.
- Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016. Resuelve solicitud de ampliación de plazo presentada por SQM S.A

Santiago, miércoles, 08 de febrero de 2023

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:

- Presentar una propuesta para incorporar las exigencias establecidas en el Resuelvo III de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016 de 8 de noviembre de 2022 con objeto de asegurar el debido resguardo de la biota acuática extremofila de los puquios del Salar de Llamara durante la vigencia ampliada del PdC; y además,
- Hacer presente consideraciones en relación a las afirmaciones contenidas en el mismo Resuelvo III.

#### **I. Antecedentes Generales del PdC de SQM S.A..**

En el marco del proceso sancionatorio **ROL D-027-2016**, la Superintendencia del Medio Ambiente mediante Res. Ex. N°24/ Rol F-041-2016 de 29 de febrero de 2019, aprobó el PdC propuesto por mi representada. Para efectos de esta presentación, se requiere tener a la vista el estado de

cumplimiento de las acciones comprometidas en el PdC que consideran el seguimiento y estudio de la biota de los puquíos. El estado de dichas acciones se resume a continuación:

N°	Acción	Plazo de Ejecución establecido en el PdC	Resumen de su Implementación
3	<i>Realizar estudio que permita conocer la diversidad funcional de las comunidades microbianas presentes en los puquíos N1, N2, N3 y N4</i>	<i>Fecha de inicio: 09-06-2018</i> <i>Fecha de término 26-04-2019</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El estudio fue efectuado por el Centro de Biotecnología de la Universidad Católica del Norte, en el marco de las Medidas Urgentes y Transitorias decretadas por la Superintendencia del Medio Ambiente, a través de Res. Ex. 1485/2017 y 473/2018.</li> <li>- El objetivo de este estudio fue evaluar el estado de las comunidades microbianas asociadas a las Estructuras de Depositación de Yeso (EDY), establecer una clasificación taxonómica y funcional; y determinar la similitud de las comunidades entre los puquios.</li> <li>- Consideró muestreos en 3 puntos para cada puquio, realizados en las temporadas de verano (enero) e invierno (agosto) del año 2018.</li> <li>- Se presentaron los resultados en: i) el Informe de campaña de verano de 2018 presentado a la SMA en junio de 2018, y en ii) el Informe “Estudio Metagenómico de Sistemas de Depositación de Yeso del Salar de Llamara. Informe final de campaña de invierno de 2018”, acompañado en el Primer Reporte de Avance del PdC.</li> </ul>
6	<i>Definir un programa actualizado de seguimiento de biota acuática.</i>	<i>Fecha de inicio: 26-02-2019</i> <i>Fecha de término: 26-02-2022 (Durante toda la vigencia del PdC)</i>	<p>Según la forma de implementación de esta acción, se han realizado los siguientes monitoreos en los 4 puquios con frecuencia trimestral en 2019, y luego semestral (en julio y noviembre) durante los años 2020 al 2022<sup>1</sup>:</p> <p>En la columna de agua y bentos (5 puntos por puquio):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Riqueza y abundancia (total y relativa) de fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton.</li> <li>- Calidad de agua superficial (+ de 40 parámetros)</li> </ul> <p>En las estructuras de depositación de yeso (3 puntos por</p>

<sup>1</sup> En el PdC se indica que “por el plazo de un año, se aumentará la frecuencia y alcance del actual plan de seguimiento del medio biótico sobre los puquios de semestral a trimestral, de modo de representar de mejor manera los cambios estacionales y espaciales”.

			puquio): - Pigmentos (riqueza y abundancia total y relativa de clorofila a, clorofila c y bacterioclorofilas).
- 8	- Realizar un estudio de diversidad microbiana por secuenciación masiva Illumina-Miseq (metagenómica) en muestras representativas de salmueras y de las cuatro capas de las estructuras de depositación de yeso.	Fecha de inicio: 26-02-2019 Fecha de término: 26-04-2020	- Este estudio continúa el análisis efectuado en cumplimiento la Acción N°3, con campañas en temporada de invierno y verano del año 2019. - Los resultados se presentaron en el Informe “Estudio Metagenómico de Sistemas de Depositación de Yeso del Salar de Llamara” acompañado en el Reporte de Avance N°5 del PdC. - Conforme a lo comprometido en la forma de implementación de la acción, el estudio consideró: i) Muestreo y extracción de ADN de las muestras; ii) Proceso de secuenciación; iii) Análisis metagenómico (taxonomía); iv) Análisis de genes funcionales presentes derivados de la metagenómica; v) Discusión de variabilidad filogenética y funcional y correlación con variables ambientales y/o operacionales.

Adicionalmente, el PdC considera la Acción N° 29, que corresponde a la acción de más larga duración. En esta acción se compromete el ingreso a evaluación ambiental de un EIA y la obtención de RCA en los siguientes términos:

N°	Acción (Por ejecutar)	Plazo de Ejecución
29	<i>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</i>	<i>Fecha de inicio: 26-02-2019 Fecha de término: 26-02-2022</i>

El mismo programa contempla para la ejecución de esta última acción, el siguiente impedimento e implicancias asociadas al mismo:

Impedimento
<i>Impedimento 2: Retraso en la obtención de la RCA por causas no imputables al titular, debidamente justificadas</i>

#### Acción alternativa, implicancias y gestiones asociadas al impedimento

*Aviso dentro de tercer día de la ocurrencia de un hecho que provoque el retraso en la ejecución de la acción dentro del plazo previsto por motivos ajenos al titular, acompañando los antecedentes que lo acreditan e indicando las gestiones que se han adoptado para instar por la más pronta calificación del proyecto sometido a evaluación*

Conforme lo comprometido en la Acción N°29, 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.

En febrero de 2022, considerando la fecha de término establecida en el PdC para la ejecución de la Acción 29, una probable apertura de un Proceso de Consulta Indígena (PCI) en el marco de la evaluación ambiental de dicho proyecto y la fecha prevista para la presentación de la Adenda N°2 del EIA, se evidencia la configuración del impedimento N° 2 de la Acción N° 29. Esta situación es informada a la SMA mediante escrito presentado con fecha 11 de febrero de 2022, dando cuenta de la debida diligencia de SQM durante la elaboración y evaluación ambiental de este proyecto.

Dada la concurrencia del impedimento, adicionalmente, en la misma presentación, se solicita modificar el Plan de Acciones y Metas del PdC y sus cronogramas, ampliando el plazo establecido para cumplir la Acción N°29. Se propuso como nueva fecha de término, **el día 26 de agosto de 2023**. Esta propuesta de plazo consideraba, la probable apertura de un PCI y los tiempos promedios de tramitación de estos procesos en evaluaciones de proyectos interregionales como el Proyecto Modificación, según se explica en dicha presentación.

Con fecha 26 de mayo de 2022, la empresa reiteró la solicitud de ampliación del plazo para la ejecución de la Acción N° 29 del PdC, considerando como nueva fecha de término **el 26 de noviembre de 2023**, atendiendo a que transcurridos más de 3 meses desde la presentación anterior, todavía no se contaba con avances sustantivos en el PCI iniciado en la evaluación ambiental del Proyecto Modificación por Res. Ex. N° 202299101234/2022 de la Dirección Ejecutiva del SEA.

Finalmente, mediante el Resuelvo I de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016 de 8 de noviembre de 2022, la SMA acoge la solicitud de extensión del plazo de la Acción N° 29 del PdC, considerando el 26 de noviembre de 2023 como fecha de término de dicha acción y de la vigencia del PdC, conforme lo solicitado por SQM en su escrito de mayo de 2022.

En su Resuelvo II hace presente la obligación de SQM de mantener el cumplimiento de las acciones N°5, N°6, N°7, N°10, N°11, N°13, N°15, N°16, N°17, N°19, N°20, N°22, N°24, N°25, N°27, N°28, N°30, Y N°31 hasta el cumplimiento íntegro de la Acción N°29, vale decir, hasta la obtención de la RCA del “Proyecto Modificación”.

Por otra parte, en el Resuelvo III se incorporan las siguientes exigencias para asegurar el debido resguardo de la biota acuática extremofila de los puquios del Salar de Llamara durante la vigencia ampliada del PdC:

- i. *“Verificar cuáles son las variables ambientales que han conducido a las variaciones identificadas en el ecosistema, teniendo en cuenta las indicaciones y variables consideradas en estos ecosistemas según la Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos: Tapetes Microbianos, Microbialitos y Endoevaporitas. En este punto, se hace presente que, durante la ejecución del PdC, se ha entregado información relativa a cuatro comunidades presentes en los cuatro puquíos: Fitobentos, Fitoplancton, Macrozoobentos y Zooplancton, destacando que, en el caso de Zoobentos, sólo se informan y muestrean los macrozoobentos, dejando fuera otras comunidades de menor tamaño, por lo que se deberá ampliar dicho estudio en concordancia con lo comprometido en el PdC aprobado;*
- ii. *Determinar las medidas adicionales que se pudieran adoptar en pos de la mantención de estos ecosistemas;*
- iii. *En los sucesivos reportes de avance e informes ejecutivos mensuales, se deberá incorporar un informe que dé cuenta de las relaciones entre las variables ambientales medidas y las comunidades informadas, en línea con lo estipulado en la Res. Ex. N° 223, de 2015, de esta Superintendencia, y que no se limiten a una sola presentación de los registros en formato Excel, de manera que se identifiquen posibles cambios o tendencias asociadas a potenciales impactos ambientales por parte del Proyecto y su dependencia con las variables fisicoquímicas medidas al momento del monitoreo;*
- iv. *El informe que dio cuenta de la primera acción del PDC, a saber, “Genesis of the Gypsum Depositional system in Llamara puquios”, debe ser remitido por el titular en español, por ser el idioma oficial;*
- v. *Por último, se hace presente los plazos actuales de entrega de los resultados para cada monitoreo son excesivamente amplios, llegando a reportarse con desfases de un año luego de realizado el monitoreo, pese a que en el intertanto se reportan minutas relativas a la acción pertinente sin incorporar los datos. En consecuencia, se solicita que los resultados se reporten con un desfase menor respecto a la fecha en que se ejecutan los monitoreos en terreno, lo cual permitiría un seguimiento ambiental más oportuno”.*

A continuación, se exponen primero, algunas consideraciones en relación a las afirmaciones que contiene el Resuelvo III, y luego se dará cuenta de la propuesta de SQM para cumplir las exigencias establecidas en el mismo.

## **II. Consideraciones generales respecto de las afirmaciones contenidas en el Resuelvo III de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016**

- *Afirmación N°1: “(...) se hace presente que, durante la ejecución del PdC, se ha entregado información relativa a cuatro comunidades presentes en los cuatro puquíos: Fitobentos, Fitoplancton, Macrozoobentos y Zooplancton, destacando que, en el caso de Zoobentos, sólo se informan y muestrean los macrozoobentos, dejando fuera otras comunidades de menor*

*tamaño, por lo que se deberá ampliar dicho estudio en concordancia con lo comprometido en el PdC aprobado”.*

La cuantificación de macrozoobentos que se presenta en los informes de seguimiento de la Acción N°6 considera el muestreo de comunidades de menor tamaño. El macrozoobentos (también denominado zoobentos o macrofauna bentónica) corresponde a organismos que habitan sobre el fondo y cuyos tamaños son de >500 µm y entre los que se incluyen estados larvales, de insectos, gastrópodos.

Se hace presente que se explicará esta situación, en los siguientes informes de seguimiento de la Acción N°6 que se presenten en los reportes de avance del PdC, especificando las comunidades que considera la cuantificación de macrozoobentos.

- *Afirmación N°2: “En los sucesivos reportes de avance e informes ejecutivos mensuales, se deberá incorporar un informe que dé cuenta de las relaciones entre las variables ambientales medidas y las comunidades informadas, en línea con lo estipulado en la Res. Ex. N° 223, de 2015, de esta Superintendencia, y que no se limiten a una sola presentación de los registros en formato Excel (...)”.*

Cabe señalar que desde el Reporte de Avance N°8 (en relación al monitoreo de noviembre de 2020), se presenta un Informe de Seguimiento de Biota Acuática con los contenidos mínimos de la Res. Ex. 223/2015 de la SMA. En este informe se da cuenta de los resultados de las características de la calidad de agua y de biota acuática según los monitoreos realizados en el periodo informado en cumplimiento de la Acción N°6.

La estructura de este informe será ajustada para abordar las exigencias del Resuelvo III de la manera que se especifica en el capítulo siguiente de esta presentación.

- *Afirmación n°3: “(...) se hace presente los plazos actuales de entrega de los resultados para cada monitoreo son excesivamente amplios, llegando a reportarse con desfases de un año luego de realizado el monitoreo, pese a que en el intertanto se reportan minutas relativas a la acción pertinente sin incorporar los datos. En consecuencia, se solicita que los resultados se reporten con un desfase menor respecto a la fecha en que se ejecutan los monitoreos en terreno, lo cual permitiría un seguimiento ambiental más oportuno”.*

Al respecto, se considera relevante hacer presente que SQM ha realizado esfuerzos para contar con los resultados de los monitoreos comprometidos en la Acción N°6 en relación al seguimiento de la biota de los puquíos, en menos de un año, mediante el reforzamiento del control de laboratorios y consultores. Gracias a lo anterior, ha sido posible presentar los resultados de los monitoreos en un Informe de Seguimiento con los contenidos mínimos establecidos en la Res. Ex. 223/2015 de la SMA, en menos de un año, en los correspondientes reportes de avance, según se detallan a continuación:

Monitoreos Acción N°6	Presentación de Resultados en Informes de Seguimiento de Acción N°6
Monitoreo de noviembre de 2020	Informe de seguimiento se presentó en RA N° 8 (marzo de 2021) con todos los resultados
Monitoreo de julio de 2021	Informe de seguimiento se presentó en RA N°11 (diciembre de 2021) con todos los resultados
Monitoreo de noviembre de 2021	Informe de seguimiento se presentó en RA N°12 (marzo de 2022) con todos los resultados
Monitoreos de julio de 2022	Informe de seguimiento se presentó en RA N°15 (diciembre de 2022) con todos los resultados.

Se debe considerar que para contar con los informes de seguimiento de la Acción N°6 se requiere la ejecución de varias actividades, las que pueden llegar a tomar en su conjunto, hasta 5 meses, según se detalla en el siguiente cronograma:

Actividad	Semanas																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Obtención de muestras en terreno																				
Análisis agua (ANAM)																				
Revisión de análisis agua por consultor y SQM																				
Corrección de Análisis de agua por laboratorio																				
Análisis fitoplancton y fitobentos																				
Análisis zooplancton y zoobentos																				
Análisis pigmentos estratos (UCN)																				
Elaboración informe de seguimiento por consultor																				
Revisión SQM de informe de seguimiento																				

En particular, los resultados de los análisis de laboratorio son revisados por SQM y consultor. En este proceso los resultados observados pueden ser corregidos o confirmados por parte del laboratorio, generalmente, en una semana. Sin embargo, en algunas ocasiones, este proceso ha demorado un tiempo mayor, lo que ha implicado que no ha sido posible contar con los resultados de algunos parámetros para la elaboración de los informes de seguimiento de la Acción N°6 correspondientes. Cuando se ha presentado esta situación, ella se ha hecho presente en el mismo informe de seguimiento y en la minuta de la Acción N°6<sup>2</sup>.

SQM intensificará el control sobre los laboratorios para evitar que dichas situaciones vuelvan a presentarse.

<sup>2</sup> Por ejemplo, en el Informe de Seguimiento de los monitoreos de biota de noviembre de 2021 (presentado en el Reporte de Avance N°12), se indica que los resultados del Balance iónico en N4 y de salinidad de N2 y N4 se encuentran en revisión por el laboratorio (p.59). También, se acompañó la Carta R36/2022 v.02 de 1 de marzo de 2022 de ANAM que da cuenta de esta situación.

III. Propuesta para dar cumplimiento a las exigencias establecidas en el Resolvo III de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016

1. Exigencias referidas a la identificación y análisis de variables que den cuenta de posibles variaciones o cambios en las tendencias del ecosistema, y de su relación a la operación del Proyecto

- *“i) Verificar cuáles son las variables ambientales que han conducido a las variaciones identificadas en el ecosistema, teniendo en cuenta las indicaciones y variables consideradas en estos ecosistemas según la Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos: Tapetes Microbianos, Microbialitos y Endoevaporitas.(...)”*
- *iii) En los sucesivos reportes de avance e informes ejecutivos mensuales, se deberá incorporar un informe que dé cuenta de las relaciones entre las variables ambientales medidas y las comunidades informadas, en línea con lo estipulado en la Res. Ex. N° 223, de 2015, de esta Superintendencia, y que no se limiten a una sola presentación de los registros en formato Excel, de manera que se identifiquen posibles cambios o tendencias asociadas a potenciales impactos ambientales por parte del Proyecto y su dependencia con las variables fisicoquímicas medidas al momento del monitoreo”;*

Preliminarmente, para abordar esta exigencia se debe tener a la vista que Guía para la Conservación y Seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos: Tapetes Microbianos, Microbialitos y Endoevaporitas de 2017 de la SEREMI de Medio Ambiente de la Región de Antofagasta (en adelante “Guía de Extremófilos), clasifica los cuerpos de aguas en función de las categorías de Ecosistemas Microbianos Extremófilos (EME) que presentan. Las categorías van de 0 a III según sus niveles de complejidad. En particular, según la misma guía, los puquios de Llamara corresponden a la Categoría intermedia (II) al presentar dos clases de EME, incluyendo tapetes microbianos de tipo C.

Una adecuada descripción de los puquios requiere considerar tanto elementos del ambiente como del tipo de comunidades que los habitan. Desde un punto de vista físico-químico, los puquios representan lagunas de diversos tamaños que han sido generadas por la disolución de materiales salinos subyacentes asociados a evaporitas de la Formación Soledad (Chong 1988<sup>3</sup>, Otálora et al., 2020<sup>4</sup>). En cuanto a sus características físico-químicas, las salmueras de los puquios exhiben una importante heterogeneidad espacial (por ejemplo, los valores de CE van desde ca. 30 mS/cm en el puquio 1 a ca. 200 mS/cm en el puquio 4, con valores intermedios para los puquios 2 y 3 (Reid et al.,

---

<sup>3</sup> Chong, G., 1988, The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18°00' and 27°00' South latitude. In Bahlburg, H., Breitzkreuz, C., Giese, P. (Eds), The southern Central Andes. Lecture Notes in Earth Sciences 17: Berlin, Springer, 137-151. <https://doi.org/10.1007/bfb0045179>

<sup>4</sup> Otálora, F., Criado-Reyes, J., Baselga, M., Canals, A., Verdugo-Escamilla, C., & García Ruiz, J. M. (2020). Hydrochemical and mineralogical evolution through evaporitic processes in Salar de Llamara Brines (Atacama, Chile). ACS Earth and Space Chemistry, 4(6), 882-896

2021a<sup>5</sup>, Oehlert et al., 2022<sup>6</sup>). También, estos presentan una heterogeneidad temporal dado que parámetros como la CE varían estacionalmente, con un agua más concentrada –debido a la mayor tasa de evaporación– en los meses de verano y menos concentrada en los meses de invierno y también existen notorias diferencias en parámetros medidos en agua en distintos horarios del día (Reid et al., (2018). “Genesis of the Gypsum Depositional system in Llamara puquios”).

Los EME de los puquíos están conformados por un ensamble interactuante de Cianobacterias y Bacterias como miembros principales, y acompañados de Archeobacterias y Diatomeas en menor proporción (Reid et al., 2021<sup>a</sup>, Suosaari et al. 2022<sup>7</sup>). Dada la heterogeneidad ya señalada, es posible encontrar taxa tanto halofílicos como halotolerantes. Por ejemplo en el Puquio 1, de menor CE, se registran en mayor abundancia *Rhodovibrio salinarum*, *Rhodohalobacter* y *Halophilum ochraceum*, mientras que en el Puquio 4 se observan taxa con afinidad a ambientes más salinos como *Salinibacter*, además taxas halotolerantes como miembros del grupo Actinobacterias (SQM 2020<sup>8</sup>). En los puquios existen esencialmente distintas expresiones de tapetes microbianos (según las condiciones de la salmuera en particular) que están típicamente conformados por microorganismos dispuestos en capas (estratos de distintos colores) según sus requerimientos (ej: aeróbicos o anaeróbicos) y puede haber tapetes no-litificantes o litificantes (costras endoevaporíticas) que pueden asumir morfologías como los domos (microbialitas) visibles por ejemplo en el puquio 2 y 4 y que en su conjunto se denominan “Estructuras de Deposición de Yeso-EDY” (Stolz 2000<sup>9</sup>, Reid et al., 2021). Los parámetros o variables que considera la Guía de Extremófilos en su sección 6, para describir el estado ecológico de los EME según el nivel de complejidad que presentan los puquíos<sup>10</sup> y que resultan aplicables según

---

<sup>5</sup> Reid, R. P., Oehlert, A. M., Suosaari, E. P., Demergasso, C., Chong, G., Escudero, L. V., ... & Palma, A. T. (2021). Electrical conductivity as a driver of biological and geological spatial heterogeneity in the Puquios, Salar de Llamara, Atacama Desert, Chile. *Scientific reports*, 11(1), 1-18.

<sup>6</sup> Oehlert, A.M.; Suosaari, E.P.; Kong, T.; Piggot, A.M.; Maizel, D.; Lasca, I.; Demergasso, C.; Chong, G.; Reid, R.P. (2022). Physical, Chemical, and Microbial Feedbacks Controlling Brine Geochemistry and Lake Morphology in Polyextreme Salar Environments. *Sci. Total Environ.* 836, 19.

<sup>7</sup> Suosaari EP, Oehlert AM, Lasca I, Decho AW, Piggot AM, Palma AT, Machabee PF & Reid RP. (2022). Environmental and Biological Controls on Sedimentary Bottom Types in the Puquios of the Salar de Llamara, Northern Chile. *Geosciences* 12, 247. <https://doi.org/10.3390/geosciences12060247>

<sup>8</sup> SQM (2020) Estudio metagenómico de sistemas de deposición de yeso del Salar de Llamara. Centro de Biotecnología Universidad Católica del Norte, Acción 8.

<sup>9</sup> Stolz, J. F. (2000). Structure of microbial mats and biofilms. In *Microbial sediments* (pp. 1-8). Springer, Berlin, Heidelberg.

<sup>10</sup> Se indica en la sección 6 de la guía que para nivel 2 con presiones de origen antrópico, se consideran los parámetros del Nivel 1, que corresponden a los siguientes:

- Parámetros físicos y químicos: nivel de agua, sólidos en suspensión, conductividad, potencial redox, temperatura, pH.
- EME: determinar presencia y distribución de tapetes, microbialitos, endo-evaporitas fitotomicrobialitos, biofilm. Presencia de pigmentos.
- Mineralogía: determinar la presencia de carbonatos (aragonita, calcita o micrita), sulfatos (yeso, ternadita etc) halitas, aylusita.

Adicionalmente, se deben considerar:

- Parámetros físicos y químicos del agua: aniones y cationes, metales.
- EME: diversidad microbiana de los 2 -3 cm superiores.

sus características específicas anteriormente descritas, forman parte del seguimiento de biota de la Acción N° 6, o han sido analizados en estudios comprometidos en las acciones N°3 y N°8 del PdC. Los parámetros listados en las Tablas 1 y 2 forman parte del seguimiento regular del PdC desde su inicio y permiten describir el estado ecológico de los EME, incluyéndose adicionalmente el seguimiento de la biota acuática cuya variabilidad puede indicar ocurrencia de potenciales anomalías como eutroficación (aumento excesivo de clorofila-*a* o fitoplancton en función de una elevada concentración de nutrientes).

Tabla 1. Parámetros físico químicos recomendados en la Guía e Incluidos en monitoreos de Acción N° 6
Nivel de agua
Sólidos en suspensión
Conductividad eléctrica
Potencial redox
Temperatura
pH
Aniones y cationes
Metales

Tabla 2. Observaciones sobre EME recomendadas en la Guía e Incluidas en monitoreos de Acción N° 6
Presencia de pigmentos. Se monitorea clorofila a) y c) y bacterioclorofila en diferentes capas y actividad fotosintética de capa 1 (verde) en Estructuras de Depositación de yeso.
Diversidad de la biota acuática: Se monitorea Riqueza y abundancia (total y relativa) de fitobentos, fitoplancton, zoobentos, zooplancton.

En la Tabla 3 se destacan los parámetros que se han evaluado en torno a las acciones 3 y 8 que evidencian el funcionamiento del EME presente en los puquios.

Tabla 3. Análisis de parámetros físico-químicos y EME recomendados en Guía incluidos en estudios de acciones N° 3 y N°8
Diversidad microbiana en salmueras y estructuras de depositación de yeso
Evaluación de correlaciones entre diversidad y parámetros físicos, CE, pH y OD
Estimación de abundancia taxonómica y funcional
Caracterización de la abundancia de microorganismos en la capa E1
Evaluación de correlatos entre variación en los parámetros ambientales (CE y OD) con modificaciones en la estructura de las comunidades microbianas
Contraste entre estaciones (seca y húmeda) de la estructura de los ensambles microbianos (2018 vs 2019)

Para identificar los posibles cambios en las tendencias del ecosistema, y de su relación a la operación del Proyecto, en relación al comportamiento de estas variables, se realizará una reestructuración del informe de seguimiento de la Acción N°6 a partir de marzo de 2023, en los siguientes términos:



Capítulos	Ajustes considerados
Capítulo introductorio	<p>Actualización del conocimiento científico que se tiene del ecosistema de los puquios hasta la fecha, sobre los aspectos considerados en Guía de Extremófilos, sobre los que se cuenta con información, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Información sobre presencia y distribución de tapetes microbianos, microbialitos, etc.</li> <li>- Información sobre mineralogía que incluye determinación de presencia de carbonatos, sulfatos, halita, aylusita,</li> <li>- Información sobre diversidad microbiana por capas y</li> <li>- Información sobre diversidad microbiana en las EDY y determinación de metabolismos claves en metagenomas.</li> </ul>
Capítulos “calidad del agua” y “biota acuática”	Se mantiene contenido y estructura.
Capítulo “Pigmentos”-	Se denominará “Comunidades microbianas-EME”. Su estructura y contenido se basará en las recomendaciones de la Guía de Extremófilos.
Discusiones y conclusiones	<p>Se presentará de modo explícito la relación entre las variables ambientales medidas y las comunidades informadas. Se realizarán evaluaciones cuantitativas y cualitativas, así como representaciones gráficas apropiadas, de manera de poder visualizar fácilmente si alguna variable deriva fuera de los rangos históricos o adecuados para mantener los EME.</p> <p>En estas evaluaciones se considerarán las siguientes variables y sus correspondientes indicadores de cambios que se presentan en la sección 8 de la Guía de Extremófilos: Nivel, salinidad, clorofila-<i>a</i> en agua, presencia de domos (en puquios 2 y 4 en menor medida), estratificación de colores, transparencia del agua, componentes principales de la diversidad en cuanto al cambio en la “dominancia de organismos normales (ej: fitoplancton)”, pigmentos fotosintéticos en las capas y, adicionalmente, mediciones de actividad fotosintética en la capa verde de las EDY.</p>

## 2. Exigencia de determinar medidas adicionales tendiente a la mantención de la biota de los puquíos

- *ii. Determinar las medidas adicionales que se pudieran adoptar en pos de la mantención de estos ecosistemas;*

La medida de mitigación establecida en el EIA del Proyecto Pampa Hermosa aplicada conforme la ROA comprometida en el PdC, cumple con el estándar establecido en la Guía de Extremófilos para medidas de mitigación (Tabla 9-1: Medidas de mitigación), al considerar:

- Las variaciones de la calidad química y el nivel, priorizando de la calidad para la adopción de las decisiones de aumento/mantenimiento/disminución del caudal de inyección.
- La mantención del comportamiento estacional de la Conductividad Eléctrica (CE) y del nivel.

Los puquios presentan una alta heterogeneidad espacial en cuanto a características físicas, químicas y biológicas. En este sentido el sistema de los puquios se caracteriza por una alta variabilidad en CE, biota planctónica y bentónica, microbiota, tipos de fondo y estilos de depositaciones minerales. La evidencia sugiere que la CE es el principal forzante de la heterogeneidad del sistema (Otárola et al., 2020, Reid et al., 2021), pudiendo observarse cómo la variedad de tipos de fondos microbianos y cristalinos presentes en los puquios se correlacionan con la CE (Oehlert et al., 2022). La heterogeneidad de las salmueras presentes en los puquios incluso puede asociarse con la correlación predicha entre la salinidad (que se relaciona con la CE) y la morfología del yeso propuesta en el modelo de Babel (2004).

De este modo, la medida de mitigación aplicada conforme a la ROA comprometida en la Acción N°7 del PdC, al priorizar la CE ha demostrado ser efectiva para asegurar que dicha variable mantenga una oscilación dentro de sus umbrales históricos y establecidos en el mismo PdC, reproduciendo su comportamiento estacional, y también el comportamiento de niveles, todo lo cual permite el resguardo de los EME. De los resultados de la aplicación de la ROA da cuenta el Informe “Evaluación Regla de Operación Actualizada” de junio de 2022, elaborada por Hidroestudios, que se presentó en el Reporte de Avance N°13 del PdC.

Adicionalmente, el Proyecto Modificación actualmente en evaluación que se compromete en la Acción N°29, considera:

- El reforzamiento de infraestructura de inyección (24 pozos)
- Una propuesta de nuevos umbrales para operar la medida en base a resultados de análisis de tolerancia de la biota acuática (Informe "Determinación de Umbrales de tolerancia", Anexo 4.3-3 del EIA).
- El Compromiso Voluntario CAV-2. referido a la Investigación de la abundancia y diversidad de microorganismos presentes en las EDY.
- Aumento de parámetros de calidad de agua de importancia limnológica en relación al seguimiento de la biota acuática.

En este contexto, considerando que actualmente se monitorean los parámetros que considera la Guía de Extremófilos para el nivel de complejidad de los puquíos, y especialmente, en atención a que los ajustes a la medida de mitigación del Proyecto Pampa Hermosa -orientada a proteger los puquíos de Llamara y sus EME- se encuentran actualmente en evaluación ambiental, es que se propone como medida adicional en el marco de la ejecución del PdC:

- i. Aumentar la frecuencia de monitoreo de los parámetros que forman parte de la Acción N° 6, de semestral a trimestral (marzo, mayo, julio y noviembre).
- ii. Incorporar los demás parámetros de importancia limnológica que considera el Proyecto Modificación que corresponde a los siguientes: Amonio, Sílice, Sólidos suspendidos, Sólidos sedimentables. Fosfatos, Sulfato (total), Alcalinidad total, Cloruro (total), Nitrato (total), Magnesio (total). Dichos parámetros serán medidos desde marzo de 2023.

Esta medida permitirá complementar el seguimiento de los descriptores ecológicos empleados para la descripción de las variaciones temporales de los diferentes componentes bióticos, minimizando los errores estadísticos y, en definitiva, identificar de mejor manera, variaciones en el ecosistema de los puquíos.

Lo anterior, es adicional a los estudios de variables y de las características del ecosistema de los puquios que se han ejecutado en el marco del PdC, la evaluación ambiental del Proyecto Modificación, y respecto de los cuales se dará cuenta en el capítulo introductorio del Informe de Seguimiento de Biota a presentar en marzo de 2023.

### **3. Exigencia de presentar traducción de informe *“Genesis of the Gypsum Depositional system in Llamara puquios”*.**

- *“iv. El informe que dio cuenta de la primera acción del PDC, a saber, “Genesis of the Gypsum Depositional system in Llamara puquios”, debe ser remitido por el titular en español, por ser el idioma oficial”;*

La traducción requerida se incluirá en el siguiente reporte de avance (N°16) del PdC a presentar en marzo de 2023.

**POR TANTO**, se solicita a ud. en relación al PdC aprobado por Resolución Exenta N° Res. Ex. N°24/ Rol F-041-2016 y lo resuelto en la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016:

- Tener por presentada la propuesta para incorporar las exigencias establecidas en el Resuelvo III de la Res. Ex. N° 27/Rol D-027-2016 de 8 de noviembre de 2022, con objeto de asegurar el debido resguardo de la biota acuática extremofila de los puquios del Salar de Llamara durante la vigencia ampliada del PdC; y
- Presente las consideraciones expuestas en esta presentación en relación a las afirmaciones contenidas en el mismo Resuelvo III.

Sin otro particular, le saluda atentamente.



Solutions  
for human  
progress

MARIO  
GALINDO  
VILLARROEL

Firmado digitalmente  
por MARIO GALINDO  
VILLARROEL  
Fecha: 2023.02.08  
16:57:19 -03'00'

---

MARIO GALINDO VILLARROEL  
pp. SQM S.A.