



EXPEDIENTE N° : 18731/2022
MEMORANDUM N° : 36180/2022
SANTIAGO, 29/08/2022

DE : CRISTIAN CORTES CORREA
JEFE DE DIVISIÓN DIVISION DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL

A : BENJAMÍN MUHR ALTAMIRANO
FISCAL (S) FISCALÍA

MOTIVO: TRAMITAR

MAT. : MEMO ANÁLISIS CRÍTICO SQM

Junto con saludar, envío respuesta al memorandum DSC N° 802/2021

CRISTIAN CORTES CORREA
JEFE DE DIVISIÓN
DIVISION DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN
AMBIENTAL

Incl.: Documento Digital: Analisis

c.c.: Mauro Lara Huerta Funcionario Departamento de Sanción y Cumplimiento

Division de Seguimiento e Información Ambiental - Teatinos #280, Piso 8 - Teléfono: 26171800



**ANÁLISIS INFORMACIÓN ENTREGADA POR SQM SALAR S.A.
UNIDAD FISCALIZABLE "SQM SALAR ATACAMA" (N°839)**

**REPORTE TÉCNICO - EQUIPO DE GEOINFORMACIÓN
OFICINA DE INTELIGENCIA AMBIENTAL
SECCIÓN DE MEJORAMIENTO CONTINUO
DIVISIÓN DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL**

Denisse Castillo U; Harry Lizama F; Gloria Gallegos; Javiera Poblete O; Ariel Russell G

26 de agosto de 2022

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento, responde al requerimiento de análisis de antecedentes solicitado por Emanuel Ibarra, en su calidad de ex Fiscal de la Superintendencia del Medio Ambiente, mediante el Memorandum D.S.C. 802 del 5 de noviembre de 2021. Los antecedentes analizados fueron remitidos por SQM SALAR S.A. en el marco del procedimiento sancionatorio F-041-2016 y la subsecuente presentación de su Programa de Cumplimiento (PdC). Específicamente, se solicitó el análisis de los siguientes documentos relacionados a la tramitación del PdC:

- Anexo 1.01, Anexo 1: Análisis, estimación de efectos ambientales y propuesta de acciones para hacerse cargo de los efectos detectados. Cargo N°1 Resolución Exenta N°1/Rol F-041-2016. SQM Salar S.A., elaborado por ECOSS.
- Anexo 1.01, Apéndice 1.9: Informe técnico dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama, elaborado por Geobiota en septiembre de 2021.
- Anexo 1.01, Apéndice 1.10: Revisión de Liu et al. (2019) respecto de la vegetación en el Salar de Atacama, elaborado por Gestión y Economía Minera Limitada en noviembre de 2020.
- Anexo 1.01, Apéndice 1.12: Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama, elaborado por Gestión y Economía Minera Limitada en noviembre de 2020.

Adicionalmente, se incorporaron al análisis las respuestas a la Resolución Exenta N°34/Rol F-041-2016 del 19 de agosto de 2021 de la SMA que instruye "Previo a proveer, incorpórese observaciones al Programa de Cumplimiento presentado por SQM Salar S.A.", relacionados a los Anexos y Apéndices antes señalados; así como la presentación del Consejo de Pueblos Atacameños (CPA) de

fecha 21 de septiembre de 2021, así como teniendo a la vista el escrito de fecha 12 de octubre de 2021 presentado por SQM Salar S.A. que evacua traslado respecto del escrito del CPA.

Para la revisión, se evaluó la consistencia metodológica y el alcance de las conclusiones de los Apéndices 1.9, 1.10 y 1.12, con el fin realizar una evaluación detallada y transparente de las conclusiones presentadas en el Anexo 1.01.

2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE APÉNDICES

2.1. Anexo 1.01. Apéndice 1.9. Dinámica de la biota terrestre y acuática

2.1.1. Observaciones a la respuesta a la Res. Ex. N°43/ROL F-041-2016

Respecto a la respuesta por parte del titular de las solicitudes de aclaración y materiales presentados en los considerandos 68 y 70 de la mencionada resolución, relacionados al Apéndice 1.6 Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama se destaca lo siguiente:

Respuesta al considerando 68° N°4 *“Respecto de la utilización de imágenes de Niveles Digitales y su transformación a reflectancia al tope de la atmósfera, se deberá confirmar y describir la realización de correcciones atmosféricas, o justificar fundadamente la no necesidad de realizarlas.”:*

Al respecto, se puede señalar que se responde a lo solicitado, sin embargo, la respuesta no presenta argumentos suficientemente válidos. En este sentido, el titular en el Anexo 4 ítem 2.1 del apéndice 1.6 indica que no se realiza corrección atmosférica de productos Landsat nivel 1 ya que las variables necesarias para corrección atmosférica deben medirse en campo, lo cual es una imprecisión al texto citado en el documento (Chen *et al.*, 2018), que indica que además pueden obtenerse a través de otras fuentes. Tal es así que existen múltiples métodos en la bibliografía científica ampliamente utilizados para realizar correcciones atmosféricas en imágenes Landsat sin necesidad de contar con datos de campo como los siguientes:

- FLAASH (Anderson *et al.*, 2002): Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes.
- QUAC (Bernstein *et al.*, 2005): Quick Atmospheric Correction.
- LEDAPS (Schmidt *et al.*, 2013): Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System.

Este último método, LEDAPS, es el utilizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) para la corrección de imágenes Landsat 4-7, las cuales se encuentran, además, disponibles para su descarga de forma gratuita y su utilización en la nube de Google Earth Engine (GEE). Por lo tanto, lo indicado respecto a este particular no se sustenta en el estado del arte.

Para compensar la no realización de corrección atmosférica, el titular indica la realización de una normalización relativa de las imágenes. Respecto a este punto, utilizan el método de normalización radiométrica relativa de regresión lineal múltiple, sin embargo, contrario a lo que indica el autor citado por ellos (Mateu y Ruiz, 1999), el titular utiliza muestras pseudo-invariantes, mientras que los resultados expuestos en el documento científico muestran mejores resultados al utilizar muestras invariantes.

Cabe mencionar una imprecisión en el texto al mencionar que “la bondad de los ajustes es realmente buena, al identificarse coeficientes R^2 próximos a cero”. Esto debido a que los resultados muestran valores próximos a 1. De todas formas, los valores cercanos a 1 son los que expresan un mejor ajuste de los datos.

En síntesis, la respuesta insiste en una práctica insuficiente para el tratamiento de los datos sin un sustento técnico robusto. Adicionalmente, se presentan de forma posterior resultados considerando correcciones atmosféricas para el mismo set de imágenes (Sección 5.3 del Apéndice 1.6), por lo que, se demuestra una inconsistencia teórica al insistir en presentar los resultados de dos maneras diferentes. Esto genera una mayor incertidumbre sobre la calidad de los procesamientos realizados para llegar a los resultados presentados.

Respuesta considerando 68° N°5 *“Se deberá indicar la aplicación de máscaras de nubes y píxeles saturados que pueden interferir en los cálculos del NDVI, así como el tratamiento metodológico respecto del fenómeno de bandeo para las imágenes Landsat 7 que se utilizan.”:*

Al respecto, se puede señalar que responde a lo solicitado, sin embargo, la respuesta no presenta argumentos suficientemente válidos. En este sentido, el titular indica que no se aplican máscara de nubes debido a haberse asegurado de utilizar imágenes sin nubes. Solo en el caso de la imagen en nivel 2 para el año 2002, enmascararon píxeles con valores de NDVI “anómalos” y los reemplazaron por los de una imagen de marzo de 2002, pero no se indica el criterio para declarar píxeles anómalos ni la utilización de la banda de calidad de píxel que es integrada en los productos Landsat nivel 2. Respecto al bandeo de imágenes Landsat 7 de Nivel 1, justifican no rellenar los espacios vacíos debido a “que cada polígono representa unidades homogéneas del punto vegetacional, lo que implica una baja variabilidad de los píxeles que componen cada unidad” y la necesidad de rellenar con imágenes de otros meses, etc. A pesar de esta justificación, si realizan el procedimiento de corrección de bandeo para el nuevo análisis realizado con imágenes Landsat nivel 2 con la imagen más cercana (16 días de diferencia) como se realiza comúnmente (Anexo 4, ítem 2.4.1 del Apéndice analizado).

En conclusión y al igual que en el ítem anterior, la justificación de la no realización de ciertos procedimientos para el primer análisis realizado con imágenes Landsat en Nivel 1 queda en duda cuando en el análisis secundario realizado para las imágenes Landsat en Nivel 2 si se realizan, mostrando una inconsistencia teórica y práctica en el tratamiento de la información.

Respecto de las respuestas al resto de los numerales del considerando 68°: Las respuestas número 1, 2, 3, 6, 7, 8 y 9 se consideran resueltas satisfactoriamente y sin observaciones adicionales.

Respuesta considerando 70° N°2: *“Se deberá entregar la información de los polígonos de unidades vegetacionales (830 polígonos) señaladas en el Apéndice 1.6, en formato vectorial (incluir archivos: .shp, .dbf, .prj, .shx)”* y **N° 4** *En el ítem “4.3.1.1. Análisis de la superficie cubierta con vegetación según mapa” del Apéndice 1.6, utilizaron mapas de vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, elaborados en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental del Estos mapas son una representación anual a escala 1:50.000, construidos en base a una imagen satelital de alta resolución y 99 muestras de terreno, las que se complementan con 19 muestras realizadas para el análisis de la zona de conexión vegetación- acuífero o, no se muestran dentro del informe, no quedando claro cuál utilizaron en el informe, cómo se construyeron o si solo se utilizó el mapa base según la RCA N°*

226/2006. En virtud de lo indicado, se deberá presentar la información de las imágenes, métodos empleados, junto con los mapas de cambio”.

Ambas solicitudes apuntan a temas similares. Estas no se cumplen satisfactoriamente, ya que solo se entrega capa correspondiente al mapa de vegetación del año 2019 en el formato solicitado. Sin embargo, no fueron entregadas las capas correspondientes al periodo 2006-2018, por lo tanto, no fue posible validar los resultados presentados en la sección 5.1 del Apéndice 1.6 sobre superficies cubiertas con vegetación y visualizar las superficies con cambios para realizar un análisis a nivel espacial.

Respecto a las respuestas número 1, 3 y 7 del considerando 70°; estas se consideran resueltas satisfactoriamente.

2.1.2. Observaciones a la Metodología y Resultados

Adicional a la revisión de las respuestas, se realizaron las siguientes observaciones sobre la metodología y resultados presentados:

2.1.2.1. Mapeo anual de la vegetación

En la metodología se habla de la evaluación de 830 polígonos de vegetación, sin embargo, dado que cada mapa de vegetación anual se hace de forma independiente año a año, el número de polígonos puede cambiar según cambios en la vegetación. Por lo tanto, queda la duda de a qué mapa anual corresponderían los 830 polígonos evaluados y cuál sería la justificación para basar los análisis en el mapa del año al que corresponda.

Al respecto, el titular entrega dos archivos en formato vectorial con polígonos con vegetación: (1) “SQMSL641_mapa_veg_PSA2019.shp” y (2) “SQMSL641_relacion_NDVI_PP_ND.shp”. A partir de la observación de ambas capas, se concluye que fue utilizado el mapeo anual de vegetación del año 2019 para el análisis multitemporal de la vegetación realizado a través del NDVI. Respecto a esto, se considera que para observar la evolución de la vegetación debe ser en base a la línea base, por lo tanto, lo correcto hubiera sido utilizar el mapeo anual de vegetación del año 2006. Esto suponiendo que año a año las capas cambian al cambiar la cobertura de la vegetación.

Otro aspecto relevante es que en el documento de respuestas al considerando 68°, en la respuesta 1, se indica que dentro de los antecedentes levantados en los mapas de vegetación para cada año se incluyen parámetros como cobertura, vitalidad, porcentaje de copa verde y estado fenológico de la vegetación. Todos antecedentes de relevancia para la evaluación de la evolución de la vegetación en relación con cambios en el régimen hídrico. Sin embargo, en el mapa de vegetación para el año 2019 que fue presentado, solo se encuentra la información sobre cobertura de la vegetación, omitiendo los demás antecedentes. Adicionalmente, según lo indicado en la metodología, se cuenta con las categorías de cobertura Densa, Semidensa, Abierta, Muy abierta, Rala y Muy Rala, todas incluidas en la capa entregada. El análisis realizado en el Apéndice 1.6 considera todas las superficies de vegetación sin discriminar entre categorías de cobertura, lo cual podría ser un indicador importante que considerar para la evaluación de cómo el cambio en la disponibilidad hídrica afecta la cobertura de las distintas formaciones vegetales y no solo su presencia o ausencia. Lo mismo ocurre con otras variables no incluidas en las capas entregadas como se mencionó anteriormente, como por ejemplo la vitalidad, que podrían haber sido de gran utilidad para una evaluación más

detallada de la evolución de la vegetación, pero que no fueron consideradas, generando análisis generalizados sobre las coberturas.

En conclusión, existe una simplificación y agregación excesiva de la información y se omite información relevante para entender los procesos que ocurren dentro de los parches de vegetación. Adicionalmente, en base a los antecedentes que el mismo titular expone, se podría haber analizado de forma diferenciada aquellas coberturas mayormente influenciadas por el nivel freático de aquellas que predominante o completamente son dependientes de las lluvias estacionales, dando robustez al diseño metodológico. De esta forma, los análisis presentados no permiten explicar las tendencias en la vegetación de forma de aceptar o descartar efectos sobre los sistemas vegetacionales, aun teniendo los antecedentes para profundizar en ellos, no permitiendo conclusiones respecto a un efecto de la infracción sobre de la biota terrestre.

2.1.2.2. Análisis de la actividad vegetacional medida como NDVI

Respecto a los análisis presentados para evaluar la evolución de la vegetación medida como NDVI, se presentan 2 resultados aplicados con metodologías diferentes. En primer lugar, es presentado el análisis con imágenes Landsat en nivel 1 (niveles digitales) al cual no le fueron aplicadas las mejoras metodológicas señaladas por el Equipo de Geoinformación en la reunión de asistencia al cumplimiento. Adicionalmente, se presenta el mismo análisis realizado con imágenes Landsat en nivel 2 (reflectancia de la superficie) con la mayor parte de las sugerencias metodológicas aplicadas. Dado que se tienen 2 análisis paralelos que apuntan al mismo objetivo, pero con distintas metodologías y resultados, se decide considerar solo el realizado con las mejoras sugeridas por el equipo de Geoinformación (Análisis con imágenes Landsat Nivel-2), por lo que a continuación, se hará referencia solo a estas secciones del informe presentado por el titular que corresponden a las 4.3.2.2 (Metodología) y 5.3 (Resultados).

Respecto al diseño metodológico y los resultados presentados sobre la tendencia del NDVI a través de la utilización de imágenes en reflectancia de la superficie y la segmentación de polígonos por categorías de vigor, se puede mencionar que:

- Los análisis que resumen de forma global todos los valores de NDVI del borde este del salar no permiten obtener conclusiones respecto a posibles efectos sobre la vegetación por extracción de salmuera, toda vez que no permiten observar tendencias de vegetación más o menos sensible a cambios en el nivel freático y no hace distinción sobre aquellas que presentan otros factores forzantes de cambios, tales como las precipitaciones locales.
- De la aplicación de una subdivisión de los polígonos de vegetación según rango de NDVI como fue sugerido no surge ningún nuevo análisis que pueda generar valor adicional a lo antes presentado (Landsat Nivel-1). Esto dado a que igualmente se presentan promedios de varias unidades, sin consideración de su distribución espacial o valores de NDVI.
- Los análisis comparativos del NDVI (Análisis de varianza ANOVA) fueron realizados considerando los periodos 3 y 4 por separado. De esta forma no fue considerada la solicitud realizada durante el proceso de asistencia de considerar ambos periodos como uno solo, evitando análisis estadísticos sobre un número de datos insuficiente.
- A modo general, el diseño metodológico no expone con claridad la evolución de la vegetación dependiente de las condiciones del acuífero con el fin de contar con información

que permita aceptar o rechazar los efectos ambientales asociados a la sobre extracción de salmuera entre el periodo 2013-2015, a pesar de que los insumos cartográficos disponibles en el estudio permiten hacer un análisis detallado a nivel de cada unidad de vegetación asociada a la COT.

- No obstante, lo anterior, y solo en base a los antecedentes presentados, se desprende que posterior al año 2013, los tipos vegetacionales que mostraron disminuciones en su superficie corresponden a aquellos conectados al acuífero como son la Pradera de Junquillo-Totora-Suncho y Pradera de Grama Salada. Es por esto, que parece importante realizar un análisis con mayor detalle sobre aquellas coberturas sensibles a los cambios en el nivel freático, evitando la interferencia del comportamiento de aquellas superficies influenciadas por otros factores como la precipitación, considerando además su distribución espacial.

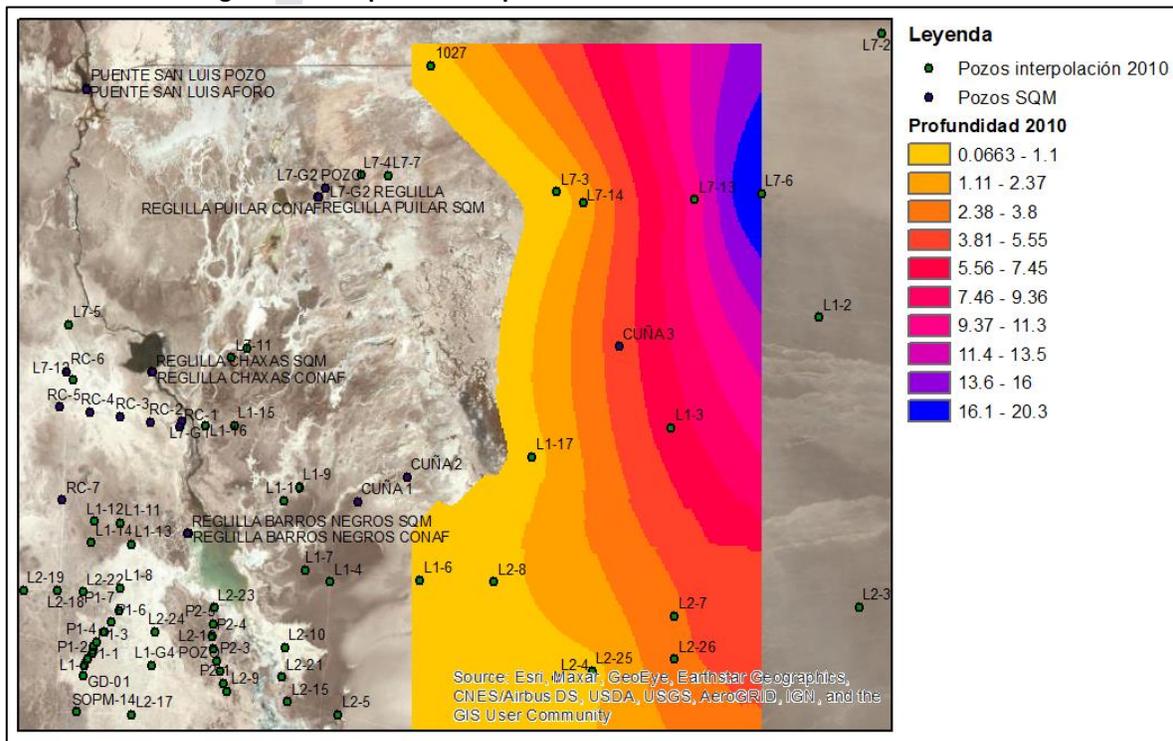
De esta forma, se puede mencionar que los antecedentes presentados en el análisis de tendencias de la vegetación medida como NDVI no permiten evaluar de forma clara la evolución de la vegetación influenciada por el nivel freático que permita llegar a conclusiones consistentes, dado principalmente al diseño metodológico y excesiva generalización de los resultados.

Por otra parte, y respecto al análisis realizado en la sección 5.3.3 sobre relación del NDVI con la profundidad de la napa, se destaca lo siguiente:

Con la información entregada por el titular, no fue posible identificar el campo que referencia las distintas unidades vegetacionales dentro del archivo *shape* con valores de NDVI por polígono (SQMSL641_relacion_NDVI_PP_SR.shp), dado que el campo ID contenido en este, no coincide con la ubicación de los pozos cercanos mencionados para los polígonos, por lo que no se pudo verificar espacialmente los resultados presentados.

Respecto al ráster de interpolación de profundidad de los niveles freáticos, cabe destacar que según se describe en el anexo 1 del Apéndice 1.6, se consideró la información de 178 pozos, eliminando 12 pozos por presentar valores negativos, siendo información igual de real e importante como aquellos donde no existen estos valores debido a la surgencia de agua. Adicionalmente, la SMA cuenta con información de 230 pozos en la zona a cargo de SQM, no estando justificada la no utilización del 100% de la información disponible. Por otra parte, en el documento (Anexo 1), se menciona que es eliminada una zona del ráster de interpolación al sur del área de estudio por baja confiabilidad, sin embargo, no se justifica en base a qué criterios se define esto. Al mismo tiempo, es posible observar la eliminación de una zona al oeste del área de estudio que carece completamente de justificación en los documentos presentados (Figura 11).

Figura 11. Interpolación de profundidad de niveles freáticos año 2010.



Fuente: elaborado en base a información espacial entregada por el titular en respuesta a Resolución Exenta N°34/Rol F-041-2016 del 19 de agosto de 2021.

Respecto a los resultados sobre correlación de la vegetación con profundidad de la napa para el periodo 2013-2019 (sección 5.3.3.3) se puede destacar que el titular reconoce que un 12.9% (775.54) de la superficie con vegetación presenta correlaciones significativas entre la vegetación y la profundidad de la napa. Cabe destacar que estas corresponden a vegetación hidrófila y conectada al acuífero como son la Pradera de Junquillo-Totora-Suncho, Pradera de Grama Salada y Matorral de Brea. Adicionalmente se menciona que, la mayor parte de estos parches de vegetación correlacionados con la napa, se clasifican como “sin sentido biológico” por presentar un aumento del NDVI a medida que aumenta la profundidad de acuífero. Se concluye que esto podría estar, por lo tanto, relacionado a factores externos, sin embargo, cabe cuestionar el hecho que la disminución del acuífero en zonas con surgencia de agua, al bajar el nivel de agua, esta podría ser reemplazada por vegetación, generando el efecto inverso en los valores de NDVI. Por lo tanto, podría ser un indicador valido de cambio que es importante evaluar para los efectos que busca el presente informe. Por otra parte, no se especifica cuantos de estos polígonos evaluados y con correlación corresponden a pérdidas o ganancias de vegetación. No obteniendo resultados útiles para las conclusiones necesarias de este informe.

En síntesis, se puede señalar que el análisis carece de sentido espacial en su diseño y no permite evaluar los objetos de interés de forma clara y consistente. De esta forma, no permite llegar a conclusiones sobre la evolución de la vegetación conectada al acuífero y evaluar las causas de sus cambios.

De forma complementaria, fue revisado el documento “**Dinámica de la vegetación del Borde Este del Salar de Atacama en el periodo 1998 – 2019 Región de Antofagasta**” entregado como respuesta a las observaciones realizadas por el Consejo de Pueblos Atacameños. Respecto al documento, se puede mencionar que este aplica las mismas metodologías que los otros documentos presentados y analizados anteriormente, con la salvedad de que este analiza las tendencias respecto al periodo completo (1998-2019). Dentro de las principales conclusiones se encuentran que el porcentaje de vegetación que presenta cambios hacia una disminución del NDVI correspondería solo al 1.1% de la superficie cubierta por vegetación y que la fracción de esta a la que se le aplicó análisis de correlación respecto a los datos de profundidad de la napa muestra que no existe correlación estadísticamente significativa, concluyendo así que *“el nivel freático no explicaría los cambios observados en la vegetación”*. Respecto a estos resultados, se puede mencionar que:

- El 1.1% de la superficie con vegetación corresponden a 186.75 ha, de las cuales 113.76 ha (60% del total) corresponderían a vegetación hidromorfa, por lo tanto, conectada al acuífero.
- Se perdieron más hectáreas de “Pradera-Junquillo-Suncho” de las que se ganaron en el periodo estudiado.
- El hecho de que la vegetación que presenta una disminución del NDVI sea un bajo porcentaje de la cobertura total no quita importancia al hecho, dado que la vegetación hidrófila y de mayor vigorosidad correspondería a vegetación de tipo azonal.
- No se presentan indicadores de correlación para el análisis de correlaciones.

En conclusión, al igual que lo mencionado anteriormente, el documento concluye en base a análisis generalizados y sin consideración espacial o interpretación más profunda de los resultados obtenidos según tipos de vegetación, entre otras cosas. Adicionalmente, presentan conclusiones diferentes entre documentos, teniendo por ejemplo correlaciones entre vegetación y profundidad de la napa en el análisis por periodo y no al analizar el periodo completo.

2.1.2.3. Análisis del uso de métodos estadísticos en el análisis de sistemas vegetacionales

Con respecto al análisis estadístico, este informe presenta dos tipos de análisis, por un lado, un análisis de tendencia para los periodos determinados y un análisis de comparación de entre periodos. Los métodos estadísticos ocupados para cada caso son la regresión lineal y el ANOVA¹, respetivamente.

Como comentario general a los análisis, estos no presentan los resultados con la evaluación de los supuestos de normalidad ni varianza entre grupos. Estos análisis son relevantes cuando los grupos son pequeños y de esta manera determinar si es necesario ocupar otro tipo de pruebas (McDonald, 2014). En el caso que los datos no distribuyan normal o no cumplan con la homocedasticidad entre grupos sería recomendable usar una prueba no paramétrica.

¹ Análisis de varianza.

En conclusión, la información presentada no permite acreditar que los métodos estadísticos utilizados sean suficientes para comprobar los resultados propuestos en este informe.

2.1.2.4. Análisis asociado a los antecedentes presentados respecto de Flora, Fauna, y Biota Acuática. Énfasis en el análisis estadístico presentado

En el análisis de Flora, Fauna y Biota Acuática también se presentan análisis de tendencia por medio de análisis de regresión y correlaciones, y además tests de ANOVA para comparar el periodo en cuestión (2013-2015), considerando análisis de regresión cuando hay insuficientes datos.

Respecto de los resultados presentados para el análisis de la Flora, y los eventuales efectos sobre esta, producto de la sobre extracción de salmuera realizada entre los años 2013-2015, cabe señalar que:

1. Análisis de tendencia de la flora:

A grandes rasgos, se releva el hecho de que, si bien es probable que, dados los datos, no exista una diferencia significativa entre los periodos analizados, si es posible observar, para el periodo 3 (años 2013 – 2015) una tendencia negativa tanto en la riqueza de especies (pendiente $-0,64$), como así también respecto de la abundancia (pendiente $-0,71$). Lo anterior se hace evidente (de forma visual al menos), al analizar la figura 5-70 “Riqueza y abundancia de la flora del borde este del Salar de atacama, por periodo analizado”. Por otro lado, en el periodo 4 en la abundancia se obtiene una pendiente de $2-2,06$ lo cual puede indicar que existe una tendencia positiva. Este último resultado no es identificado por el test asociado al análisis de regresión.

Para este caso, cabe señalar que hubiese sido necesario hacer análisis que sean adecuados a la cantidad de datos con los cuales se cuenta, por lo cual, se considera que la información entregada no es suficiente para determinar si hay o no un efecto producido por la sobreextracción sobre la flora/vegetación del área. Además, considerando la naturaleza de los datos, se sugiere que para futuros análisis la información sea analizada de forma integral, incorporando los análisis de datos abióticos, así como también los datos de otras especies. Finalmente, cabe señalar que dado la escasez de información con la que se cuenta para el área en cuestión, también se puedan realizar análisis de conglomerados.

2. Análisis de cambios en la riqueza de flora:

Se señala que “Los antecedentes expuestos indican que el promedio por transecto de la riqueza de flora varía entre 5,2 y 5,9 taxa por periodo analizado, lo que indica estabilidad en la riqueza de especies en el tiempo”, sobre esto, cabe señalar que no se puede indicar que la riqueza de especies se ha mantenido estable, haciendo referencia únicamente al número de taxa identificados en los distintos periodos; ya que resulta necesario analizar la composición de especies y, además, vincularlo con los valores de abundancia de cada especie identificada, ya que una modificación en el ambiente puede conllevar a una modificación en la estructura comunitaria, que no será perceptible al analizar únicamente la riqueza de especies.

Además, sobre este punto, cabe señalar que la figura 5-72, se presentan los resultados de manera distinta a lo descrito en la metodología, donde, por ejemplo, el periodo 1 promedia los valores de los años 2006, 2007, y 2008, luego, el periodo 2 abarca los años desde el 2008, al

2013, el periodo 3 se muestra incluyendo los años desde el 2013 al 2016, y finalmente el periodo 4 se presenta abarcando los años desde el 2016, al 2019.

3. Análisis de cambios en la abundancia de la flora:

Los análisis realizados por la empresa respecto de la abundancia de especies, se presentan como conjunto de taxa, lo que no resulta adecuado, ya que para que sea un indicador real del estado de la comunidad que eventualmente pudo verse afectada por la sobre-extracción de salmuera ocurrida entre los años 2013 y 2015, debe ser realizada para cada uno de los taxa identificados, ya que la modificación de las condiciones abióticas puede tener un efecto directo sobre el comportamiento de ciertas especies, generando una modificación en la dinámica comunitaria (cambios en la diversidad de especies, en la dominancia, etc.).

4. Análisis de cambios en la riqueza y abundancia de la fauna:

En el sector de Aguas de Quelana, se observa que las aves acuáticas presentan una tendencia a la disminución en la riqueza a partir del periodo 3. En este caso el test de ANOVA identifica las diferencias y el test de Scheffé indica que la diferencia radica entre el periodo 2 y 4. En el caso de la abundancia del Flamenco chileno se observa un baja en las tendencias, pero el test de ANOVA no identifica estas diferencias. Por último, en la categoría abundancia de otras aves se observa una clara tendencia a la baja en todos los periodos, el test de ANOVA identifica la diferencia, pero el test de Scheffé no identifica diferencia entre periodos de a pares. Respecto de lo anterior, la utilización de análisis con métodos no paramétricos permitirían evaluar lo que está pasando en la fauna acuática de ese sector.

En el sector de Peine, se observa una disminución en la abundancia de la Parina Chica, fenómeno que es identificado por el test de ANOVA y según el test de Scheffé la diferencia radica entre los periodos 1 con el 4 y 2 con el 4.

Cabe señalar que según lo indicado por el trabajo de Teillier y Becerra (2003), en un ambiente de salar son importante tanto las especies que componen las formaciones vegetacionales, como así también las formas de vida de estas, y a la vez, rescatan la relevancia de conocer los conglomerados de especies, lo que para el caso bajo análisis es algo que se ha señalado en los párrafos precedentes.

En síntesis, los resultados presentados no son suficientes para rechazar la hipótesis de igualdad de medias entre periodos, ni tampoco para señalar lo contrario, y por ende la conclusión *“Tanto para la riqueza y la abundancia de la flora, no se identificaron diferencias significativas entre los cuatro periodos analizados, por lo tanto, los años asociados al Periodo 3, correspondientes al periodo cuestionado donde se evidenció una sobre-extracción de salmuera, presentaron el mismo comportamiento histórico registrado en el periodo previo a la operación de la RCA Nº 226/2006 (Periodo 1) y en los periodos operacionales de ésta (Periodo 2 y Periodo 4)”*, no puede ser rechazada dados los antecedentes presentados.

2.2. Anexo 1.01. Apéndice 1.10. Revisión de Liu et al. (2019) respecto de la vegetación en el Salar de Atacama, elaborado por Gestión y Economía Minera Limitada.

El estudio *“Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile”* realizado por Wenjuan Liu, Datu B. Agusdinata, Soe W. Myint (en adelante, *“Liu et al., 2019”*), planteó dos objetivos, por un lado, evaluar las áreas que han experimentado

degradación ambiental en los últimos 20 años (1997–2017), en términos de uso de la tierra minera, cobertura vegetal y microclima, y por el otro, revisar la relación entre la industria del litio en expansión y los patrones dinámicos de degradación ambiental en esta área. Para esto, utilizaron imágenes de la serie Landsat, entre ellas imágenes Landsat 5, 7 y 8, para generar los índices NDVI, LST-Daytime y SMI. También, trabajaron con imágenes MODIS y obtuvieron evapotranspiración y LST-Nighttime. Teniendo entre los resultados, en primer lugar, que la minería del litio se ha expandido a una tasa anual de 7,07%. Sobre las tendencias de series temporales basado en píxeles para cada pila de imágenes, se obtuvo (1) disminución en la vegetación, (2) aumento de las temperaturas diurnas, (3) tendencia decreciente de la humedad del suelo, y (4) aumento de la condición de sequía en las áreas de reserva nacional. Sin embargo, no se observó una degradación sustancial en LST y ET nocturnos en el área de estudio. Además, el análisis de relación entre las actividades mineras y la degradación ambiental indicaron que la continua expansión de la minería del litio tiene una fuerte correlación negativa con los índices NDVI y SMI, y una correlación positiva con LST. Estos resultados les hacen identificar a la minería del litio como uno de los principales factores de estrés para la degradación ambiental local. A su vez, mencionan que el estudio plantea ser una línea base para futuros impactos, discuten también el impacto del turismo y expansión urbana, sin incluirlos en el estudio, pero mencionando su importancia.

Por otro lado, el titular, por medio de Gestión y Economía Minera Ltda. (en adelante, “GEM”) realiza un informe técnico mediante el cual se analiza el estudio realizado por Liu *et al.* (2019), señalando 10 puntos críticos de este, los cuales serán analizados a continuación, a partir del análisis conjunto del informe técnico de GEM y el estudio de Liu *et al.* (2019). El análisis crítico de GEM se basa en la revisión de referencias bibliográficas, evaluando la validez de la implementación metodológica y de las correlaciones obtenidas. A continuación, se detallan los puntos:

- GEM en el punto 2 señala que, la aplicación del NDVI por Liu *et al.* (2019) no se encuentra correctamente implementada por los autores para estimar áreas cubierta por la vegetación, ya que, no consideran un umbral, el cambio de tecnología (uso de Landsat 5, 7 y 8), ni hacen un estudio diferenciado para la parte interior y exterior del núcleo. Respecto al umbral, Liu *et al.*, señalan, los valores de NDVI van de -1 a 1, siendo valores positivos asociados a vegetación, que van desde vegetación dispersa a densa. Lo que realizan Liu *et al.* es detectar solo cambios en el NDVI. No solo analizan vegetación, porque también ven los cambios en suelos desprovistos de vegetación para evaluar posibles impactos de la minería. Como cambios de suelo yermo a estanques de minería. GEM señala para estimar el área ocupada por vegetación a través del índice NDVI aplicado, Liu *et al.* (2019) consideran que cualquier valor sobre cero será definido como vegetación, lo cual no es correcto, porque tal como GEM también señala después, Liu *et al.* 2019, no consideran un umbral y evalúan cambios en el NDVI. Liu *et al.* 2019 presenta los resultados de cambios en NDVI, haciendo también la distinción de otras coberturas, como es el caso de los cambios en el sector de la reserva Los Flamencos, donde se encuentran las superficies lagunares. Por otro lado, es correcta la observación de que el estudio no presenta una aclaración o metodología para el uso de imágenes Landsat 5-7 con Landsat 8, que representan diferentes resoluciones espectrales. GEM señala como punto de comparación el informe técnico realizado para SQM, sin embargo, este también presenta fallas en su presentación, las cuales fueron presentadas en la sección 2.3 en relación con el Apéndice 1.12. de Análisis de evolución de áreas lagunares.

- En el punto 3, GEM señala que, SRGIS Ltda. (2020; consultora especializada en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica)² obtiene como resultado que durante el período 1986-2020 habría existido de hecho un aumento generalizado del índice en el borde este del salar. Este punto es contrarrestado con las observaciones realizadas a en la sección 2.3 en relación con el Apéndice 1.12. de Análisis de evolución áreas lagunares y los resultados.
- Los puntos 4 y 5, se refieren a la relación entre la extracción de salmuera y los cambios en vegetación en el salar, GEM señala que hubo varias variables potencialmente explicativas que no fueron incorporadas, entre ellas, radiación solar, temperatura, luz y sombra, evapotranspiración, precipitaciones, humedad de suelo, nutrientes, CO₂, velocidad del viento, variables biológicas, otras actividades. Al respecto, de las variables señaladas no existen datos, en su mayoría, para todo el período de análisis o área de evaluación, por lo que no se podrían incluir y su inclusión, de forma no adecuada, podría generar más un error que una mejoría. GEM, por su parte, realiza un análisis de la inclusión de estas variables, señalando que analiza su significancia, la cual no es señalada en el texto, es decir, no explicitan la metodología utilizada ni cómo llegan a sus resultados. GEM tiene como resultado que la mayoría de las variables no debiesen generar cambios apreciables en el nivel asociado al área de la vegetación, por lo que no se entiende bien esta crítica al documento, encontrándose insatisfactorio su desarrollo y justificación.
- En el punto 6, señalan el impacto sobre las superficies lagunares, utilizando de respaldo el informe técnico (Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama, elaborado por GEM en 2020). Este se encuentra evaluado en la sección 2.3 en relación con el Apéndice 1.12. de Análisis de evolución áreas lagunares.
- Por último, el Salar de Atacama es un ecosistema complejo, dada sus características naturales, como por los factores que interactúan con este, tanto naturales como antrópicos. Liu et al. son claros en sus conclusiones al decir que su estudio puede servir de referencia para una línea base y que no fueron evaluados factores como aumento de asentamientos humanos y turismo, que también pudiesen ser evaluados. Por esta razón, no se toma el punto 7, donde se sugiere que, el área aledaña de la explotación minera no debería presentar cambios apreciables en la evolución del área de la vegetación.

En base a lo anterior y bajo la argumentación presentada por SQM a través del informe realizado por GEM, **se concluye** que las críticas señaladas no permiten invalidar las conclusiones ni los resultados presentados por Liu *et al.* (2019), toda vez que éstas no dicen relación con los objetivos descritos y analizados por Liu *et al.* o donde las críticas presentadas luego son descartadas por GEM en el mismo documento. Únicamente, es posible identificar un vacío metodológico del tratamiento de los datos de sensores diferentes como los de la serie Landsat y MODIS, sin embargo, no se indica en Liu *et al.* (2019) que estos hayan sido utilizados de manera combinada de forma explícita, derivando en una ambigüedad metodológica pero no necesariamente en un uso inadecuado de los datos.

² SRGIS. 2020. Índices espectrales de vegetación, humedad y temperatura en el Salar de Atacama evolución temporal de variables espectrales desde el año 1986 al 2020.

Finalmente, es necesario destacar que las publicaciones científicas pasan por una evaluación por pares que permiten subsanar dudas metodológicas de forma previa a su publicación, derivando incluso, en el rechazo de una publicación, en caso de no ser subsanadas de forma adecuada y transparente. Además, la revista que aloja el artículo (*International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*) corresponde a una revista de alto nivel de impacto (IF de 7,672 en el año 2021) y de citas (JCI de 1,5 en el año 2021), siendo de los más altos en el ámbito de *journals* relacionados a percepción remota y geoinformación en general, razón por la cual no es un artículo que pueda ser invalidado solo por no ser explícito en asuntos básicos de procesamiento de datos, los que muchas veces no son mencionados dada la naturaleza resumida de una publicación científica. De todas maneras, si es necesario tener en cuenta que la publicación en cuestión no tiene por objetivo determinar la responsabilidad de una determinada unidad fiscalizable en los cambios identificados de estrés de los recursos territoriales del salar de atacama y es explícita en señalar la necesidad de contar con mayor cantidad de antecedentes y aislamiento de variables, razón por la cual se debe entender como un insumo referencial y no concluyente en el contexto del procedimiento sancionatorio.

2.3. Anexo 1.01. Apéndice 1.12. Análisis de la evolución de las áreas lagunares

2.3.1. Observaciones y respuestas (Res. Ex. N°34/ROL F-041-2016)

En el considerando 69° de la Res. Ex. N° 34/Rol F-041-2016 se exponen 10 observaciones generadas respecto al informe de superficies lagunares elaborado por Gestión y Economía Minera Ltda. (GEM) en noviembre de 2020 para SQM. Sobre lo anterior, el titular envía dos documentos titulados “RESPUESTAS A OBSERVACIONES DE LA SMA EFECTUADAS A “APÉNDICE 1.9 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA” (en adelante, “Respuestas”) y “ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS ÁREAS LAGUNARES EN EL SALAR DE ATACAMA” (en adelante, “Informe Técnico”), ambos de fecha del 29 de septiembre 2021. El primero, corresponde a las respuestas sobre las 10 observaciones y, el segundo, al análisis que integra estas respuestas.

Las observaciones N° 1, 2, 3, 4 y 5 del considerando 69° de la Res. Ex. N° 34/Rol F-041-2016, que se centran en la aclaración y desarrollo de la metodología expuesta y las diferencias entre los textos enviados, entre otras materias, se encuentran subsanadas.

Con respecto a las observaciones N° 6, 8 y 9, referidas a los umbrales utilizados, comparación de imágenes provenientes del satélite Landsat 7 y 8, y determinación de superficies lagunares se plantean los siguientes cuestionamientos: respecto a la diferencia entre los umbrales utilizados para Landsat 7 y 8, la empresa responde que incluye un análisis de sensibilidad en el Anexo III del Informe Técnico, sin embargo, la metodología de este no es señalada, por lo que no llegan a entenderse los resultados mostrados en tablas, sin exponer igualmente el diseño de estudio tras de este. Además, en el Informe Técnico, se menciona lo siguiente: La necesidad de considerar distintos umbrales ante un cambio de Landsat, sustentando este argumento con el estudio de Sheng *et al.* (2016).

El estudio de Sheng *et al.* (2016) concluye la necesidad de utilizar un umbral distintivo por lago, en el contexto de que es un estudio que evalúa la detección automática de lagos a nivel Oceanía, mencionando la diferencia en la naturaleza de los diferentes cuerpos de agua. Este estudio tuvo por objetivo generar y probar una nueva estrategia de mapeo y composición para producir mapas de

lagos representativos circa-2015, abordando temas de estacionalidad y diversidad, teniendo un gran número de lagos áridos. Todo esto a través del uso de Landsat 8. Sheng *et al.* (2016) compara el mapa circa-2015 generado con Landsat 8, con el mapa circa-2000 generado con Landsat 7, haciendo necesario destacar que el estudio no corresponde a un análisis de cuerpos de agua en una serie de tiempo utilizando ambos satélites para esto. Al respecto, el estudio usa el mapa circa-2000 como referencia, el cual utiliza más de 500 imágenes, y es utilizado solo para ver el umbral inicial de NDWI.

Consecuentemente, son distintos los objetivos del estudio de Sheng *et al.* (2016). con los del informe técnico. Se concluye que la justificación en el uso de diferentes satélites para el período no corresponde. Considerando la diferencia de los satélites y el período de estudio analizado, este debió utilizar una serie Landsat 5 – Landsat 7, de características espectrales similares, o utilizar algún método que permita equiparar los diferentes sensores de la serie Landsat, lo que no se realiza, para que así las superficies evaluadas sean comparables entre sí.

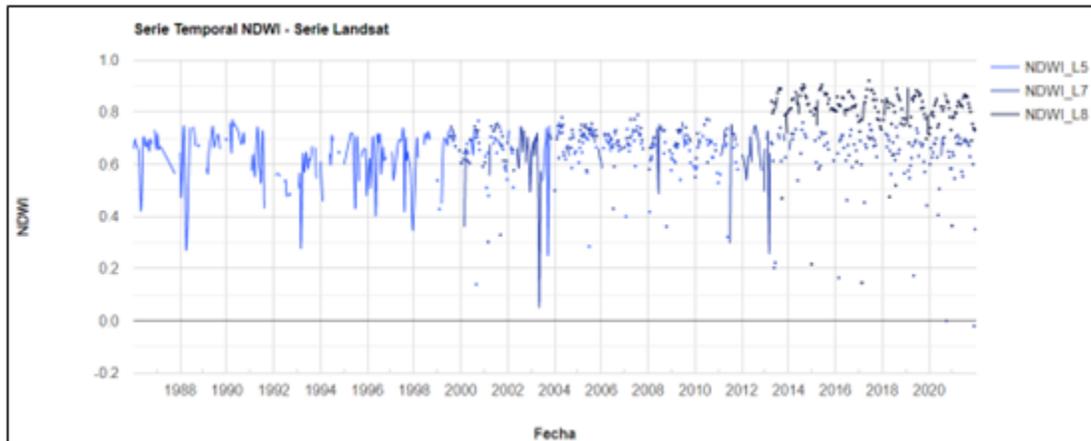
Para evaluar el comportamiento del índice NDWI a través del uso de los satélites Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, el equipo de la SMA realizó series temporales de todas las imágenes disponibles entre enero de 1986 a diciembre 2021, para la zona de la Laguna Barros Negros. Sobre esta, se pusieron 3 puntos al azar (Figura 16). Se utilizaron colecciones de imágenes *Surface Reflectance*, es decir, corregidas a reflectancia superficial, en específico se trabajó con las imágenes SR Colección 1 Tier 1. Sobre las colecciones de imágenes por satélite se aplicaron máscaras de nubes y valores saturadas, calculando el índice NDWI de la misma forma que está expuesto en el documento técnico presentado por SQM, es decir, se utilizó el NDWI propuesto por McFeeters (1996), que utiliza la banda verde y la banda de infrarrojo cercano (NIR). En la Figura 17 se muestra la serie temporal para los tres sensores comparados, mostrando la media del índice NDWI sobre los tres puntos seleccionados al azar. Se observa que existe una diferencia entre los valores de NDWI al utilizar Landsat 8 en comparación a Landsat 5 y 7 que presentan comportamientos similares. Este análisis es una evaluación simple que ejemplifica la diferencia entre los valores de NDWI de los satélites utilizados por GEM para analizar el comportamiento de las superficies lagunares, donde se ve un claro aumento del valor de NDWI al utilizar Landsat 8.

Figura 1. Puntos aleatorios para el análisis del efecto de uso de imágenes Landsat 5, 7 y 8 en el índice NDWI.



Fuente: Elaboración propia, en base a imagen base de Google Earth Engine.

Figura 2. Serie temporal de NDWI en puntos aleatorios considerando satélites Landsat 5, 7 y 8.



Fuente: Elaboración propia.

Debido a lo anterior y sumado a la inexistencia metodológica en el informe sobre la prueba de sensibilidad, es que los resultados presentados no permiten dar con el objetivo relativo a evaluar el cambio en las superficies lagunares por esta razón, se sugiere considerar este anexo como insuficiente para sustentar las conclusiones que dependen del análisis de series temporales de espejos de agua.

2.3.2. Otros análisis sobre superficies lagunares

2.3.2.1. Análisis estadísticos

Con respecto a los análisis estadísticos del informe técnico realizado por GEM, se encuentran algunas ausencias metodológicas, las cuales se detallan a continuación:

- En el análisis de regresión no se definen los modelos y variables asociadas. Falta definir las hipótesis para poder testear. No se considera el p-value (Gibbens y Prat, 1975; Dodge, 2018) para contrastar la hipótesis nula.
- En el análisis de regresión multivariante no se explica el motivo de transformación de variables ni de omisión de estas. Falta un análisis exploratorio de las variables.

En conclusión, de acuerdo con los antecedentes presentados no es posible comprobar los resultados del informe.

2.3.2.2. Análisis de la Dirección General de Aguas (OF. ORD. N° 60 de 2022).

Como se ha mencionado a través del presente informe, los estudios sobre la evolución de la vegetación y superficies lagunares no cuentan con un diseño metodológico que permita obtener resultados trazables, guiados por una correcta evaluación de hipótesis y conclusiones claras acerca de la relación de los objetos de interés con la profundidad del nivel freático. De esta forma, no es posible concluir a través de ellas que las tendencias mostradas en vegetación y superficies lagunares estén o no relacionadas al hecho infraccional.

Por otra parte, la Dirección General de Aguas (DGA) a través del Oficio ORD. N°60 de fecha 12 de julio de 2022, se pronuncia sobre la consulta realizada por esta Superintendencia respecto al estudio hidrogeológico presentado por el titular. En este concluye que: “considerando la extensión, magnitud y duración descritas es opinión de este Servicio que los impactos asociados a la sobre extracción de salmuera en el periodo señalado no serían significativos considerando que la magnitud de los descensos fluctúa entre 1-2 cm en la zona este y las fluctuaciones naturales en la zona son del orden de 15 cm, además el modelo refleja que las tendencias generales de los descensos se mantienen y no se acrecientan por la sobre extracción”. Así mismo, la División de Fiscalización de la SMA a través del Memo DFZ N°40/2022, indica que “la superación de los umbrales de fase II del plan de contingencia del sistema Soncor ocurridas en los meses de mayo de 2018, en agosto de 2020 y en abril de 2021, en los indicadores de estado L1-5 y L1-G4, correspondería a un efecto de origen natural, en una proporción relevante”.

Por lo tanto, en base a estos antecedentes y pese a los cuestionamientos realizados sobre la metodología y resultados presentados por el titular sobre los componentes de vegetación y agua en el Salar, se entiende que existe una dependencia directa de estos componentes a las condiciones hidrogeológicas del sistema. Por lo tanto, dado que se logra acreditar que los efectos sobre el sistema hidrogeológico producidos por la infracción son poco significativos, y que estos se encuentran bajo las fluctuaciones naturales en el sector este, no existiría fuente causal de eventuales efectos asociados a los objetos de protección relacionados al hecho infraccional.

2.4. Observaciones realizadas por el Consejo de Pueblos Atacameños

Sobre las observaciones realizadas por el Consejo de Pueblos Atacameños, en base a su análisis estadístico, se considera correcto el punto señalado por este informe, se coincide en que falta un análisis del error de tipo II en el método estadístico realizado. No obstante, según nuestro criterio el punto de fondo es que no se muestran los supuestos de los modelos de análisis de regresión ni de ANOVA para comprobar los resultados. Por otro lado, se considera correcto que la interpretación de las hipótesis deben ser que “no se rechaza” la hipótesis en vez de “aprobar”. Este análisis es complementado en las secciones 2.1.2.4 y 2.3.2.1. del presente informe realizado por el equipo de Geoinformación de la SMA.

3. CONCLUSIONES

En relación con las conclusiones presentadas en el Anexo N°1.01, que se construyen en base a los resultados presentados en los Apéndices 1.6, 1.10 y 1.12 se puede indicar que, si bien el documento entrega una visión sobre las dinámicas de funcionamiento y evolución de los distintos subsistemas o componentes ambientales en cuestión, los distintos informes que se presentan como soporte de la misma, adolecen de ausencias importantes en cuanto a la trazabilidad de las metodologías y los supuestos que sustentan el diseño de evaluación de las hipótesis.

Respecto a los métodos y resultados presentados sobre la evaluación de los componentes agua y vegetación analizados en base a imágenes satelitales se puede indicar que:

- En relación con la dinámica de los sistemas vegetacionales (Apéndice 1.6) se puede señalar que las respuestas a la Res. Ex. N°34/ROL F-041-2016, en general, se consideraron satisfechas, sin embargo, en caso de los números 4 y 5 del considerando 68° los argumentos presentados no dicen relación con el estado del arte, ni el correcto procesamiento de la información. En el caso de los números 2 y 4 del considerando 70° la solicitud de información no se cumplió de forma satisfactoria dado que solo se aportó información parcial, perdiendo trazabilidad. Por otra parte, resulta inconsistente argumentar por la no realización de procesamientos solicitados respecto a los primeros resultados presentados con imágenes Landsat en Nivel-1, mientras todos estos si son aplicados en el nuevo análisis presentado con imágenes Landsat Nivel-2.
- Respecto a la presentación de dos resultados en paralelo para el caso del análisis de vegetación a través del NDVI, cabe mencionar que esto solo aumenta el volumen de información, sin ninguna conclusión sobre la relación entre ambos resultados. Además, significa la presentación y consecuente consideración y evaluación de dos metodologías y resultados en paralelo que no son consistentes entre sí. A modo general, la falta de síntesis de la información y forma de presentar los resultados no permiten seguir el hilo de una hipótesis clara, de sus resultados y conclusiones.
- Sobre los resultados expuestos en relación a los sistemas vegetacionales (Apéndice 1.6) se puede indicar que, en general, el diseño metodológico no tuvo por objeto aislar las variables que inciden en la variación del vigor y/o cobertura de la vegetación, a través de segmentar la vegetación condicionada al nivel freático de la que no, impidiendo explicar las tendencias obtenidas y por ende descartar efectos asociados a los hechos infraccionales, a pesar de que se destaca la existencia de información que hubiese permitido dicho análisis. Adicionalmente, se destaca que el diseño de análisis presenta exceso de agregación espacial, lo que generaliza en exceso los resultados. Pese a lo anterior, se puede señalar la existencia de descensos en los valores de NDVI en la vegetación conectada al acuífero. Finalmente, sobre la base de los datos y lo expuesto en el punto 2.1.2 del presente informe, es posible señalar que existiría potencialmente un efecto sobre la vegetación hidromorfa, reflejados en descensos en el NDVI y pérdidas de área.
- En relación con la interpolación de la profundidad de los niveles freáticos, se observa un tratamiento arbitrario de descarte de información de pozos y áreas del ráster de profundidad, lo que no permite trazar criterios claros sobre el uso de la información.

Respecto de los análisis realizados sobre Flora (Riqueza y Abundancia), Fauna Silvestre, y Biota acuática, cabe señalar que los datos entregados, y el análisis en base a los métodos estadísticos realizado no es suficiente para determinar si existe o no alguna afectación producto de la sobre extracción ocurrida entre los años 2013 y 2015.

En relación con el informe del Consejo de Pueblos Atacameños se considera correcto de que falta un análisis del error de tipo II en los test estadísticos, pero este hecho por lo general no se revisa en las investigaciones científicas. También se considera correcto que la interpretación de los resultados debe ser que “no se rechaza” la hipótesis de igual en vez de “aprobar”.

En relación con el análisis del paper “*Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile*” (Liu *et al.*, 2019) presentado en el Apéndice 1.10 del Anexo 1, es posible concluir que dicho análisis realizado por GEM no permite desestimar lo descrito en la publicación científica y, a juicio de los autores del presente documento, se debe considerar como referencial para el estudio del Salar de Atacama. Teniendo en cuenta que sus objetivos y alcances no corresponden a las especificidades del procedimiento sancionatorio en términos de responsabilidad y causalidad.

En relación con el análisis de evolución de las áreas lagunares se puede señalar que:

- Las respuestas a la Res. Ex. N°34/ROL F-041-2016, en general, se consideraron satisfechas, sin embargo, en caso de los números 6, 8 y 9 del considerando 69° relacionados al uso de umbrales diferenciados para el índice NDWI y la utilización de sensores montados en satélites que no comparten características radiométricas equivalentes, se considera que la justificación no se ajusta al caso de estudio propuesto Sheng *et al.* (2016), sacando de contexto el objetivo y los alcances de dicha publicación. Además, omite la existencia de información satelital consistente entre 1985 y la actualidad (en base a los satélites Landsat 5 y Landsat 7) en el área de estudio.
- Un elemento de juicio clave en las conclusiones de este apéndice y que sustentan las conclusiones del Anexo 1 tiene que ver con el análisis de estimación de superficies de espejos de agua en el tiempo, análisis que presenta decisiones metodológicas de carácter arbitrario y poco frecuentes, como el uso de umbrales diferenciados para la extracción de la superficie de espejos de agua a través del índice NDWI, elemento que no permite tomar por válidos los resultados presentados. Adicionalmente, la prueba de sensibilidad presentada, a no presentar una metodología explícita, no permite una evaluación objetiva de su validez. Por último, el análisis estadístico presentado por GEM no presenta los elementos mínimos suficientes para evaluar la validez de sus resultados, como el contraste respecto de la hipótesis nula (por medio del P-value), así como decisiones arbitrarias en el método de análisis estadístico en el caso de la regresión multivariada.

Finalmente, en base al análisis realizado por el Equipo de Geoinformación con apoyo de otros profesionales de la División de Seguimiento e Información Ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente sobre los antecedentes presentados por el titular en los informes analizados en el presente documento no permiten establecer que, existan o no efectos sobre las superficies de vegetación y agua, toda vez que adolecen de deficiencias metodológicas, falta de diseño

experimental respecto de una hipótesis que aísle las variables, la utilización de supuestos no justificados y decisiones metodológicas poco justificadas o no justificadas. A razón de esto, la información presentada no permite aceptar o rechazar la hipótesis de una afectación no significativa de la vegetación y superficies lagunares en el borde este del Salar de Atacama. Pese a lo señalado, dadas las conclusiones a que arriba el informe hidrogeológico, se esperaría que siendo las variables vegetación y superficies lagunares dependientes directamente de las condiciones del acuífero, su evolución sea acorde a las variaciones que este presente.

4. RECOMENDACIONES

Se debe señalar que resulta recomendable considerar que los datos bióticos **deben ser analizados desde el punto de vista de la Ecología de Comunidades, y no tan solo de Poblaciones**, enfatizando en las interacciones entre las diferentes especies, ya que en muchos casos la variación en especies de flora puede influir directamente en la probabilidad de observar algunas especies de fauna. Además, se deben considerar en el análisis de los resultados las variables abióticas que influyen directamente la riqueza y abundancia de especies tanto de flora como de fauna (terrestre y acuática).

Lo anterior en el marco de futuros estudios que sean realizados en el área, con el fin de levantar información que sea de utilidad para determinar el estado del ecosistema, y sus variaciones, principalmente en función de la ejecución del proyecto. Como se señala anteriormente, los datos de biota deben ser analizados en su conjunto, así también, se deben considerar las variables abióticas en análisis de las variaciones observadas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, G.P., Felde, G., Hoke, M., Ratkowski, A., Cooley, T., Chetwynd, J., Gardner, J., Adler-Golden, S., Matthew, M., Berk, A., Bernstein, L., Acharya, P., Miller, D. y Lewis, P. 2002. MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm: FLAASH (fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes). Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 4725. <https://doi.org/10.1117/12.478737>.

Bernstein, L.S., Adler-Golden, S.M., Sundberg, R.L., Levine, R.Y., Perkins, T.C., Berk, A., Ratkowski, A.J., Felde, G y Hoke, M.L. 2005. A new method for atmospheric correction and aerosol optical property retrieval for VIS-SWIR multi- and hyperspectral imaging sensors: QUAC (QUick atmospheric correction), Proceedings of 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05., 2005, pp. 3549-3552. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526613>.

Chen, Y., Kaimin, S., Deren, Li., Ting, B. y Wnzhuo, Li. 2018. Improved relative radiometric normalization method of remote sensing images for change detection. Journal of Applied Remote Sensing. 12(4). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.045018>.

Dodge, Y. 2008. The Concise Encyclopedia of Statistics. Springer.

Gibbens, R.J., Pratt, J.W. 1975. P-values Interpretation and Methodology. The American Statistician, 29(1), 20–25.

Mateu, A. y Ruiz, L.A. 1999. TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España. pp. 375-378.

McDonald, J.H. (2014). Handbook of Biological Statistics, 3rd ed. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland.

McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

Liu, W., Agusdinata, D. B., & Myint, S. W. 2019. Spatiotemporal patterns of lithium mining and environmental degradation in the Atacama Salt Flat, Chile. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 80: 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.016>.

Schmidt, G.L., Jenkerson, C.B., Masek, J., Vermote, E., y Gao, F. 2013. Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description. U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1057. 17 p. <https://doi.org/10.3133/ofr20131057>.

Teillier S & P Becerra. 2003. Flora y vegetación del Salar de Ascotán, Andes del Norte de Chile. Gayana Botánica, 60(2): 114-122. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432003000200006>.