

EXPEDIENTE N° : 10720/2020
MEMORANDUM N° : 21068/2021
SANTIAGO, 13/05/2021

DE : SEBASTIAN ELGUETA ALARCON
JEFE DE DIVISIÓN (S) DIVISION DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL

A : MAURO LARA HUERTA
FUNCIONARIO DEPARTAMENTO DE SANCIÓN Y CUMPLIMIENTO

MOTIVO: INFORMAR

MAT. : F-041-2016 SQM SALAR

Estimado Mauro

Junto con saludar, adjunto el análisis técnico solicitado, con relación al procedimiento F-041-2016, preparado por nuestro equipo de Geoinformación.

Saludos,

SEBASTIAN ELGUETA ALARCON
JEFE DE DIVISIÓN (S)
DIVISION DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN
AMBIENTAL

Incl.: Documento Digital: Informe técnico

Adjuntos

Documento	Fecha Publicación
16799/2021 Memorandum	16/04/2021

c.c.: Francisco José Donoso Galdames Encargado de Sección Sección Inteligencia Ambiental
Emanuel Ibarra Soto Fiscal Fiscalía
Dánisa Fabiola Estay Vega Jefe Departamento 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.

INFORME TÉCNICO **EQUIPO DE GEOINFORMACIÓN** **DIVISIÓN DE SEGUIMIENTO E INFORMACIÓN AMBIENTAL**

Ariel Russell
Denisse Castillo
Javiera Poblete

10 de mayo de 2021

1 INTRODUCCIÓN

Hacia finales de 2016, seis cargos fueron formulados a SQM S.A. (RES. EX. N°1/ ROL F-041-2016):

- **Cargo 1:** extracción de salmuera por sobre lo autorizado, durante el período entre agosto 2013 y agosto 2015.
- **Cargo 2:** afectación progresiva del estado de vitalidad de algarrobos en el área del pozo Camar 2, desde el año 2013 a la fecha.
- **Cargo 3:** entrega de información incompleta al respecto de la extracción de agua dulce, niveles de pozos y formaciones vegetales, desde el año 2013 a 2015.
- **Cargo 4:** plan de contingencias para el Sistema Peine no reúne las mismas características de los demás sistemas ambientales.
- **Cargo 5:** falta de análisis de antecedentes para identificar la ocurrencia por factores naturales, debido a la constatación de afectación significativa de variables de pH y salinidad del suelo, durante el año 2013.
- **Cargo 6:** modificar variables de los Planes de Contingencia sin contar con autorización ambiental.

Posterior a esto, la empresa entrega un Plan de Cumplimiento (PdC), aprobado por la SMA a inicios de 2019, el cual quedó sin efecto en diciembre de 2019 por el primer Tribunal Ambiental (1TA). Se generan las observaciones respectivas y durante 2020 se entrega un PdC refundido por la empresa. El Tribunal Ambiental planteó incerteza científica en el funcionamiento hidrogeológico, lo cual acompañó con publicaciones científicas e informes realizados para el Salar de Atacama.

El presente informe tiene por objetivo realizar un análisis de la documentación presentada por SQM para descartar efectos sobre el Salar de Atacama, en específico, aquellos que involucren la utilización de imágenes satelitales, relacionados con los cargos formulados, en el contexto de la formulación de cargos y aprobación de un PdC.

2 ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

Se realizó una revisión de la información presentada, principalmente, en los documentos:

- Apéndice 1.6. Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta.
 - Anexo 1. Análisis de la profundidad de la napa en el sector de Bioindicadores
 - Anexo 2. Base de datos empleada para el desarrollo de los análisis estadísticos.
 - Anexo 4. Procesamiento de imágenes satelitales.
 - Anexo 6. Estadígrafos del análisis de tendencia de la actividad vegetal medida como NDVI y de la relación de la vegetación con el agua.
- Apéndice 1.9. Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el salar de atacama.

La revisión de estos documentos se centró en el componente de vegetación y los análisis realizados con información espacial, tanto vectorial como satelital. También, se incluye la revisión del apéndice 1.9 referido a las áreas lagunares.

A continuación, se hace referencia a elementos críticos relacionados a los resultados de lo presentado por el titular y que pueden ser discutidos, observados o rechazados por parte de la SMA debido a las inconsistencias detectadas en el análisis.

2.1 Imágenes satelitales utilizadas y deficiencias metodológicas

El titular basa parte de su estudio de vegetación (ítem 4.3.1. Vegetación) en el uso de imágenes satelitales de alta resolución y multiespectrales. Las imágenes de alta resolución son utilizadas para elaborar un Mapa de vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, a una representación a escala de 1:50000. Sin embargo, la metodología para su elaboración no es presentada, ni se tiene constancia que se haya mantenido una metodología estandarizada que asegure consistencia espacio temporal del levantamiento. Esto también ocurre en la sección “4.3.1.1. Análisis de la superficie cubierta con vegetación según mapa” donde se menciona el uso de mapas, los cuales tampoco son presentados en el informe.

Con respecto a las imágenes satelitales multiespectrales utilizadas para el análisis histórico, se menciona que para “*analizar la evolución y los cambios de la vegetación, se utilizó el índice NDVI como variable de estado de la vegetación*”. El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) fue obtenido a partir de imágenes satelitales multiespectrales de la serie Landsat, sensores TM y ETM+ (satélites Landsat 5 y Landsat 7 respectivamente) del mes de abril, entre los años 1998 y 2019, las cuales poseen una resolución espacial de 30 metros. Los procesos realizados sobre las imágenes satelitales para la obtención del NDVI se describen en el **Anexo 4**. Al respecto cabe mencionar que:

Se menciona la utilización de 22 imágenes, sin embargo, en la Tabla 1-2 se presentan 23 imágenes, además, no se señala fecha ni ID de imágenes utilizadas que permitan una trazabilidad de la información. Se presume que el análisis se realiza sobre una imagen única y no una composición de imágenes del mes de abril o un mosaico de más de una imagen que abarque toda el área de estudio. Este punto no está claro en el informe al no contar con información específica. Por otra parte, estando disponibles en la mayor parte de los repositorios de imágenes Landsat los productos *Land Surface Reflectance Code* (LaSRC, Reflectancia de la Superficie) en categoría Tier 1 desarrollados y recomendados por la NASA para el estudio multitemporal, dadas sus características radiométricas y de geocodificación que permiten una comparación confiable entre imágenes de distintas fechas, en el presente estudio no se utilizaron. En este, se da a entender que utilizaron imágenes de Niveles Digitales, los cuales tuvieron que transformar a reflectancia al tope de la atmósfera. Sin embargo, no se describe la realización de correcciones atmosféricas, la cual es necesaria para mitigar los efectos atmosféricos que pueden ser muy diferentes entre una fecha y otra, lo que interfiere en cómo llega la señal desde la superficie de la tierra al sensor. Tampoco presentan una justificación teórica para no realizarla, sobre todo teniendo en cuenta la existencia de esta información en bases de datos públicas de la NASA y otros repositorios de imágenes satelitales que ya incorporan esta característica, como se ha mencionado en el caso de las imágenes “Surface Reflectance” Tier 1. No se menciona la aplicación de máscaras de nubes ni de 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 utilizan, las cuales desde junio de 2003 presentan *gaps* (vacíos de datos también conocidos como “bando”) debido a una falla del corrector de línea de escaneo (SLC)¹. En la Figura 1, se presenta un ejemplo de una imagen Landsat 7², del 04 de abril de 2013, para el sector del Salar de Atacama, con visualización Falso Color Convencional, donde se pueden observar los gaps en los bordes que coinciden con el área de estudio.

¹ Detalle de satélite Landsat 7: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

² Id Imagen: LANDSAT/LE07/C01/T1_TOA/LE07_233076_20130404, revisada en Google Earth Engine.

Figura 1. Imagen Landsat 7 del 04 de abril de 2013 con presencia de fenómenos de Bando.



Por último, en el Anexo 2 hacen mención al NDVI promedio para el mes de abril durante el período estudiado sobre las 830 unidades vegetacionales, sin embargo, estos valores no son adjuntados lo que no hace posible su revisión.

2.2 Análisis de vegetación

El análisis de vegetación se hace a partir de 830 polígonos de unidades de vegetación, las cuales señalan que representan la totalidad de superficie con vegetación (17.495,8 ha). El análisis de vegetación lo realizan según tres aspectos: (1) Superficie cubierta con vegetación según mapeo anual; (2) Vegetación medida como NDVI; y (3) Relación cobertura vegetacional con fuentes de agua. Estos son descritos y analizados a continuación.

Es necesario mencionar que el análisis realizado por SQM considera cuatro períodos de análisis, señalados a continuación:

- Período 1 (1998 - 2007): período previo a RCA N° 226/2006
- Período 2 (2008-2012): período operacional a RCA, previo a período cuestionado.
- Período 3 (2013-2015): período cuestionado.
- Período 4 (2016-2019): período operacional RCA N° 226/2006 posterior al período cuestionado.

Al respecto de la selección de periodos, se identifica un supuesto no justificado en el diseño metodológico del Apéndice 1.6, que es la selección de períodos de análisis en base a un contexto estrictamente normativo, sin considerar que los sistemas naturales pueden expresar cambios no inmediatos, necesariamente. Esto se ve claramente reflejado en la aislación del análisis por periodos operacionales.

2.2.1 Superficie cubierta con vegetación según mapeo anual

En este caso, resulta un elemento crítico de análisis la validación del método de mapeo anual, el que se describe fue realizado a partir de imágenes satelitales de alta resolución en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” (RCA N°226/2006)³. Sin embargo, no existe ninguna descripción metodológica que indique los insumos específicos utilizados, como por ejemplo sensores, satélites, identificador de fecha de las imágenes, así como una descripción del procedimiento de pre-procesamiento, procesamiento, clasificación o proceso de fointerpretación utilizado, lo que impide configurar la bondad de la información para efectos de su comparación anual.

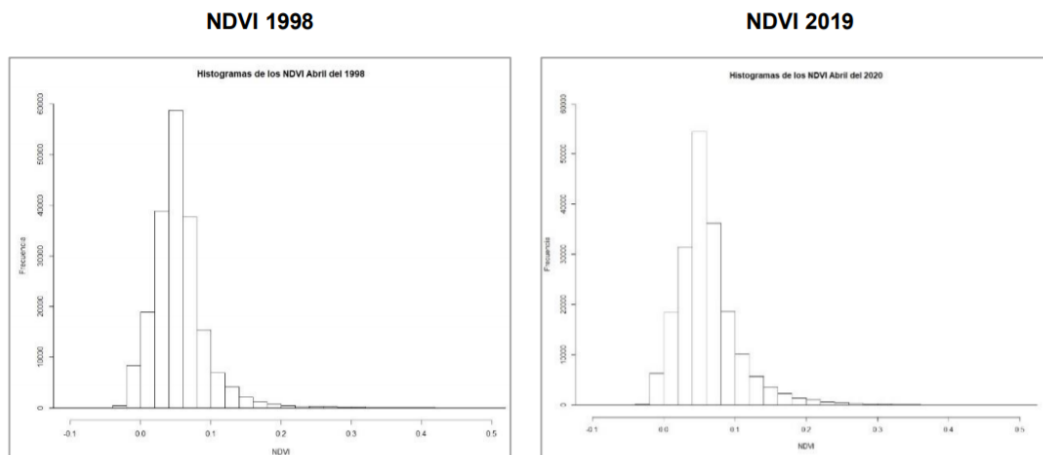
Respecto a la utilización del método de correlación de Pearson para efectos de modelar la tendencia por periodos de la evolución anual de superficie se identifica un uso forzado de la significancia estadística basado en la escasa cantidad de información para cada periodo analizado, donde cada uno de los análisis debiese ser analizado de forma cualitativa.

2.2.2 Vegetación medida como NDVI

Respecto al análisis a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) realizado por el titular, durante el análisis se pudo observar que los valores del índice utilizado para los cálculos estadísticos en todos los análisis son muy bajos, siendo incluso menores a 0,1, umbral comúnmente utilizado para la mínima expresión de vegetación. Estos bajos valores han sido observados frecuentemente en superficies con muy baja cobertura vegetal y/o en suelos con alto albedo, como son los suelos salinos. Esto puede observarse claramente en la figura 5.5 del ítem 5.1.3.1 (Figura 2), donde más del 50% de los píxeles analizados presentan valores menores a 0,1 NDVI.

Figura 2. Histograma de valores NDVI para área cubierta de vegetación presentado por SQM.

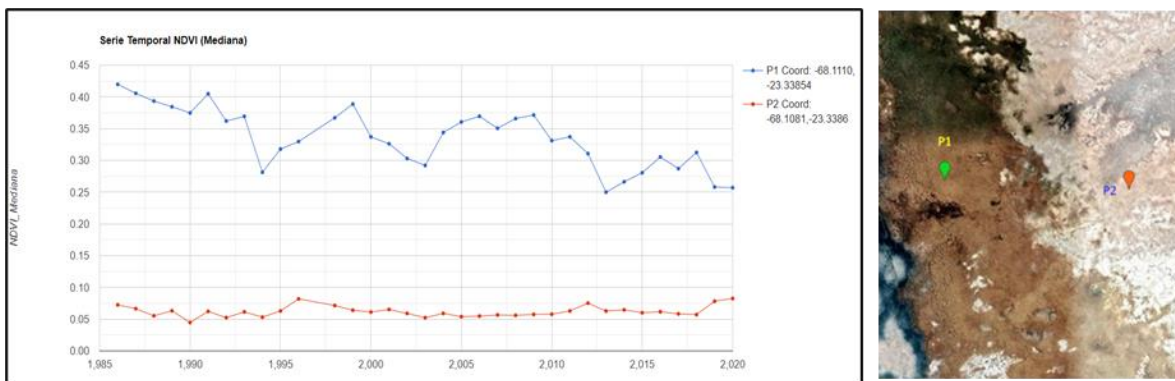
Figura 5-5. Distribución de frecuencia de píxeles de NDVI de abril en el área cubierta con vegetación del borde este del Salar de Atacama



De esta forma, se presume que posiblemente se hayan analizado áreas donde la expresión de la vegetación es demasiado baja para ser detectada de forma confiable por el sensor satelital, dando información plana y sin sentido biológico, no pudiendo detectar cambios sobre la vegetación. Como ejemplo de lo anterior es presentada la Figura 3, donde P1 corresponde a un punto con vegetación densa, el cual muestra una clara tendencia negativa dentro del rango de valores de NDVI, mientras que P2 fue ubicado en un punto con vegetación menos densa y con alto albedo, dando valores de NDVI menores a 0,1 y cuya tendencia respecto a los valores del índice es mínima. Adicionalmente, el realizar promedios zonales con píxeles con valores extremadamente bajos, podrían esconder características y cambios en la vegetación más densa y vigorosa. Esto podría explicar además que en todos los periodos de análisis la mayor parte de polígonos no presenten cambios.

³ Página 36 del Apéndice 1.6

Figura 3. Ejemplos serie temporal NDVI superficies cubiertas por vegetación con y sin respuesta espectral satelital.



Descripción: Composición anual (mediana) entre febrero y marzo para imágenes de los satélites Landsat-5 y Landsat-7.

Por otra parte, según análisis a nivel general de la tendencia entre periodos, se establece que el periodo 1 y 3 (cuestionado) son estadísticamente iguales. Por lo tanto, se reconoce una disminución respecto a los otros periodos. Se menciona que en el periodo 1, 471,38 ha de 2190,42 ha que presentaron un comportamiento a la baja estuvieron relacionadas con las precipitaciones. Sin embargo, no se menciona si esto se pudo establecer también para el periodo 3. Dejándolo sin explicación alternativa posible. Luego, mencionan que en el período 4, las tendencias se mantienen o aumentan, donde el 34,06% del alza se explica por las precipitaciones.

Entre los productos que podrían haber ayudado a la interpretación de estos resultados, sería un gráfico de doble eje Y, donde se muestran las variables a correlacionar (Precipitación y nivel freático) con los valores del índice para cada año.

Respecto al análisis entre periodos por tipo de cobertura, entre el periodo 2 y 3, se establece que 57,7% de la superficie con cambios fue hacia una disminución. Por lo tanto, se reconoce un efecto negativo. En el periodo siguiente solo se establecen cambios positivos. Se puede observar en la Tabla 5-23 del ítem 5.1.4.2, que solo un pequeño porcentaje de las superficies que presentaron cambios negativos entre el periodo 2-3, presentaron cambios nuevamente al alza (recuperación) en el periodo 3 al 4.

2.2.3 Relación cobertura vegetal con fuentes de agua

Con respecto a la relación entre la cobertura vegetal con fuentes de agua, el titular, estudia dos relaciones:

- Relación de la cobertura de la vegetación medida como **NDVI** con la **profundidad de la napa**.
- Relación de la cobertura de la vegetación medida como **NDVI** con las **precipitaciones**.

Los análisis realizados corresponden a regresiones lineales, obteniendo el grado de relación entre variables, expresado a través del coeficiente de correlación de Pearson (R^2), considerando una significancia estadística de 95%. Para esto, las fuentes de información utilizadas fueron:

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), imágenes Landsat, sensores TM y ETM.
- Profundidad de la napa: estos datos fueron obtenidos de dos fuentes:
 - Pozos de monitoreo para período 2007-2012 (obtenidos en el marco del Plan de Seguimiento Hidrogeológico del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”).
 - Datos de profundidad interpolados a través del método *kriging* Para los períodos 3 y 4, su detalle se encuentra en el Anexo 1.
- Precipitaciones: datos obtenidos de la estación meteorológica Camar, la más cercana al

sector del Borde Este. Se cuenta con información para todos los períodos.

Cabe mencionar, que los análisis realizados para la profundidad de la napa consideran los períodos 2, 3 y 4, por disponibilidad de datos. En el caso del período 3 al poseer solo tres registros, también se utilizó un período extendido (2013-2019). Para el caso de las precipitaciones fue posible analizar todos los períodos.

En el **Anexo 1** “Análisis de la profundidad de la napa en el sector de Bioindicadores del Salar de Atacama — Región de Antofagasta” se menciona todo lo relacionado a los *análisis de las profundidades de los niveles de agua subterránea, de pozos localizados en el Borde Este del Salar de Atacama*. Se realizó una depuración de la base de datos de pozos, considerando finalmente la información de 178 pozos con datos de nivel para abril del período de análisis. A partir de los 178 pozos, se realizó una interpolación a través del método de *kriging*, tal como se mencionó arriba, obteniendo 11 rasters con las interpolaciones (2010-2020). No se consideraron las zonas con baja densidad de datos para su interpolación (Figura 2-4: Zona de Interpolación y área poco confiable del Anexo 1). En los resultados obtenidos sobre profundidad de la napa, se observó que: *la vegetación hidromorfa se encuentra en sectores de profundidad de hasta 1 m, mientras que la vegetación de Brea se encuentra a diferentes profundidades, que varían desde 0,8 a 6,75 m*.

En el ítem 5.1.5. Relación entre la vegetación y el agua, se presentan los resultados tanto para profundidad de la napa como para precipitaciones.

Con respecto a los resultados de relación entre profundidad de la napa se menciona: *Tal como se indica en la metodología, los análisis se enfocaron en las unidades con tendencia a la baja y cambios negativos en periodo cuestionado (2013-2015), sin embargo, esto no es señalado en el ítem “4.3.1.3. Relación de la tendencia de la cobertura de la vegetación con el agua”*.

Para el período 2, considerado entre 2008 y 2012, mencionan dos pozos (1027 y L1-17) cercanos a las unidades de vegetación muestreadas. Observaron que a medida que aumenta la profundidad, aumenta la cobertura vegetal medida como NDVI. Los coeficientes de correlación son menores a 0.6 y además no se encontraron relaciones estadísticamente significativas. En este punto, queda la duda de la información utilizada, si fue utilizada la información de los pozos o si utilizaron los raster interpolados, considerando que este período está compuesto por dos fuentes de información.

Con respecto al período cuestionado, período 3 (2013-2015), se encontraron 15 unidades de vegetación con tendencia a la baja, sin embargo, se encuentran en la zona donde no existían datos, por lo que solo se observó la tendencia para una unidad de vegetación (Unidad Vegetacional: 83, Pozo: 10-1). Tanto para el período 3, como para el período extendido (2013-2019) no se encontraron relaciones significativas. En este caso los datos fueron presentados en tablas y no en gráficos, lo que complejiza la visualización de la dispersión de los datos.

Por último, se hizo un análisis de relación en unidades con cambios en periodo cuestionado (2013-2015) considerando información de profundidad en el periodo 2013-2019. En esta sección señalan *“Los resultados presentados en la sección 5.1.4.2-B, indican que 57 polígonos (946,19 ha) mostraron una reducción en los valores la actividad vegetal”*, sin embargo, en dicha sección indicaron *“En el periodo cuestionado se identificaron 15 unidades vegetacionales con tendencia a la baja, los que suman una superficie de 423,52 ha y representan el 2,42% de la vegetación.”*. Esto genera una inconsistencia en el relato, lo que vuelve engorroso el entendimiento de los resultados presentados. Para el análisis del período extendido de 2013-2019, de las 57 unidades de vegetación con tendencia a la baja, fueron analizadas 34 unidades de vegetación por disponibilidad de datos.

De los análisis realizados para el período 2013-2015, señalan que no se encontraron relaciones significativas, por lo que el comportamiento de la cobertura vegetal no estaría dictado por cambios en la profundidad de la napa. Además, señalan: *la profundidad es más somera conforme pasa el tiempo, similar a los presentado en la Figura 5-26. Esta última opción, indica que otro(s) factor(es) estaría(n) incidiendo en el estado de la vegetación, dado que la profundidad presenta menores magnitudes en el tiempo y por ende, una mayor disponibilidad de agua que favorecería el aumento*

o el desarrollo de la actividad vegetal y no su detrimento.

Para las precipitaciones, se obtuvieron como resultados mapas de distribución de sectores relacionados con la precipitación local, para los períodos 1, 2 y período 3 y 4 (período extendido). Además de incorporar un gráfico que muestra la precipitación anual (mm) de la estación meteorológica Camar, para los años de 1998 a 2020. Sin embargo, la información presentada no permite evaluar cómo las relaciones detectadas aportan al análisis de las distintas tendencias positivas y negativas encontradas en la vegetación para los diferentes periodos de forma clara y completa, no mostrando gráficas ni datos que apoyen la hipótesis de “causalidad” de incrementos y descensos de la vegetación a partir de sus variaciones. Adicionalmente, no se mencionan los valores considerados para declarar una relación a partir de los parámetros de regresión.

Para finalizar los comentarios de esta sección, no queda clara la metodología para obtener la profundidad de la napa interpolada, si el resultado corresponde a la media mensual del mes de abril o si fue seleccionado un registro del mes, coincidente con el paso del satélite. Además, tampoco se menciona la justificación de usar para la profundidad de la napa unidades de vegetación con tendencia a la baja y en el caso de las precipitaciones utilizar todas las unidades de vegetación. También, si las unidades de vegetación corresponden a polígonos, podría haberse utilizado los pozos que se encontrarán en esa área o cercanos a estas. Por último, no se define en el documento los puntos de bioindicadores o si corresponden a las unidades de vegetación.

2.3 Sobre significancia de los resultados (test estadísticos)

A nivel general, se usan una serie de procedimientos de análisis basados en test de hipótesis estadísticos, como por ejemplo el uso de análisis correlación entre variables y el uso de análisis de varianzas como el ANOVA. Al respecto, se puede identificar que las hipótesis de análisis no están asociadas a hipótesis de causalidad, trasladando a un plano subjetivo la interpretación de los valores de tendencia, correlación o significancia con respecto al hecho analizado.

Otra situación frecuente dice relación con el uso de una cantidad de información limitada en datos para incorporar a las pruebas estadísticas, dándose situaciones donde se usan entre 2 a 3 valores para el cálculo de tendencias y correlación. Esto se ve gatillado principalmente por el uso de segmentaciones por periodo, esta situación se discute de forma general en la página 31 del apéndice 1.6, sin embargo, solo desde el punto de vista de la No Normalidad o No Homogeneidad de las varianzas y no desde el punto de vista la cantidad de datos, aspecto que afecta directamente la posibilidad de identificar tendencias significativas a un dado nivel de confianza. De este modo es indispensable al menos la interpretación cualitativa de los distintos gráficos presentes en los resultados.

2.4 Superficies lagunares

En el apéndice 1.9 se menciona el uso de imágenes satelitales para la obtención de las superficies lagunares y los posteriores análisis. Al respecto, se observa que en el ítem “3.2.1. TRATAMIENTO DE IMÁGENES: INCORPORACIÓN DEL ÍNDICE NDWI”, Tabla 3.1, mencionan las bandas de las imágenes utilizadas, haciendo referencia sólo a las bandas del satélite Landsat 8, el cual está disponible desde 2013 y el análisis realizado contempla el período de 1986 - 2018. Luego, en el ítem “4. DETERMINACIÓN DE LAS SUPERFICIES LAGUNARES” detallan que las imágenes satelitales utilizadas corresponden a *imágenes satelitales provienen desde satélites tipo Landsat 7 para el período 1986 - 2013 y Landsat 8 para el periodo 2013 - 2018*. Agregando que, *respecto a la naturaleza de las imágenes empleadas, se cuenta con 133 imágenes que datan de febrero de 1986 y se extienden hasta octubre de 2018. En general se cuenta con 3 a 4 imágenes anuales separadas en un intervalo de 3 a 4 meses para los tres sistemas lagunares de interés*. Sobre esto, es necesario comentar lo siguiente, no queda claro si se seleccionó algunos de los meses o todas las imágenes satelitales disponibles durante el año. Las imágenes Landsat tienen una resolución temporal de 16 días, considerando esto, se hizo una revisión en la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) de la disponibilidad de imágenes *Surface Reflectance Tier 1* de los satélites Landsat 5 y Landsat 7 en el sector de Soncor con un porcentaje de cobertura de nubes menor a 10%, encontrando 650 imágenes

para el sector, entre el período de enero 1986 a diciembre 2018, por lo que no se explica la mención de 3 a 4 imágenes anuales (sólo considerando el Path/Row 233, 76), considerando Landsat 7 y Landsat 8 se observó un total de 419 imágenes. Además, lo que resulta más cuestionable es que mencionan el uso del satélite **Landsat 7** para el período de 1986 a 2012, sin embargo, este **comenzó sus operaciones en 1999**, por lo que esto incurre en inconsistencia técnica. También, no se menciona el nivel de procesamiento de las imágenes utilizadas ni que pasos fueron aplicados con el paquete *opencv* de Python. Además, no se menciona el procesamiento realizado sobre los *gaps* o “bando” de las imágenes Landsat 7¹.

En el ítem “3.2.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES: CUANTIFICACIÓN DE ÁREA” no queda clara la determinación del umbral en el paso de “máscara de color”.

En la sección “3.2.3 TRATAMIENTO DE IMÁGENES: CALIBRACIÓN” se hace mención a la selección de umbrales sobre el índice NDWI para la posterior medición de las áreas. Luego, en la sección “4.1.2. CALIBRACIÓN DE RESULTADOS” correspondiente al Sistema Soncor, mencionan *Las mediciones del PSA se realizan una vez al año, durante el mes de abril desde 2007 a 2018*; agregando en el párrafo siguiente *Para que la calibración sea adecuada se selecciona la imagen Landsat más cercana en fecha a la disponible en el informe PSA, en la mayoría de los años se empleó la imagen satelital del mes de mayo (tomada con 15 días de diferencia de aquella disponible en el informe PSA)*. Con esto, queda poco clara la imagen utilizada, no entendiéndose la elección de 15 días de diferencia.

Con respecto a los umbrales seleccionados para la determinación de las superficies lagunares, que es el punto que resulta más crítico dentro del informe, en la Tabla 1 se muestran los umbrales obtenidos para los diferentes sistemas, tanto para Soncor y Peine fueron utilizadas imágenes Landsat. Por otro lado, para Aguas de Quelana se utilizaron imágenes Quickbird. Por período y por sistema se utilizan umbrales diferentes, por ende, para un mismo tipo de imagen, el umbral difiere por sistema. Si bien, mencionan que la selección del umbral es en función de las mediciones del PSA, no está justificado como se realiza la obtención de este. También, es mencionada la diferencia entre sensores, sin embargo, la metodología planteada no se hace cargo de la diferencia e incluso, complejiza la comparación objetiva de las áreas.

Tabla 1. Umbrales de NDWI utilizados en el análisis.

Sistema	Umbral NDWI	
	1986-2012 <i>Landsat 7</i>	2013-2018 <i>Landsat 8</i>
Soncor	0,13	0,22
Peine	0,21	0,25
Aguas de quelana	Período analizado: 2006-2020, no hace mención del umbral utilizado. Utilización de imágenes Quickbird.	

Sobre la determinación de áreas, en ninguna Figura (4.1 para Soncor, 4.4 para Peine) no queda claro el método para la delimitación de las áreas, además de no mostrar la delimitación de áreas utilizadas para el análisis de Aguas de Quelana. Junto con lo anterior, en la metodología no queda claro el cálculo de las áreas, ni cómo son considerados todos los píxeles de los cuerpos de agua a partir de los puntos y líneas trazadas.

En base a todo lo expuesto, es necesario mencionar que la metodología expuesta presenta poca claridad y, también, poca transparencia sobre la información, lo que dificulta el análisis de los resultados, los cuales tampoco son comparables entre sí.

3 MATERIALES A SOLICITAR

A continuación, se lista la información requerida para poder analizar los informes reportados por el titular. Es necesario mencionar que el requerimiento de información variará según la estrategia a seguir por parte de la institución.

- Información presentada en el informe técnico **Apéndice 1.6** “Dinámica de la biota terrestre y acuática en el Borde Este del Salar de Atacama Región de Antofagasta”, Figura 3-14. **Distribución de la vegetación** y de los **perfiles vegetacionales en el borde este del Salar de Atacama**. Se solicita esta información en formato vectorial o raster (incluir archivos: .shp, .dbf, .prj, .shx o .tif, según corresponda).
- Polígonos de **unidades vegetacionales** (830 polígonos) señaladas en el **Apéndice 1.6**. en formato vectorial (incluir archivos: .shp, .dbf, .prj, .shx).
- En el **Anexo 2** “Base de datos empleada para el desarrollo de los análisis estadísticos” del Apéndice 1.6, ítem 1.1.2. *NDVI*, se hace mención al NDVI promedio para el mes de abril durante 1998-2020 para las 830 unidades vegetacionales, sin embargo, no es adjuntado. Se solicita en formato tabla la serie temporal completa de NDVI por polígono.
- En el **Anexo 1** “Análisis de la profundidad de la napa en el sector de Bioindicadores” del apéndice 1.6, se adjuntan imágenes de los rasters generados en las interpolaciones con el método de krigging para las profundidades de la napa, se solicita el envío de este dato en formato tif para cada uno de los meses de abril de los años 2010-2020, junto con los datos en formato shape con los que se generaron las interpolaciones.
- En el **Anexo 4** “Procesamiento de imágenes satelitales” se señala el procesamiento realizado a las imágenes Landsat 5 y Landsat 7 de abril, durante los años 1998-2020, se menciona el número de imágenes utilizados, pero no la fecha de la imagen utilizada. Se solicita ID y Fecha de imágenes utilizadas.
- En el ítem “4.3.1.1. Análisis de la superficie cubierta con vegetación según mapa” del Apéndice 1.6 se señala que se “utilizaron mapas de vegetación del Borde Este del Salar de Atacama, elaborados en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” (RCA N°226/2006). 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.” Sin embargo, 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 2006. Por lo que se solicitaría la información de las imágenes, métodos empleados, junto con los mapas de cambio.
- En las Figuras 5-28; 5-29 y 5-30 se muestran mapas de distribución de sectores relacionados con la precipitación local para los distintos períodos, se solicitan los mapas de “Relación NDVI-Precipitación” en formato shape o tif, según corresponda, para cada uno de los períodos analizados e incorporados en el análisis del Apéndice 1.6 y la base de datos de precipitación completa utilizada.

4 CONCLUSIONES

A pesar de la gran cantidad de antecedentes presentados que suponen un gran esfuerzo técnico y valiosos recursos de comprensión de las dinámicas naturales del sistema analizado, los antecedentes presentados en el informe carecen de los elementos necesarios para trazar y replicar resultados, estándar necesario de verificación científica de los resultados. A través del relato no es posible conectar explícitamente la hipótesis de no afectación de los sistemas vegetacionales, dado que se omite información en algunos casos que sí es presentada para otros, quedando de esta forma información incompleta y poco clara, lo cual dificulta la interpretación de los resultados de forma global. Así mismo, no se desarrolla una hipótesis de causalidad relacionada a los ejercicios de análisis realizados, razón por la cual, no es posible comprender si el diseño metodológico se relaciona con los potenciales impactos asociados a los hechos infraccionales, tanto en su sentido espacial como temporal.

Entre las principales falencias, se destaca la omisión de información relevante y deficiencias metodológicas para la obtención del NDVI. Por ejemplo, no se indica el detalle de las imágenes satelitales de las misiones Landsat 5 (sensor TM) y Landsat 7 (sensor ETM+) (imágenes individuales

o agregados de imágenes por año) así como no se indica o respalda la no realización de tratamientos relevantes como el de corrección atmosférica, geocodificación multitemporal (que hace comparables imágenes de distintas fechas) o aplicación de máscaras de píxeles saturados, de nubosidad o de sombras de nubes que generan diferencias en las señales recibidas por el sensor que pueden alterar significativamente los resultados del objeto de estudio. Adicionalmente, se suma el hecho de realizar cálculos de tendencias del NDVI sobre superficies donde existe una muy baja respuesta de la vegetación dentro de la señal espectral completa que llega al sensor dada su resolución espacial y características de cobertura de la vegetación y tipo de suelo. De esta forma, se presentan muchos resultados poco confiables y donde es difícil observar la respuesta espectral real de la vegetación, perdiendo el objeto de estudio y quitándole sentido a los resultados.

En relación con la utilización de imágenes de alta resolución, asociadas a planes de seguimiento ambiental para el mapeo de coberturas, no se señalan qué imágenes se utilizaron (satélites, sensores, fechas, productos y preprocesamiento), así como no se señala el procedimiento aplicado a cada imagen para identificar diferentes coberturas. Esto, en conjunto, no permite considerar, necesariamente, el análisis generado a partir de estos productos como suficiente para elaborar las conclusiones asociadas a cambios de cobertura, así como no permite la replicabilidad por parte de terceros.

Por último, al contar tanto con información de profundidad de la napa como de precipitaciones, se podría haber evaluado el comportamiento conjunto de la cobertura vegetal con estas variables en su totalidad, intentando buscar alguna causalidad del comportamiento de esta última, sin embargo, este último ejercicio fue realizado de forma parcial y sin mostrar información suficiente que permitiera entender de forma global su integración, sin poder tomar una postura clara respecto a la prevalencia de las interacciones de cada una en cada periodo y para el periodo completo.