



INFORME ANUAL N°5

Plan de Manejo Biótico

Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE-N°21/2016)”

ANEXO II

Estado Ecológico del Sistema

METODOLOGÍAS Y ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS DE TENDENCIAS DE SUPERFICIE CUBIERTA POR LAGUNAS



Región de Antofagasta

Agosto 2021

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	3
2	METODOLOGÍA	4
2.1	Análisis de tendencias con Landsat históricas	4
2.2	Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016-2020.....	5
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
3.1	La Punta y La Brava	7
3.1.1	Análisis de la evolución de superficies lagunares	7
3.1.2	Análisis de tendencias con Landsat históricas	8
3.1.3	Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2020.....	9
3.2	Peine.....	12
3.2.1	Análisis de la evolución de superficies lagunares	12
3.2.2	Análisis de tendencias con Landsat históricas	13
3.2.3	Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2020.....	15
4	CONCLUSIONES	17
5	BIBLIOGRAFIA	18

FIGURAS

Figura N° 3-1. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.	7
Figura N° 3-2. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2020, Sector La Punta y la Brava.....	8
Figura N° 3-3. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector La Punta y la Brava.....	9
Figura N°3-4. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.	10
Figura N°3-5. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector La Punta y La Brava.	11
Figura N° 3-6. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine....	12
Figura N° 3-7. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2020, Sector Peine.	13
Figura N° 3-8. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector Peine	14
Figura N°3-9. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine	15
Figura N°3-10. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector Peine.	16

ANEXO II. INFORME DE ESTADO ECOLÓGICO DEL SISTEMA

METODOLOGÍAS Y ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS DE TENDENCIAS DE SUPERFICIE CUBIERTA POR LAGUNAS - AÑO N°5 -

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la descripción de **metodologías y análisis de tendencias de superficie cubierta por lagunas del Año N°5 de monitoreo, para la evaluación de estado ecológico del sistema**. Dicho análisis se basa en lo definido en el Plan de Manejo Biótico¹, según numeral 4.2.5 Frecuencia de Medición, Tabla 4.2.6 del Anexo 2 (Plan de Manejo Biótico de la Adenda 5 del proyecto).

La variable “superficie cubierta por lagunas” corresponde a uno de los tres indicadores de estado para el análisis del estado ecológico, establecida en el PMB y quedó comprometida para los sistemas lagunares de los sectores La Punta y La Brava, y Sistema lagunar Peine.

En relación a lo requerido para **Superficie de Lagunas**, se utilizarán los registros de línea base y de monitoreo de las campañas de invierno y verano, para evaluar el análisis de tendencia de los 5 años de monitoreo. De acuerdo al numeral 4.2.7.3 del Anexo 2 Adenda 5 se tiene que, para evaluar los cambios de tamaño mediante imágenes AR: *“Se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base).”*

Por otra parte, en el mismo Anexo 2 se indica que la evaluación de la condición de cambio se realizará por sector de manera independiente: “Peine”, “La Punta-La Brava y Tilopozo”, mediante análisis de tendencia. Los cambios de estado ecológico serán comparados tomando la evolución de las variables de estado en el tiempo versus su comportamiento previo (línea de base y registro histórico).

En el capítulo indicado, se señala también en su definición que: *“se establece como **criterio de mantención del estado ecológico**, que las variables de estado se mantengan dentro del registro de línea de base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”*, y al respecto, en este informe se realizará la evaluación considerando todo lo anterior.

En base a lo requerido por Albemarle, este Anexo presenta información complementaria para el análisis del Estado Ecológico de las lagunas, que contiene el análisis multitemporal y de tendencias que se subdivide en dos tipos de evaluaciones:

¹ Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016 que aprueba el Proyecto **“Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta – Rockwood Lithium”** (en adelante Albemarle o ALB), para el monitoreo de “Superficie Cubierta por Lagunas”.

- **Análisis de tendencias²** en los sistemas lagunares, a través de imágenes Landsat (media resolución, píxel de 30m), para el periodo 2016-2020. Adicionalmente a lo requerido por la RCA N°21/2016, y con el objetivo de ir robusteciendo el análisis de la evolución en el tiempo de las superficies lagunares, es que en este quinto año del PMB se incluyen como parte del análisis comparativo histórico de las superficies lagunares antecedentes de imágenes Landsat desde 1985 hasta 2020, desarrollados en el “Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta y La Brava y Peine (Izumi Consultores, 2021).
- **Análisis de recurrencia³** de la superficie cubierta por lagunas, obtenida desde imágenes de alta resolución durante monitoreos de invierno (agosto) y verano (diciembre) entre el 2016 y 2020; con la finalidad de evaluar su comportamiento multitemporal en los cuerpos de agua. Esta es una herramienta complementaria a lo requerido por la RCA N°21/2016, desarrollada para mejorar el entendimiento de la distribución espacial de las lagunas (zonas de inundación), y corresponde a un análisis que va depurándose en la medida que se cuenta con mayor número de imágenes AR a través del tiempo.

2 METODOLOGÍA

2.1 Análisis de tendencias con Landsat históricas

El análisis de tendencias permite identificar patrones de cambio de la superficie de los sistemas lagunares, a lo largo del periodo de seguimiento del proyecto. Dada la dinámica propia de estos sistemas, donde ocurren variaciones asociadas a los ciclos climáticos (intraanuales), así como cambios a través de los años (interanuales), es que se requiere de una herramienta que permita captar dicha variabilidad. De esta forma, y considerando el criterio que quedó establecido en el Anexo 2 –PMB de la Adenda 5 del proyecto, para análisis de tendencia resulta más adecuado realizarlo con imágenes Landsat, ya que este satélite, que mantiene un tiempo de revisita de 16 días aprox., permite contar con al menos una imagen cada mes, y su correspondiente estimación de superficie ocupada por agua, capturando de mejor forma la dinámica intranual e interanual de los sistemas lagunares.

Es importante considerar que, dada la resolución espacial de Landsat (30 m de píxel), la estimación de superficie ocupada por agua resulta más precisa con imágenes AR (2 m de píxel). Sin embargo, dado que las imágenes AR son capturadas a nivel semestral de acuerdo con el compromiso establecido por RCA N°21/2016, es que se ha considerado realizar el análisis de tendencia mediante imágenes Landsat.

Este análisis interanual realizado con imágenes Landsat, toma como referencia la máxima cantidad de imágenes Landsat disponibles entre los años 2016 y 2020, tomando en consideración aquellas

² Análisis de tendencias, se refiere a evaluar la existencia de cambios direccionales del comportamiento de una variable en el tiempo (aumento o descenso), y poner en un contexto más amplio el seguimiento producto del Plan de Manejo Biótico, a modo de contextualizar a través de estos datos el estado actual del área de estudio.

³ Análisis de recurrencia se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la superficie cubierta por lagunas obtenida desde imágenes de alta resolución para los años de monitoreo 2016-2020.

que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. Dado que la determinación de la superficie de lagunas se realiza con la implementación de un modelo de clasificación supervisada, en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por sus siglas en inglés), se utilizarán el índice espectral que ha mostrado mejor ajuste en el modelo, para dar continuidad a la metodología propuesta para ese estudio según el PMB⁴; así el índice usado es el **NDWI** (*Normalized Difference Water Index*).

A modo de contexto, y como una actividad adicional y complementaria al seguimiento periódico de los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en la RCA N°21/2016, con el fin de tener más antecedentes para analizar la evolución que presentan los cuerpos de agua en esta zona, es que Albemarle desarrolló a través de IZUMI Consultores, julio 2021, el análisis de teledetección satelital LANDSAT de los cuerpos de agua en los Sectores de La Punta-La Brava y Peine. El objetivo fue obtener una serie de tiempo histórica (1985 – 2021) del área de cuerpos de agua de los sectores La Punta/La Brava y Peine, estimada mediante clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). A través de esta serie histórica se buscó replicar y complementar el trabajo del PMB con imágenes Landsat que se había realizado para el período 2016-2020, utilizando la misma metodología.

Para realizar el análisis, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad que han sido capturadas por del programa LANDSAT de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA), y distribuidas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). En particular, se recopilaron imágenes de los satélites LANDSAT-5, 7 y 8 entre los años 1985 y 2021. Estas escenas contienen datos de reflectancia superficial (Surface Reflectance, Level-2), una resolución espacial de 30 m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

Tanto el índice NDWI como el umbral de corte para la clasificación fueron obtenidos de la metodología que viene desarrollando Albemarle en el PMB. Así, la fórmula considerada para el cálculo del índice fue una basada en las bandas espectrales verde e infrarroja cercana, de la forma: $NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$ según documenta McFeeters (1996). El umbral de corte utilizado para definir la cobertura de agua fue NDWI mayor a cero ($NDWI > 0$).

2.2 Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016-2020

Se realizó un **análisis de recurrencia**⁵ de la superficie cubierta por lagunas, obtenida desde imágenes de alta resolución durante monitoreos de invierno (agosto) y verano (diciembre) entre el 2016 y 2020, con la finalidad de evaluar su comportamiento multitemporal, siendo la superficie, una de las variables de evaluación del estado, según lo establecido por el PMB.

⁴ Metodología descrita en la sección 4.6 del Informe anual N°5 de Área de Lagunas del Plan de Manejo Biótico (desarrollada desde el inicio de la etapa de monitoreo).

⁵ **Análisis de recurrencia** se refiere al número de superposiciones de una misma condición de análisis, es decir la presencia en seguimientos sucesivos, en este caso de la superficie cubierta por lagunas obtenida desde imágenes de alta resolución para los años de monitoreo 2016-2020.

Para la determinación de las áreas y sus niveles de recurrencia, se procedió a la delimitación por superposición de las superficies lagunares en formato *shape*. Estas son las resultantes del seguimiento de las coberturas de los cuerpos de agua a través del uso de imágenes satelitales de alta resolución (Pleiades - 1A), registradas semestralmente desde agosto 2016 a diciembre de 2020⁶.

Estas superficies lagunares según su recurrencia 2016- 2020 fueron clasificadas en estratos para caracterizar lo que corresponde al recubrimiento con mayor frecuencia de ocupación de agua. Para la clasificación, se seleccionaron aquellas superficies poligonales de igual criterio, que coinciden en la superposición seis o más veces (siendo diez el número mayor de repeticiones, equivalente al total de monitoreos realizados a la fecha). El resultado fueron tres estratos temáticos de recurrencia de los cuerpos de agua:

- (i) Superficie con ocupación de agua mayor a 50%: presencia de lámina de agua entre seis (6) y diez (10) de los seguimientos efectuados.
- (ii) Superficie con ocupación de agua menor o igual 50%: presencia de lámina agua entre uno (1) y cinco (5) de los seguimientos efectuados.
- (iii) Otros recubrimientos: presencia nula de agua durante los 10 monitoreos semestrales, equivalente a una recurrencia de 0%.

El análisis de recurrencia está determinado por el tamaño de la muestra; por lo que los resultados de las superficies con ocupación de agua y su clasificación, aumentará o disminuirá en la medida que se adicionen nuevos datos, depurando el análisis hasta establecer con mayor certeza las zonas de inundación.

⁶ Además de los polígonos resultantes del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua (Plan de Manejo Biótico, en adelante PMB, correspondientes a la RCA N°21/2016), se utilizaron los puntos de muestreo GPS GNSS que también entregan información de recurrencia de los cuerpos de agua, y que sostienen con datos en terreno el criterio de determinación de recurrencia por superposición de áreas.

3 RESULTADOS y DISCUSIÓN

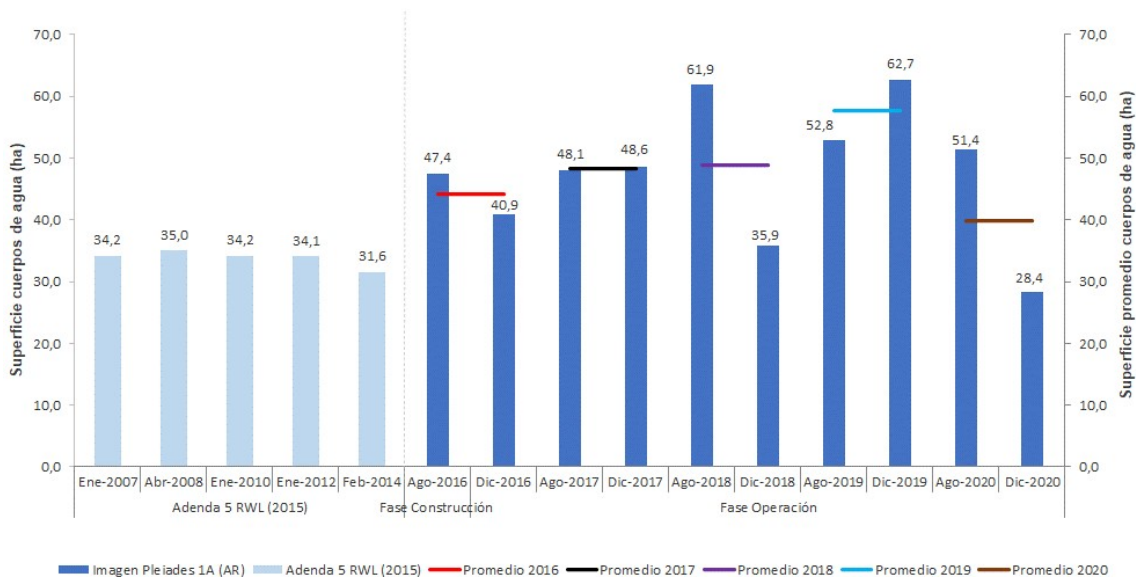
3.1 La Punta y La Brava

3.1.1 Análisis de la evolución de superficies lagunares

Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que “se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”, es que la **Figura N° 3-1** muestra la variación intranual de las superficies lagunares de las imágenes AR entre enero de 2016 a diciembre de 2020, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

La **Figura N° 3-1** muestra las superficies de los cuerpos de agua estimados a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en los seguimientos PMB de 2016 a 2020, donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2020 de 399.000 m² y en 2019 un promedio máximo de 577.841 m², y en donde los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector de 316.000 m².

Figura N° 3-1. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.

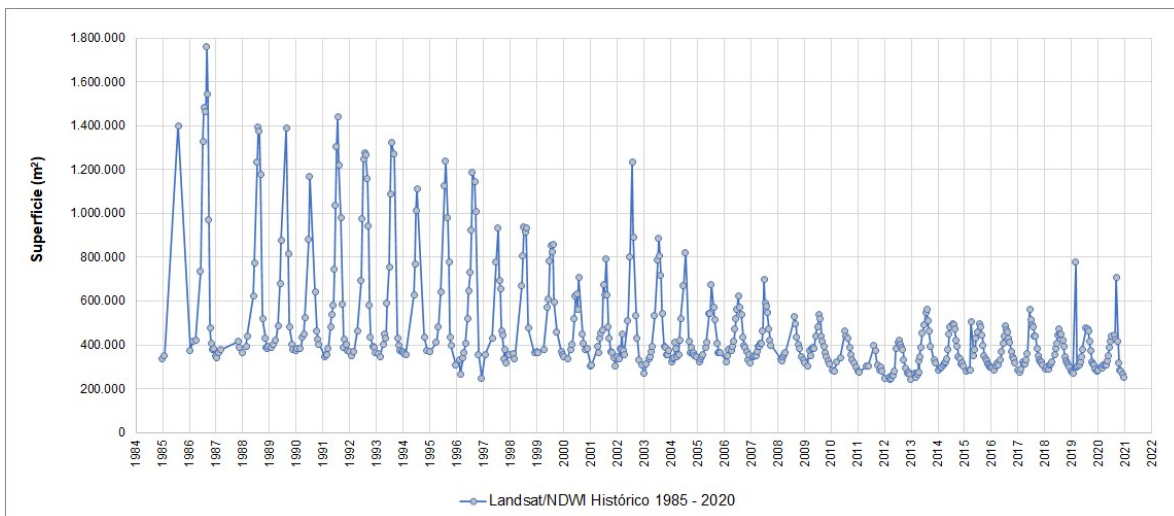


Dónde: **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

3.1.2 Análisis de tendencias con Landsat históricas

En la **Figura N° 3-2** se presenta la serie histórica entre los años 1985 y 2020 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce, generalmente, durante los meses de invierno y con los registros más bajos en los meses de verano. De los registros, se observa alta variabilidad en los datos obtenidos, y una tendencia al descenso histórico de las superficies observadas en la serie total. En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 1997, mostrando un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno; observándose desde el mismo año una tendencia al descenso, en menor escala, de las superficies mínimas de verano hasta el año 2013. Sin embargo, desde 2014 a la fecha se observa una estabilidad de las superficies, tanto de los valores mínimos como máximos al comparar con los valores históricos.

Figura N° 3-2. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2020, Sector La Punta y la Brava.



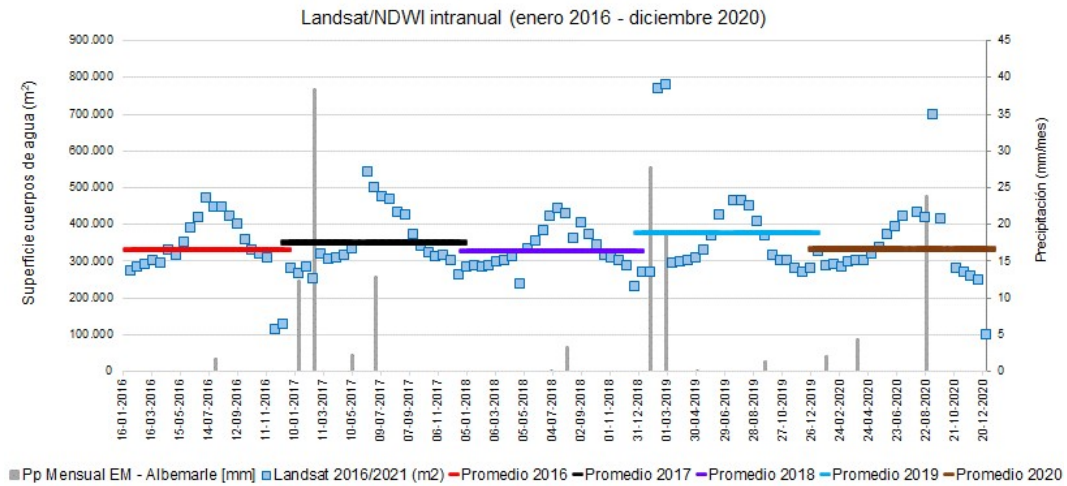
Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat-NDWI serie 1985 - 2020

Con el objetivo de analizar la tendencia de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, para la evaluación del estado ecológico, en donde se tiene que las variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”, es que la **Figura N° 3-3** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2020, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

Los registros indican que la amplitud de la variación entre temporadas es más pequeña; donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 330.026 m² y en 2019 un promedio

máximo de 378.082 m², con un promedio 2020 (336.171 m²) que esta sobre el promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una baja variabilidad, sin tendencia clara, donde las variaciones entre promedios no sobrepasan el 13%.

Figura N° 3-3. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector La Punta y la Brava



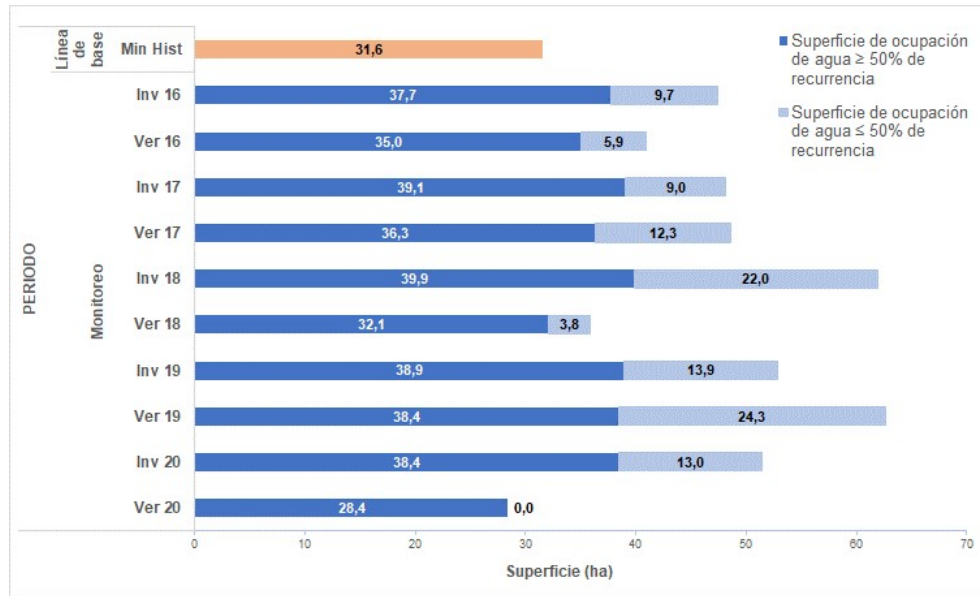
Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2020

En la **Figura N° 3-3**, las áreas intranuales estimadas para el sistema La Punta-La Brava para el período 2016-2020, muestran saltos puntuales mensuales como en enero y febrero 2019 y agosto 2020, que responden a eventos de precipitaciones, pero también se observan saltos invertidos de bajadas de superficie posteriores a dichos eventos. Los eventos de precipitaciones solo se ven reflejados en el promedio anual de 2019, donde el alza de las superficies promedios coincide con el alza de las precipitaciones registradas en el sector.

3.1.3 Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2020

A partir del análisis de recurrencia, la **Figura N°3-4**, muestra la relación entre las superficies reportadas producto del seguimiento semestral del PMB, y los estratos con ocupación de agua según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo, considerando la cantidad de imágenes AR disponibles a la fecha, que totalizan 10. Además, la **Figura N°3-4** muestra la relación de las superficies lagunares con respecto a la superficie mínima histórica determinada mediante imagen AR, que corresponde a 31,6 ha y que ocurrió en febrero de 2014.

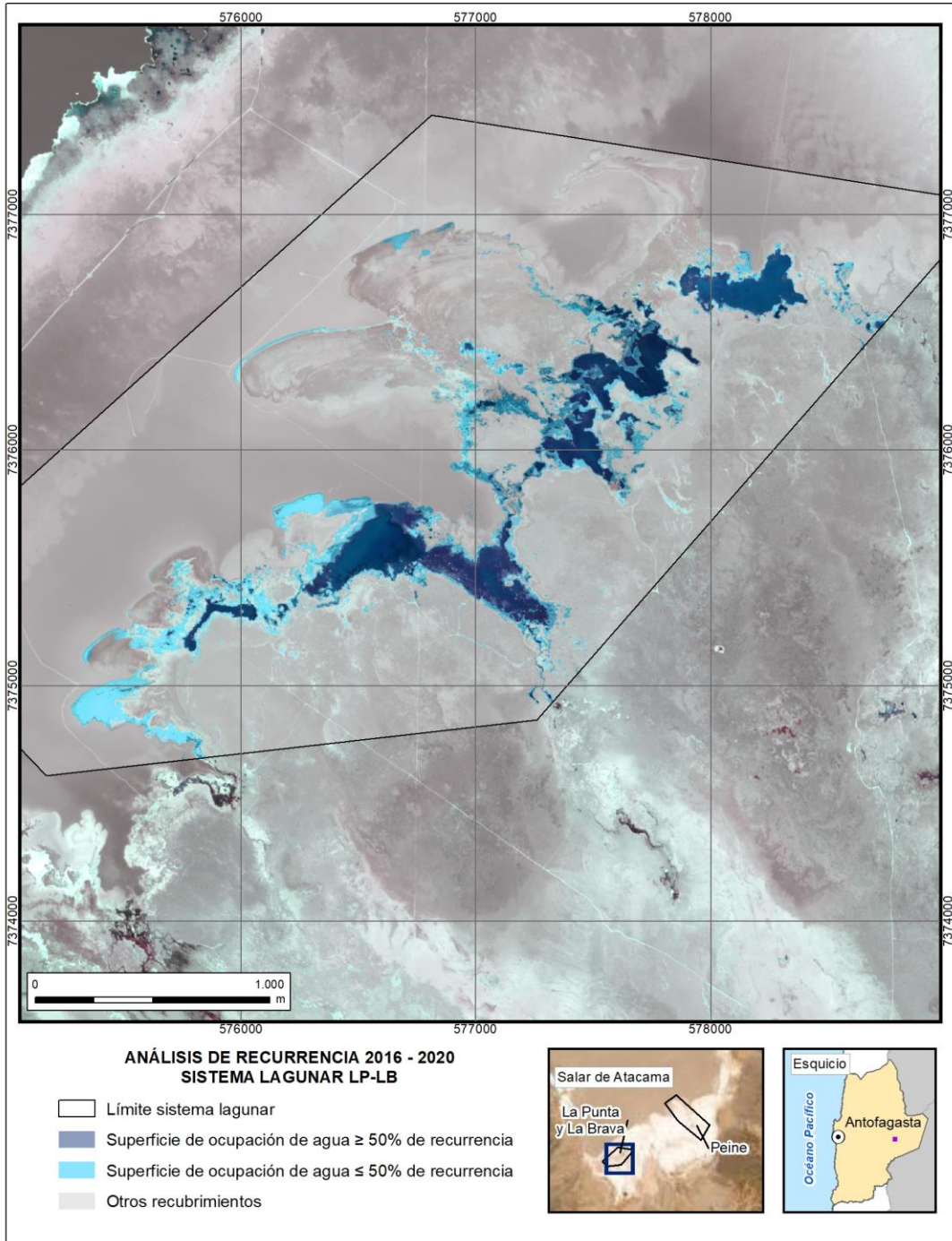
Figura N°3-4. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector La Punta y La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

Semestralmente, los valores reportados de las superficies lagunares corresponden a la suma de los estratos según su porcentaje de ocurrencia, de acuerdo al total de imágenes de AR disponibles a la fecha (10 imágenes Pleiades). Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de febrero de 2014 (31,6 ha); sin embargo, se reporta un descenso de las superficies en relación al mínimo histórico en diciembre de 2020 (-8,0 ha). El estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo, no muestra presencia en verano 2020, siendo este el estrato con mayor variación (**Figura N°3-4**). La **Figura N°3-5** muestra los estratos clasificados en recurrencia para los sectores de La Punta y La Brava.

Figura N°3-5. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector La Punta y La Brava.



Elaboración propia

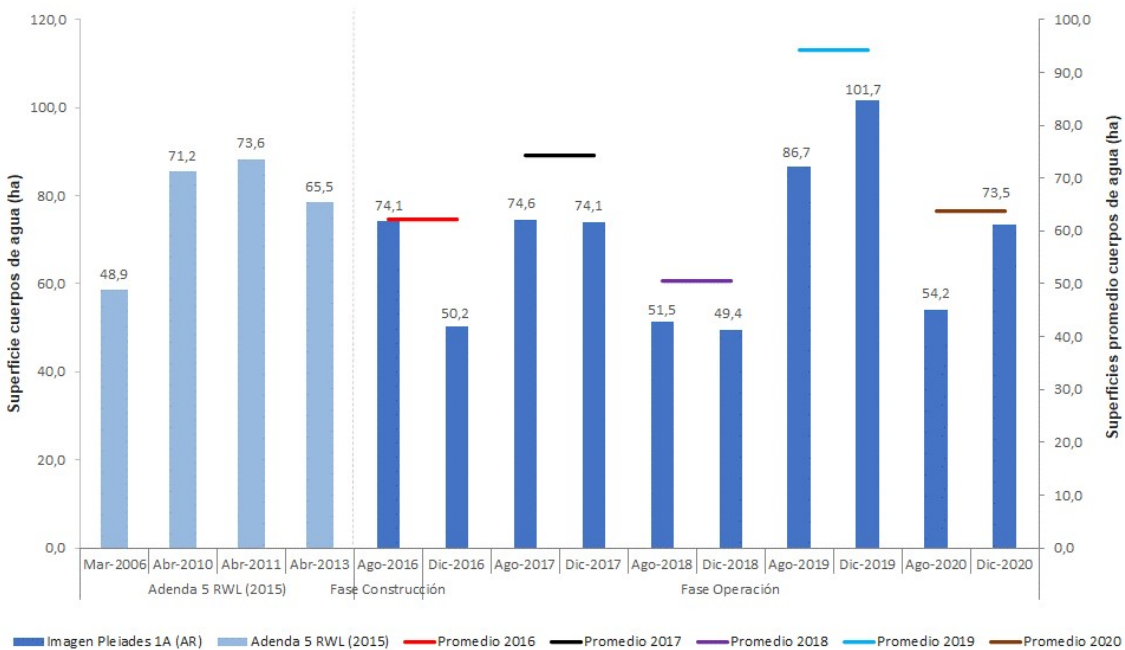
3.2 Peine

3.2.1 Análisis de la evolución de superficies lagunares

Con el objetivo de analizar la evolución de las superficies lagunares de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que “se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”, es que la **Figura N° 3-6** muestra la variación intranual de las superficies lagunares de las imágenes AR entre enero de 2016 a diciembre de 2020 en el sector Peine, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

La **Figura N° 3-6** muestra las superficies de los cuerpos de agua estimados a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en los seguimientos PMB de 2016 a 2020, donde los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 504.387 m² y en 2019 un promedio máximo de 941.720 m², y en donde los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado para el sector de 489.000 m².

Figura N° 3-6. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.

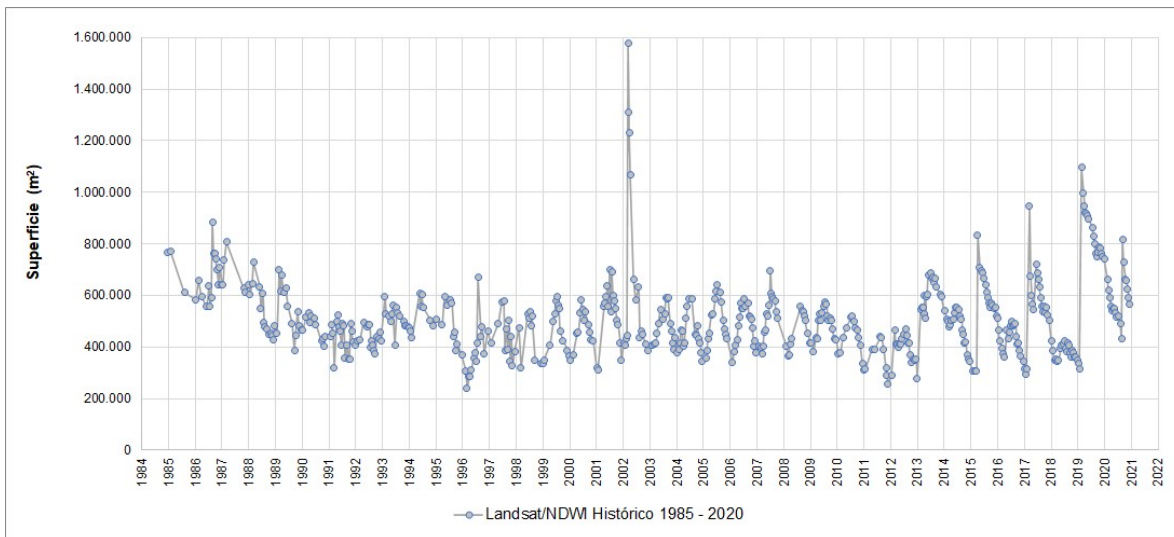


Dónde: **AR**: Imágenes de alta resolución (pixel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

3.2.2 Análisis de tendencias con Landsat históricas

En la **Figura N° 3-7** se presenta la serie histórica entre los años 1985 y 2020 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI, en el sector Peine. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce, generalmente, durante los meses de invierno, dándose alta variabilidad en los datos obtenidos, con una variación al alza de las superficies observadas en la serie total.

Figura N° 3-7. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 1985 - 2020, Sector Peine.

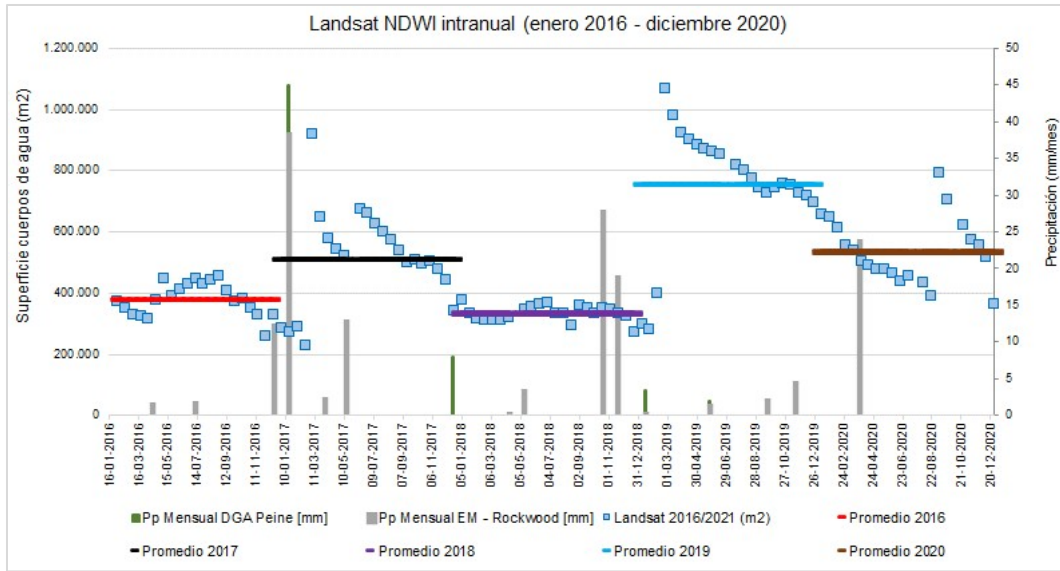


Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat-NDWI serie 1985 - 2020

Con el objetivo de analizar la tendencia de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, para la evaluación del estado ecológico, en donde se tiene que las variables de estado “se mantengan dentro del registro de línea base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”, es que la **Figura N° 3-8** muestra la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2020, que corresponde al período de seguimiento PMB del proyecto, desde la etapa de operación del proyecto ALB.

Los registros de los promedios anuales, registran un promedio mínimo en 2018 de 333.532 m² y en 2019 un promedio máximo de 753.873 m², con un promedio 2020 (536.743 m²) sobre el promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una mayor variabilidad, donde las variaciones entre promedios pueden llegar hasta el 56%.

Figura N° 3-8. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat/NDWI 2016 - 2020, Sector Peine



Elaboración propia, en base a datos Superficies Lagunares Landsat serie 2016-2020

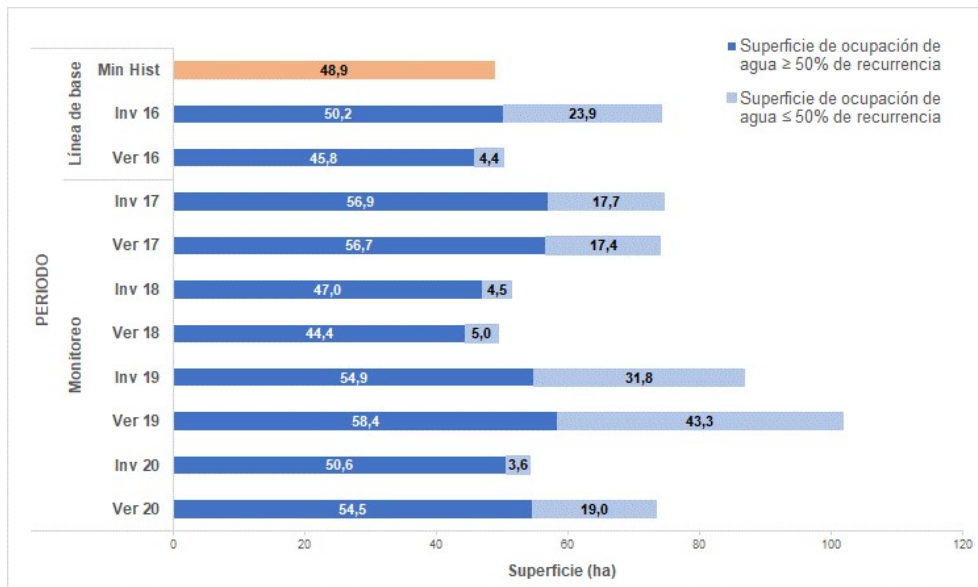
La **Figura N° 3-8**, muestra también, las precipitaciones de la estación meteorológica de Albemarle y DGA - Peine, en conjunto con la variación de las áreas de las superficies lagunares en Peine período 2016 - 2020. De ella es posible observar que las superficies lagunares del sistema Peine y su variación intranual responden directamente a los eventos de precipitación, evidenciado por las alzas de las superficies y cuyo efecto de estacionalidad queda oculto debido a las precipitaciones. Posterior a las alzas, las áreas decrecen gradualmente hasta retomar la tendencia previa o hasta que se presenta un nuevo evento de precipitaciones.

De las precipitaciones más importantes en el área destaca febrero de 2017, enero - febrero 2019 y agosto 2020, donde se observan los cambios en las superficies lagunares ante estos eventos de precipitación, lo que se traduce en promedios anuales máximos coincidentes con estas alzas.

3.2.3 Análisis de recurrencia de la superficie lagunar 2016 – 2020

A partir del análisis de recurrencia, la **Figura N°3-9** muestra la relación entre las superficies reportadas producto del seguimiento semestral del PMB en el sector Peine, y los estratos con ocupación de agua según su porcentaje de ocurrencia en el tiempo, considerando las 10 imágenes AR disponibles a la fecha. Además, la **Figura N°3-9** muestra la relación de las superficies lagunares con respecto a la superficie mínima histórica determinada mediante imagen AR, que corresponde a 48,9 ha y que ocurrió en marzo de 2006.

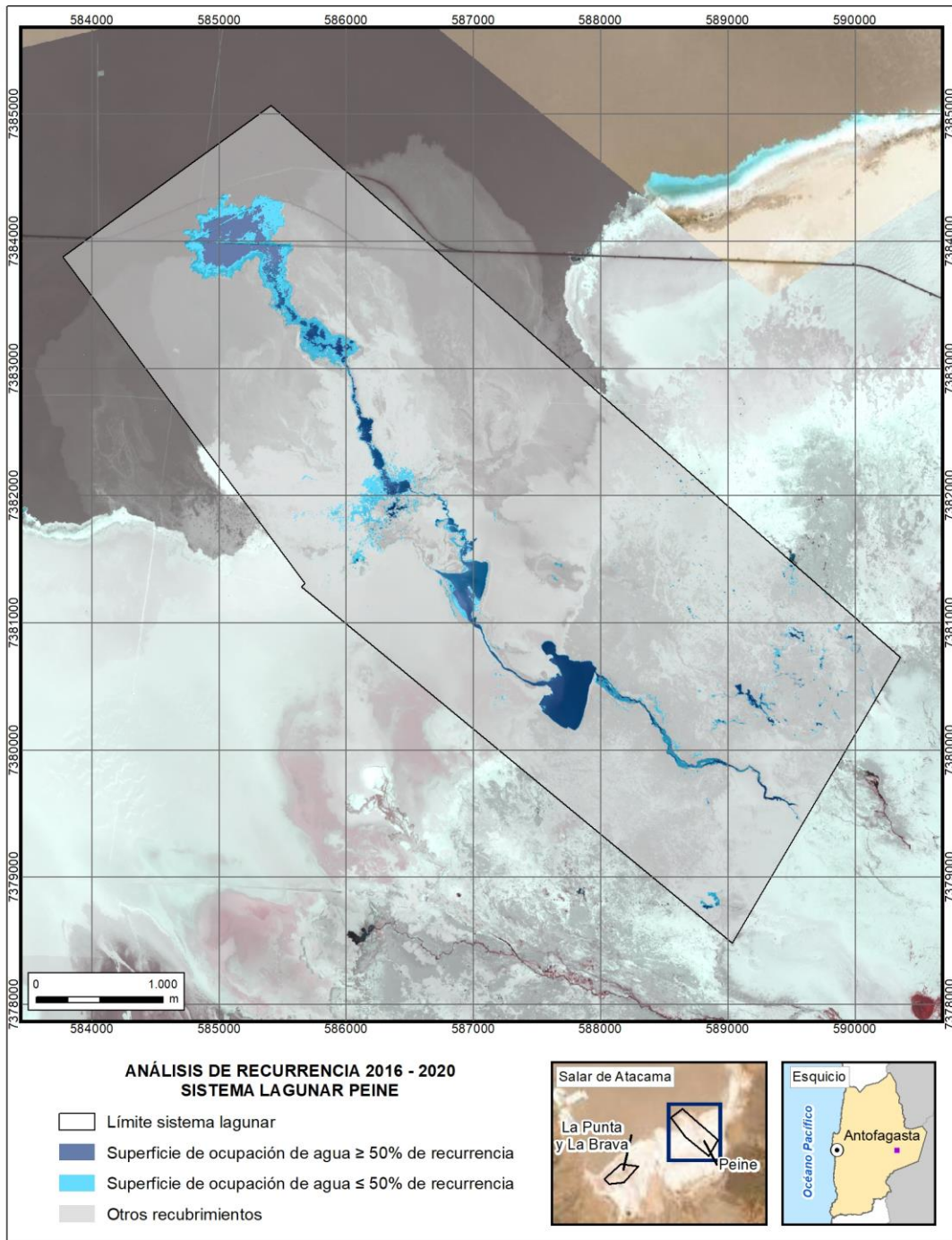
Figura N°3-9. Superficies lagunares según superficie de ocupación por recurrencia, sector Peine



Fuente: Elaboración Propia

Semestralmente, los valores reportados de las superficies lagunares en el sector Peine corresponden a la suma de los estratos según su porcentaje de ocurrencia, de acuerdo a las 10 imágenes de AR disponibles a la fecha. Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de marzo de 2006 (48,9 ha); sin embargo, se reporta un descenso leve de las superficies en relación al mínimo histórico en verano 2016, invierno 2018 y verano 2018. El estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo es el estrato con mayor variación, que presenta valores máximos en verano 2019, invierno 2019 e invierno 2016. La **Figura N°3-10** muestra los estratos clasificados en recurrencia para el sector de Peine.

Figura N°3-10. Estratos según clasificación de recurrencia 2016 - 2020, Sector Peine.



Elaboración propia

4 CONCLUSIONES

En cuanto al análisis de la evolución de superficies lagunares, y de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que *“se entenderá un cambio de tendencia, si después de 3 años consecutivos se observa disminución de la superficie de las lagunas, fuera del rango de los valores registrados históricamente por sector (líneas de base)”*, se verifica que los promedios anuales de 2018, 2019 y 2020 están sobre el mínimo histórico registrado, tanto para el sector La Punta y La Brava (superficie mínima histórica: 316.000 m²) como para el sector Peine (superficie mínima histórica: 489.000 m²).

En cuanto al análisis de tendencia con Landsat históricas, y con el objetivo de analizar la tendencia de acuerdo al criterio que indica la Adenda 5, para el período de operación del proyecto, en donde se tiene que las variables de estado *“se mantengan dentro del registro de línea base, esto es que los valores medidos anualmente en promedio, se mantengan en el rango de los valores registrados históricamente por sector”*, se analiza la variación intranual de las superficies asociadas al índice NDWI de las imágenes Landsat entre enero de 2016 a diciembre de 2020; este análisis señala que en el sector de La Punta y La Brava los registros indican que los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 330.026 m² y en 2019 un promedio máximo de 378.082 m², con un promedio 2020 (336.171 m²) que esta sobre el promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una baja variabilidad, sin tendencia clara, donde las variaciones entre promedios no sobrepasan el 13%.

Para el sector Peine, los registros de los promedios anuales registran un promedio mínimo en 2018 de 333.532 m² y en 2019 un promedio máximo de 753.873 m², con un promedio 2020 (536.743 m²) sobre el promedio 2018. De lo anterior, y considerando la evolución en el tiempo, se tiene que los registros anuales en promedio de las superficies lagunares, muestran una mayor variabilidad, donde las variaciones entre promedios pueden llegar hasta el 56%.

Para ambos sectores no se establece una tendencia clara, ni variaciones sostenidas significativas.

En cuanto al análisis de recurrencia de la superficie lagunar en el periodo 2016 – 2020, para el sector La Punta y La Brava, las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de febrero de 2014 (31,6 ha); sin embargo, se reporta un descenso de las superficies en relación al mínimo histórico en diciembre de 2020 (-8,0 ha). Para el sector Peine, Las superficies con recurrencia mayor al 50% observadas durante los monitoreos de 2016 a agosto 2020, en general se encuentran sobre el mínimo histórico de marzo de 2006 (48,9 ha); sin embargo, se reporta un descenso leve de las superficies en relación al mínimo histórico en verano 2016, invierno 2018 y verano 2018.

Para ambos sectores el estrato con superficies recurrentes menor al 50% del tiempo, es el estrato con mayor variación.

El análisis de recurrencia está determinado por el tamaño de la muestra; por lo que los resultados de las superficies con ocupación de agua y su clasificación, aumentará o disminuirá en la medida que se adicionen nuevos datos, depurando el análisis hasta establecer con mayor certeza las zonas de inundación.

5 BIBLIOGRAFIA

Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama". Rockwood Lithium Limitada - CEA, Centro de Ecología Aplicada. Región de Antofagasta, 10-2015.

Anexo 3, Adenda 5 EIA, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Plan de seguimiento ambiental y Plan de alerta temprana de los recursos hídricos. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama". Rockwood Lithium – SGA. Región de Antofagasta.

RCA N°21/2016. Resolución exenta N°21, Antofagasta, 2016. Calificación ambiental del Proyecto "EIA Modificaciones y Mejoramientos de Sistema de Pozas de Evaporación Solar, en el Salar de Atacama".

RWL, Rockwood Lithium. 2016a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, agosto de 2016.

RWL, Rockwood Lithium. 2016b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año I, diciembre de 2016.

RWL, Rockwood Lithium. 2017a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, agosto de 2017.

RWL, Rockwood Lithium. 2017b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año II, diciembre de 2017.

RWL, Rockwood Lithium. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año III, agosto de 2018.

RWL, Rockwood Lithium. 2018b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año III, diciembre de 2018.

Rockwood Lithium. 2019a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año IV, agosto de 2019.

RWL, Rockwood Lithium. 2019b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año IV, diciembre de 2019.

Rockwood Lithium. 2020a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año V, agosto de 2020.

RWL, Rockwood Lithium. 2020b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año V, diciembre de 2020.