

# Anexo C

## Superficie Cubierta por Lagunas

# Anexo C-1

## Informe “Superficie Cubierta por Lagunas, Invierno 2021 – Verano 2021”



## **INFORME ANUAL N°6**

### **Plan de Seguimiento Ambiental Hídrico (PSAH)**

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

#### **Superficie Cubierta por Lagunas**

#### **Invierno 2021 - Verano 2021**



**Región de Antofagasta**

**Marzo de 2022**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
4.1	Descripción del área de estudio .....	15
4.2	Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua .....	17
4.3	Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua .....	17
4.4	Materiales y equipos utilizados.....	20
4.5	Metodología de muestreo y/o medición.....	20
4.6	Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua .....	21
4.6.1	Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A .....	21
4.6.2	Imagen de resolución media – LANDSAT 8.....	24
4.6.3	Procesamiento de las imágenes satelitales .....	25
4.6.4	Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua .....	26
4.6.5	Parámetros espectrales del modelo de clasificación.....	27
4.6.6	Umrales y validación del modelo de clasificación .....	28
4.6.7	Depuración cartográfica de cuerpos de agua.....	31
4.7	Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua.....	32
4.8	Fechas de medición.....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
5.1	Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua .....	34
5.2	Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar .....	40
5.2.1	La Punta y La Brava .....	41
5.2.2	Peine.....	48
5.2.3	Aguas de Quelana .....	55
5.2.4	Soncor.....	62
5.3	Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua .....	69
<b>6</b>	<b>DISCUSION .....</b>	<b>69</b>
6.1	Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua .....	69
6.2	Análisis de comparación con registros históricos de línea de base .....	71

6.2.1	Sistema Lagunas La Punta y La Brava .....	74
6.2.2	Sistema Lagunas Peine .....	82
6.2.3	Sistema Aguas de Quelana .....	90
6.2.4	Sistema Soncor.....	98
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
	ANEXO 9-1. Distribución de puntos de validación para imágenes LANDSAT 8 y PLEIADES 1A, SECTOR NORTE. Agosto 2021. ....	113
	ANEXO 9-2. Distribución de puntos de validación para imágenes LANDSAT 8 y PLEIADES 1A, SECTOR NORTE. Diciembre 2021. ....	114
	ANEXO 9-3. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes LANDSAT 8 y PLEIADES 1A, SECTOR SUR. Agosto 2021. ....	115
	ANEXO 9-4. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes LANDSAT 8 y PLEIADES 1A, SECTOR SUR. Diciembre 2021. ....	116
	ANEXO 9-5. Coordenadas de puntos de validación en terreno .....	117
	ANEXO 9-6. Cuadro comparativo de diferencias implementadas en el estudio actual respecto a la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).....	117
	ANEXO 9-7. Metadata de Imágenes de alta resolución – Pleiades 1A.....	118
	ANEXO 9-8. Metadata de Imágenes de media resolución – Landsat .....	118
	ANEXO 9-9. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.....	119
	ANEXO 9-10. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021. ....	120
	ANEXO 9-11. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021. ....	121
	ANEXO 9-12. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021. ....	122
	ANEXO 9-13. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.....	123
	ANEXO 9-14. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021. ....	124
	ANEXO 9-15. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021. ....	125
	ANEXO 9-16. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021. ....	126
	ANEXO 9-17. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes LANDSAT 8, verano 2021. ....	127

ANEXO 9-18. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.....	128
ANEXO 9-19. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.....	129
ANEXO 9-20. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.....	130
ANEXO 9-21. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.....	131
ANEXO 9-22. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.....	132
ANEXO 9-23. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.....	133
ANEXO 9-24. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.....	134
ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.....	135
ANEXO 9-26. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021.....	136
ANEXO 9-27. Imágenes Landsat 2019 – 2021 – Análisis NDWI.....	137

## FIGURAS

Figura N°4-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama.....	16
Figura N°4-2. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2021.....	22
Figura N°4-3. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2021.....	23
Figura N°4-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2021 (izquierda – RGB) y verano 2021 (derecha - RGB).....	24
Figura N°4-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.....	26
Figura N°4-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua ( <i>raster</i> ) a polígonos ( <i>shape</i> ). .....	32
Figura N°5-1. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.....	41
Figura N°5-2. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto 2021 – diciembre 2021.....	43

Figura N°5-3. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	44
Figura N°5-4. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. ....	45
Figura N°5-5. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	46
Figura N°5-6. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. ....	47
Figura N°5-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine. ....	48
Figura N°5-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2021. ....	50
Figura N°5-9. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	51
Figura N°5-10. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. ....	52
Figura N°5-11. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	53
Figura N°5-12. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8. ....	54
Figura N°5-13. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua sistema lagunar Aguas de Quelana. ....	55
Figura N°5-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2021. ....	57
Figura N°5-15. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	58
Figura N°5-16. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Landsat 8. ....	59
Figura N°5-17. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	60
Figura N°5-18. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Landsat 8. ....	61
Figura N°5-19. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Soncor. ....	62
Figura N°5-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2021. ....	64
Figura N°5-21. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	65
Figura N°5-22. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8. ....	66
Figura N°5-23. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1A. ....	67
Figura N°5-24. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8. ....	68

---

Figura N° 6-1. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.....	75
Figura N° 6-2. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava. ....	76
Figura N° 6-3. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.....	77
Figura N° 6-4. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2021). 79	
Figura N° 6-5. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava. ....	81
Figura N° 6-6. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. ....	83
Figura N° 6-7. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine.....	85
Figura N° 6-8. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine. ....	87
Figura N° 6-9. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2021) .....	88
Figura N° 6-10. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.....	90
Figura N° 6-11. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana. ....	92
Figura N° 6-12. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Aguas de Quelana.....	93
Figura N° 6-13. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana. ....	95
Figura N° 6-14. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Aguas de Quelana. ....	97
Figura N° 6-15. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor.....	99
Figura N° 6-16. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor. ....	100
Figura N° 6-17. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor.....	102
Figura N° 6-18. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Soncor. ....	103

---

**TABLAS**


---

Tabla N°2-1. Resumen de Componentes y Variables .....	12
Tabla N°2-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control. ....	13
Tabla N°4-1. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2021, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama. ....	19
Tabla N°4-2. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2021, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama. ....	19
Tabla N°4-3. Características técnicas del sensor Pleiades-1A. ....	21
Tabla N°4-4. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8 .....	24
Tabla N°4-5. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2021. ....	29
Tabla N°5-1. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2021. ....	36
Tabla N°5-2. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2021. ....	37
Tabla N°5-3. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre de 2021. ....	38
Tabla N°5-4. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre de 2021. ....	39
Tabla N°5-5. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). ....	40
Tabla N°5-6. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). ....	40
Tabla N°6-1. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1A y Landsat 8. ....	70
Tabla N°7-1. Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base e históricos (Adenda 5 RWL, 2015). ....	104

## 1 RESUMEN

Este análisis se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en el marco del Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH), en adelante Plan de Seguimiento Hídrico o PSAH, 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) (ALB), para el monitoreo de “Superficie Cubierta por Lagunas”.

El propósito es realizar el seguimiento de la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en cuatro sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta y La Brava, (2) Peine, (3) Aguas de Quelana y (4) Soncor. Para tal fin, se utilizan imágenes de alta resolución del sensor Pleiades 1A y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8, obtenidas en invierno y verano de 2021.

Las etapas metodológicas empleadas durante la campaña y análisis correspondieron a:

- i) Trabajo en terreno/fotointerpretación para revalidación estacional de puntos de monitoreo registrados en las campañas 2021 y anteriores, clasificando el recubrimiento de suelo en dichos puntos como “*cuerpos de agua*” u “*otros recubrimientos*”;
- ii) Obtención y procesamiento de las imágenes satelitales en forma paralela a las campañas de terreno;
- iii) Desarrollo y validación del modelo de clasificación supervisada, para determinar umbrales de clasificación de los parámetros espectrales NDWI, NDVI, NIR, Transformada *Tasseled Cap* “*Wetness*” y Algebra de bandas espectrales en alta resolución; seguido por una depuración cartográfica, obteniendo de esta forma las coberturas de lagunas por sector.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar trabajos de terreno y por ende no se pudo realizar la validación en terreno y tampoco se pudo realizar vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar<sup>1</sup> (Ver **ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**). Los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación), para las cuales las imágenes Pleiades 1A, se obtuvieron el 16 de agosto de 2021 y las imágenes Landsat 8, fueron capturadas el 24 de agosto de 2021.

Respecto a la campaña verano 2021, ésta se llevó a cabo los días **14 al 17 de diciembre de 2021** en la que solo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en una porción del sector Peine (en un sector de la Laguna Interna). Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector Peine en sector de lagunas Salada y Saladita, reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

<sup>1</sup> Debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se han producido hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando consiguientemente dificultades de traslado, accesos y movimientos.

Como se señaló previamente, en un sector Laguna Interna si se pudo realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA. Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine: Salada y Saladita).

Para los sectores ubicados al norte, Sector Soncor y Aguas de Quelana, se desarrolló un protocolo de control de acceso hacia áreas con presencia de flamencos en fase reproductiva por parte de CONAF; por lo tanto, solo se realizó vuelo UVA/dron y trabajo de validación en terreno, en sectores autorizados, lo que se ubicaban en sectores marginales de estos sistemas hídricos. Las fechas de las tomas de imágenes para la campaña de verano fueron: para Pleiades 1A el 12 de diciembre de 2021, y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el 14 de diciembre de 2021.

**Los valores de ajuste se obtuvieron mediante el índice *Kappa*<sup>2</sup>**, este índice tuvo una variación entre 0,92 y 0,69 para imágenes de alta resolución y desde 0,93 y 0,75 para imágenes de resolución media en agosto de 2021. Respecto de diciembre de 2021, este índice tuvo una variación entre 0,92 y 0,61 para imágenes de alta resolución y desde 0,87 a 0,50 para imágenes de media resolución. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a casi perfecto*<sup>2</sup>.

**Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución**, en invierno de 2021 correspondieron a: (1) 45,8 ha en La Punta y La Brava, (2) 45,7 ha en Peine, (3) 15,6 ha en Aguas de Quelana, y (4) 204,0 ha Soncor; y para verano de 2021 las superficies son: (1) 24,1 ha en La Punta y La Brava, (2) 26,4 ha en Peine, (3) 8,9 ha en Aguas de Quelana y (4) 142,3 ha Soncor.

**Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de media resolución**, en invierno de 2021 correspondieron a: (1) 40,0 ha en La Punta y La Brava, (2) 36,0 ha en Peine, (3) 15,6 ha en Aguas de Quelana, y (4) 216,1 ha Soncor; y para verano de 2021 las superficies son: (1) 35,5 ha en La Punta y La Brava, (2) 33,4 ha en Peine, (3) 24,0 ha en Aguas de Quelana y (4) 235,1 ha Soncor.

**En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales**, la correlación entre las superficies calculadas desde alta resolución (Pleiades 1A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestran que para todos sectores, las variables tienen una *relación positiva*, con una correlación entre *alta y moderada*; mientras que los valores *p* indican que existe *evidencia estadística* sobre la *significancia* de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat. Esto señala que en la mayoría de los sectores que existe una relación entre los resultados provenientes de AR y Landsat, y las principales diferencias son atribuibles a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno de los recubrimientos (por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución), lo que produce diferencias en la magnitud de los valores, pero relacionándose en sentido

<sup>2</sup> El Índice *Kappa* corresponde a una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas). Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

directo (a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos).

**En relación con la evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria (2016 – 2021))**, en todos los sectores de estudio se observa que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. Las variaciones entre las superficies de inviernos y veranos son variables, siendo en el sector de Aguas de Quelana donde se registran las mayores diferencias entre periodos, en este sector los veranos alcanzan bajas que pueden llegar a una reducción de un 98%. El sector Soncor puede presentar diferencias entre las superficies de los periodos de invierno y verano que puede alcanzar hasta el 60%. En general, se observa una tendencia al descenso de las superficies en la condición de invierno, siendo más destacada en Sistema La Punta – La Brava, cuyas diferencias entre superficies de inviernos y veranos ha disminuido y se ven acortadas hasta la fecha actual.

**En relación con la evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie semestral PSAH) y las superficies históricas serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria (2016 – 2021))**, las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, en todos los sectores de estudio, tanto en las superficies de invierno y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2021.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales de media resolución en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presenta combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno y análisis visual, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado.

En ese sentido, la validación en terreno implementada en el marco del PSAH ha sido fundamental, como, por ejemplo, para mejorar la delimitación en el subsector Laguna Interna, proceso que no ha sido considerado en la metodología NDWI-Landsat histórica, pudiendo implicar en este caso una subestimación del área total en comparación con la metodología del PSAH. Para el caso de Aguas de Quelana, la metodología aplicada en el marco del PSAH, permite la inclusión de áreas de vegetación inundada a la superficie total de ocupación de las lagunas, señalados en los índices NDVI y por la banda NIR, lo que explica la inclusión de áreas de transición que no son detectadas por la metodología NDWI-Landsat, lo que se traduce en las diferencias en las superficies de ambos métodos. Sin embargo, las restricciones de movilidad en el marco sanitario o en el control de acceso a zonas de nidificación de flamencos en fase reproductiva, ha reducido las áreas de control *in situ* en los últimos años, dado los Protocolos dictados por CONAF de no acercarse a menos de 1.000 metros de los espejos de agua en época de reproducción y la limitación de ingreso al sector de las lagunas de Peine impuesto por la Comunidad atacameña de Peine; estos Protocolos han sido respetados a cabalidad por Albemarle, los

que además incluyen respetar zona de estacionamientos en éstas áreas sensibles, uso de camionetas blancas y/o grises, entre otros.

**En relación a la variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución**, la variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector La Punta – La Brava en relación con las superficies históricas AR (Adenda 5 RWL, 2015), muestran que las superficies semestrales, se presentan sobre los históricos, a excepción del mes de diciembre de 2020 y diciembre 2021. En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia constante entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector Peine, se encuentran bajo los mínimos históricos de AR para la temporada 2021, con una variación estacional no influenciada por la evaporación, donde no existe una correlación clara entre la precipitación registrada y las variaciones en el área de ocupación de los cuerpos de agua. En el sector Aguas de Quelana, las superficies en alta resolución del PSAH se encuentran bajo el mínimo histórico en diciembre 2020 y diciembre 2021, con el resto de los registros sobre el mínimo histórico; las variaciones intranuales e interanuales verificarían a la evaporación como un factor más relevante que las precipitaciones. Finalmente, el sector Soncor muestra registros de superficies semestrales en alta resolución sobre los mínimos históricos a excepción de los registros de diciembre 2020 y diciembre 2021; con variabilidad estacional entre registros.

Dentro de la comparativa anterior, es importante destacar que las superficies históricas en AR (línea base) han sido determinadas en meses distintos (enero – abril) a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada.

## 2 INTRODUCCIÓN

El Salar de Atacama, se encuentra ubicado en una cuenca endorreica tectónica, delimitada por la Cordillera de Los Andes (6.000 m.s.n.m) al este, y por la Cordillera de Domeyko (3.000 m.s.n.m) al oeste (Ortiz, C. *et al*, 2014). Además, presenta la característica que la dinámica natural de humedales está controlada fundamentalmente por el aporte de agua subterránea y condiciones climáticas regionales, esto los hace particularmente frágiles (MMA, 2011).

Este informe se desarrolla en cumplimiento a los compromisos ambientales y procedimientos asumidos en marco del **Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH)**, en adelante Plan de Seguimiento Hídrico o PSAH, correspondiente 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 (ALB), para el componente físico hidrología, monitoreo de “Superficie cubierta por lagunas”.

El propósito es realizar el seguimiento para determinar la cobertura de los cuerpos de agua, a través de imágenes satelitales, en cuatro sistemas lagunares del Salar de Atacama que conforman el área de estudio: (1) La Punta y La Brava, (2) Peine, (3) Aguas de Quelana y (4) Soncor. Para tal fin, se utilizan imágenes satelitales multiespectrales con un píxel máximo de 4 metros, es decir de alta resolución, utilizando el sensor Pleiades 1A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2021**.

Este informe corresponde al monitoreo y seguimiento ambiental de las “Superficies cubierta por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2021, durante la Fase de Operación, período establecido, en Anexo 3 - Adenda 5, numeral 3.2.6 Superficie cubierta por lagunas, Tabla 3-1 Variables de monitoreo del PSAH.

El parámetro ambiental asociado a este monitoreo, corresponde a la superficie cubierta por lagunas, en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), proveniente de la medición de las áreas de los cuerpos de aguas de los sistemas lagunares mencionados, realizado a través del análisis de imágenes satelitales de alta resolución, según metodología “Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI)<sup>3</sup>”, especificado en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, *Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua*; RWL, 2015 (en adelante, Adenda 5 RWL, 2015). En la Tabla N°2-1 se presenta un resumen del componente y la variable ambiental objeto de monitoreo, asociada al análisis de imágenes satelitales.

**Tabla N°2-1. Resumen de Componentes y Variables**

Componente Ambiental	Monitoreo	Variable o Parámetro	Metodología
FÍSICO Hidrología	Superficie cubierta por lagunas	Superficie o Área (m <sup>2</sup> )	<p><b>3.2.6 Superficie Cubierta por Lagunas</b>, pág. 22. Adenda 5 RWL, (2015).</p> <p>Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel máx. de 4 metros, <b>que incluirán los cuatro sistemas lagunares</b>. Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI). <b>Anexo 3 PSAH</b>.</p> <p>Además, con el objetivo de generar una correlación de estas imágenes de alta resolución con la serie histórica disponible de imágenes satelitales LANDSAT, de menor resolución, se realizará en forma simultánea un análisis y correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición.</p>

<sup>3</sup> El índice modificado MNDWI es más adecuado para realizar el agua en contraste con terrenos construidos y puede revelar mayores detalles en aguas abiertas (Xu, 2006). En este contexto, el NDWI es más eficiente en contraste con suelos desnudos con costra salina y aguas más someras.

Para el logro del objetivo propuesto inicialmente se implementó un muestreo para revalidación estacional, correspondientes a las réplicas de puntos de campañas anteriores. Posteriormente se desarrolló la etapa en gabinete relacionada con el procesamiento de las imágenes satelitales, seguido por la implementación de un modelo de clasificación supervisada de los cuerpos agua, en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por sus siglas en inglés). Los responsables de las actividades de muestreo y medición en terreno, así como los análisis en gabinete se identifican en Tabla N°2-2.

**Tabla N°2-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control.**

Empresa / Equipo de Trabajo	Actividades realizadas	Encargado
Cedrem Consultores	<u>Medición:</u> Revalidación estacional de puntos en terreno y levantamiento de puntos de posicionamiento en tiempo real de alta precisión; Revalidación estacional de puntos en terreno por fotointerpretación.	<u>Especialista:</u> Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Terreno - GNSS) David Avaca (Terreno – dron) Gustavo Fica (Terreno – apoyo)
	<u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.	<u>Jefe de Proyecto:</u> Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete:</u> Jessica Labarca Tomás Lizama
Apogeos	<u>Trabajo en gabinete:</u> Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.	Lorena Bustamante (Especialista)

Fuente: Cedrem Consultores

El presente informe describe los alcances metodológicos, los resultados y discusión para el estudio, partiendo con el análisis y validación del modelo de clasificación supervisada de los cuerpos de agua, el cual fue implementado en base a imágenes de alta resolución, Pleiades-1A, y de media resolución, Landsat 8, obtenidas durante agosto y diciembre de 2021. Posteriormente, se detallan los resultados de la cobertura determinada para los cuerpos de agua por sistema lagunar, desde imágenes de alta resolución, comparándolos con los registros históricos de línea de base y con la superficie determinada a partir de Landsat 8, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los monitoreos de invierno 2021 y verano 2021, con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016) y con los históricos de línea de base.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar trabajos de terreno y por ende no se pudo realizar la validación de puntos de muestreo y vuelo dron - UVA en ninguno de los cuatro sectores de estudio, debido a suspensión de actividades en la Planta Salar (ver detalles en **ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**)

En la campaña verano 2021 solo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en un sector de la Laguna Interna. Lo anterior, porque se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector Peine (lagunas Salada y Saladita), reduciendo las posibilidades de validación en este sector

principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose como ya se mencionó realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA sólo en un sector Laguna Interna, dado que no presentaba restricciones de acceso (por fuera del área delimitada). Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (ver detalles en **ANEXO 9-26. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021.**

### 3 OBJETIVOS

El objetivo general es monitorear la cobertura o superficie de las lagunas o de los cuerpos de agua, con el fin de hacer el seguimiento a la evolución de estas y detectar cambios en el tamaño de éstas.

Como ya se ha mencionado, la medición se realiza a través de imágenes satelitales de alta resolución y de mediana resolución Landsat, cuyo seguimiento se realiza con los registros de línea de base, en cuatro sistemas lagunares del Salar de Atacama, considerando como base los alcances y procedimientos comprometidos en el PSAH.

En función de esto, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- Definir la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales de alta resolución, en base a datos de validación (*in situ* o fotointerpretativas<sup>4</sup>) y a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), en cuatro sistemas lagunares del Salar de Atacama (La Punta y La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor).
- Comparar las coberturas de los sistemas lagunares, obtenidas a partir de los registros históricos determinados en la línea de base del componente, y establecidos por el PSAH (Adenda 5 RWL, 2015), con las superficies obtenidas de imágenes satelitales de alta resolución durante el monitoreo de la fase de operación del proyecto.
- Determinar las coberturas de cuerpos de agua desde una imagen satelital de mediana resolución disponible, Landsat 8, para la fase de operación y comparar éstas con los registros de las coberturas obtenidas en los registros históricos en cada sistema lagunar

---

<sup>4</sup> Según condiciones de acceso a los subsectores de estudio, que incluyen permisos y condiciones de seguridad.

- Comparar y correlacionar<sup>5</sup> las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de construcción con las coberturas de los sistemas lagunares definidas para la fase de operación, obtenidas desde imágenes satelitales de alta resolución y Landsat 8<sup>6</sup>.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Salar de Atacama, en la comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, extremo oriente de la II Región de Antofagasta y se encuentra a una altura geográfica aproximada de 2.300 m.s.n.m

El área de estudio corresponde a los Sistemas Lagunares establecidos en el Plan de Seguimiento Ambiental y Plan de Alerta Temprana de los Recursos Hídricos (PSAH). Esta red de superficies lagunares corresponden a las indicadas en Anexo 3 – Adenda 5, la que conforma un área de estudio total de 12.348,41 ha y comprende cuatro sistemas lagunares del Salar de Atacama (Figura N°4-1):

- La Punta y La Brava*; se ubica en el sector sur del salar y abarca una superficie de 726,0 ha (5,9%).
- Lagunas de Peine*, ubicado al sur del salar, comprende las lagunas Salada, Interna y Saladita. Este sistema cubre un total 1.769,1 ha (14,3%).
- Aguas de Quelana* se localiza en el centro-este del salar y abarca una superficie de 5.220,9 ha (42,3%).
- Soncor* se ubica en el sector norte del salar, a unos 30 km de las instalaciones de Albemarle – Planta Salar y cubre 4.632,5 ha (37,5%).

Los cuatro sistemas lagunares se ubican específicamente en la interfase salina al sur de la cuenca endorreica del Salar de Atacama. Esta zona de interfase supone una separación hidráulica subterránea, de tal manera que el flujo procedente de los acuíferos y, por tanto, desde las subcuencas aportantes, se ve forzado a ascender, alcanzando la superficie donde se forman estos sistemas lagunares permanentes. Una vez en superficie, las aguas que alimentan estos sistemas lagunares, comienzan a sufrir procesos de evaporación, presentando la máxima tasa de evaporación en la franja que rodea al núcleo salino por los márgenes N y E, coincidiendo con la presencia de una cuña salina (Cornellà, O. *et al*, 2009). A medida que estas aguas avanzan subsuperficialmente hacia el núcleo del Salar, se enriquecen progresivamente en sales disueltas. En el resto de la zona marginal, en torno al núcleo del salar, las aguas del acuífero se sitúan muy próximas a la superficie del terreno, sin llegar a aflorar, y sufren una evaporación muy intensa, con una oscilación estacional, la cual provoca que los niveles

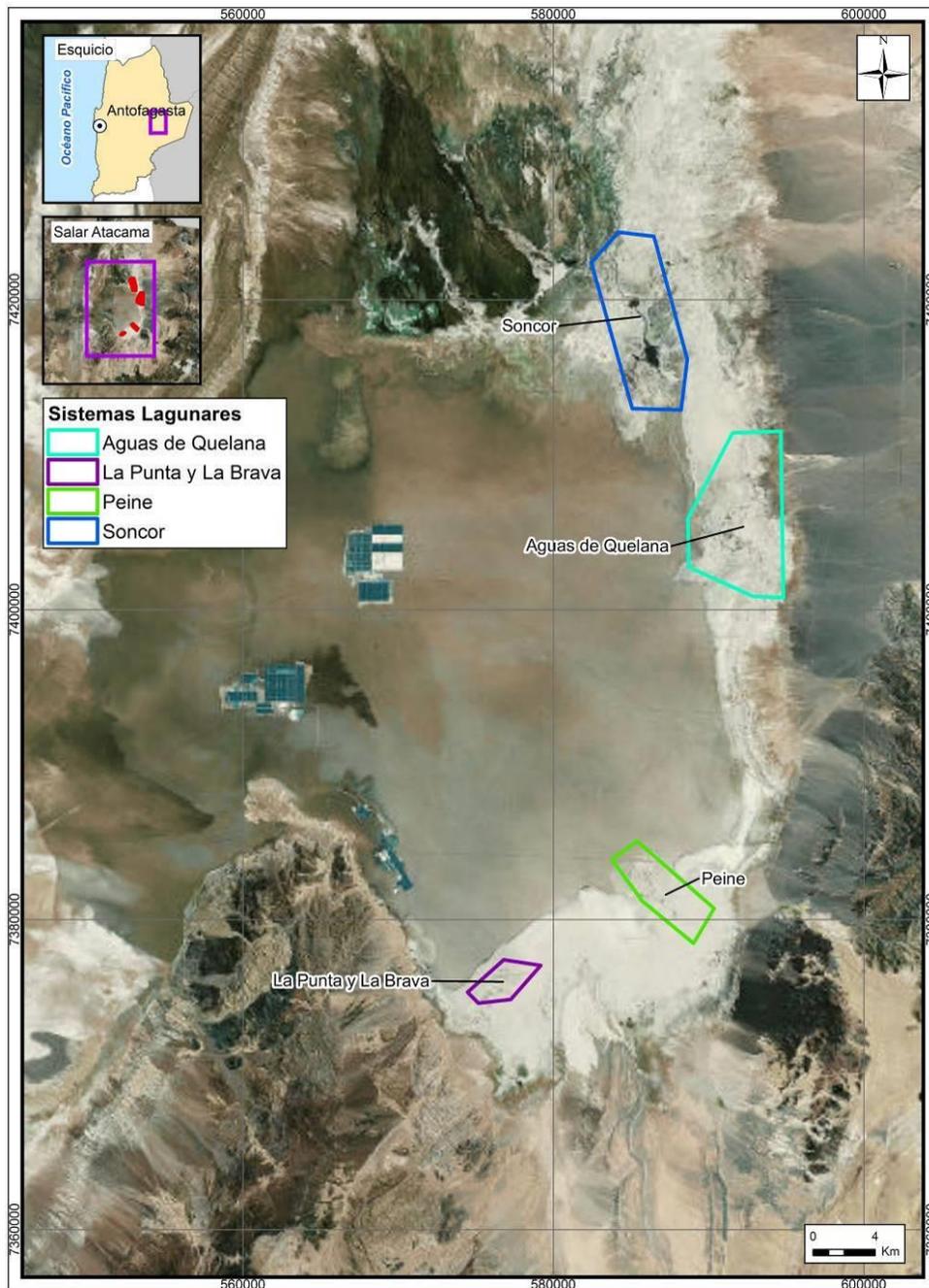
---

<sup>5</sup> Medida de la fuerza y la dirección de la asociación entre las variables superficies Landsat y las superficies de alta resolución, llevada a cabo con el coeficiente de correlación de Pearson. El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables. Para la correlación de Pearson, un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

<sup>6</sup> De acuerdo con lo establecido por el PSAH, este análisis se realiza con el fin de establecer correlaciones multitemporales 1:1 con los registros de alta resolución.

asciendan en los meses de invierno, y desciendan en verano, cuando se favorecen flujos de evaporación mayores (Adenda 5 RWL, 2015).

**Figura N°4-1. Ubicación sistemas lagunares que conforman el área de estudio para monitoreo y seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua por parte del Proyecto en el Salar de Atacama.**



Fuente: Cedrem Consultores en base al Plan de Manejo Biótico (RWL, 2015); y el estudio Determinación Espacio Temporal de la Vegetación Azonal y Cuerpos de Agua (Adenda 5 RWL, 2015).

## 4.2 Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua

El parámetro de seguimiento utilizado en el presente análisis corresponde a las superficies de agua estimadas por sistema lagunar a través de imágenes satelitales. Esto en cumplimiento a lo dispuesto en la Adenda 5, Anexo 3 (PSA) y la RCA que aprueba al proyecto, donde se establece que: *“La superficie cubierta por las lagunas (área inundada) es una variable asociada al comportamiento de los objetos de protección y relacionada con los niveles piezométricos del área de alimentación de las lagunas. Se medirá en los sistemas de Peine, y La Punta-La Brava, y en los sistemas de Soncor y Quelana donde esta variable se considera además de referencia ubicada en sectores vecinos no influenciados”*

De forma complementaria, en los resultados por sector, y siendo consistente con lo analizado en el documento antes mencionado, en relación a que *“...se realizará una correlación con una imagen de baja resolución disponible del satélite LANDSAT 8 o similar, de la fecha más próxima a las de las imágenes de alta definición, de menor resolución”*; en el presente estudio se realiza una comparación entre las superficies determinadas en base a las imágenes de alta resolución Pleiades-1A y Landsat 8.

## 4.3 Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua

Esta etapa del estudio conllevó el trabajo en terreno, el cual se realizó con la finalidad de coleccionar los datos que revalidan el modelo de clasificación supervisada usado para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales; en los casos donde no sea posible el acceso para la colecta de datos, se reemplazará por el análisis fotointerpretativo. La técnica de interpretación visual o fotointerpretación se realiza en base a las imágenes satelitales e/o imágenes de dron, proceso en el que se les asigna a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo que presentan. El método fotointerpretativo para el seguimiento lagunar se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades -1A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

El muestreo ejecutado, consistió en la validación del tipo de recubrimiento de suelo existente, como *“cuerpo de agua”* u *“otro recubrimiento”*, para cada punto de monitoreo y por sistema lagunar en estudio.

El propósito del muestreo 2021 es revalidar el recubrimiento de suelo, mediante réplicas de los puntos levantados desde el primer año de monitoreo, desde agosto y diciembre de 2016 hasta agosto y diciembre de 2020, en zonas representativas de cuerpos de agua permanentes y zonas que presentan diferencias intra e interanuales, a lo que se suma el criterio de accesibilidad.

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle, donde se han producido hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando consiguientemente dificultades de traslado, accesos y movimientos (Ver

**ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**) Los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación) tomada durante el monitoreo.

En la campaña verano 2021 solo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava. Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector de lagunas de Peine, reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose no obstante realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA en un sector de la Laguna Interna. Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (ver detalles en **ANEXO 9-26. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021.**

Para los sectores ubicados al norte, Sector Soncor y Aguas de Quelana, se desarrolló un protocolo de control de acceso hacia áreas con presencia de flamencos en fase reproductiva por parte de CONAF; por lo tanto, solo se realizó vuelo UVA/dron y trabajo de validación en terreno, en sectores autorizados, lo que no obstante se ubicaban en sectores marginales de estos sistemas hídricos.

La captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades-1A) y la descarga de la imagen de media resolución (Landsat 8), se realizó en paralelo a las campañas de terreno en las fechas propuestas para el seguimiento lagunar. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo *Mavic Pro* con cámara de 12 mega pixeles en los sectores donde no se presentaron restricciones de movilidad, tanto en invierno como en verano 2021.

El diseño de muestreo implementado para el trabajo en terreno – *in situ*, corresponde al tipo *aleatorio – estratificado y estratificado- dirigido* mediante transectos, en los cuatro sistemas lagunares, criterio que se aplica en base a las condiciones de seguridad por el limitado acceso y al conocimiento adquirido en campañas anteriores sobre estos sistemas.

El tamaño de muestra se calculó a partir de la superficie mínima de cuerpos de agua registrada en la línea de base del Proyecto para el componente (Adenda 5 RWL, 2015) y los valores del índice NDWI de imágenes satelitales de alta resolución disponibles.

La Tabla N°4-1 y Tabla N°4-2 presenta el detalle del muestreo aplicado en cada sistema lagunar en estudio. Las diferencias en la ubicación y el número de puntos considerados para validación entre imágenes Pleiades-1A y Landsat 8, se debe a las diferencias de resolución espacial entre ellas (2 m y 30 m, respectivamente), lo que se grafica en el ANEXO 9-1, ANEXO 9-2, ANEXO 9-3 y ANEXO 9-4. En el desglose se puede apreciar aquellos puntos validados en terreno – *in situ* – y aquellos provenientes de la fotointerpretación de la imagen satelital.

**Tabla N°4-1. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2021, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		Terreno <i>- in situ</i>	Fotointerpretación	Terreno <i>- in situ</i>	Fotointerpretación		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	-	218	-	73	239	72
	Cuerpos de agua	-	87	-	24	66	25
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>305</b>	-	<b>97</b>	<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	-	70	-	91	77	95
	Cuerpos de agua	-	121	-	91	114	87
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>191</b>	-	<b>182</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
Aguas de Quelana	Otros recubrimientos	-	61	-	70	70	75
	Cuerpos de agua	-	23	-	14	14	9
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>84</b>	-	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>
Soncor	Otros recubrimientos	-	120	-	107	132	109
	Cuerpos de agua	-	136	-	126	124	124
	<b>Total sistema lagunar</b>	-	<b>256</b>	-	<b>233</b>	<b>256</b>	<b>233</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>836</b>		<b>596</b>	<b>836</b>	<b>596</b>

Fuente: Cedrem Consultores. \*Fotointerpretación en base a imagen satelital AR (en falso color) e/o imagen UVA – dron. \*\* Terreno – *in situ*–: recorrido pedestre con marcación de puntos con dispositivo GPS.

**Tabla N°4-2. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2021, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades-1A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.**

SISTEMA LAGUNAR	CLASIFICACIÓN POR RECUBRIMIENTO DE SUELO	PUNTOS DE VALIDACIÓN				PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO	
		PLEIADES 1A		LANDSAT 8		PLEIADES 1A	LANDSAT 8
		Terreno <i>- in situ</i>	Fotointerpretación	Terreno <i>- in situ</i>	Fotointerpretación		
La Punta y La Brava	Otros recubrimientos	220	-	77	-	261	83
	Cuerpos de agua	85	-	20	-	44	14
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>305</b>		<b>97</b>		<b>305</b>	<b>97</b>
Peine	Otros recubrimientos	6	67	6	74	94	86
	Cuerpos de agua	-	118	-	102	97	96
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>6</b>	<b>185</b>	<b>6</b>	<b>176</b>	<b>191</b>	<b>182</b>
Aguas de Quelana	Otros recubrimientos	30	40	11	38	73	79
	Cuerpos de agua	14	-	33	2	11	5
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>84</b>	<b>84</b>
Soncor	Otros recubrimientos	13	134	13	117	155	122
	Cuerpos de agua	8	101	8	95	101	111
	<b>Total sistema lagunar</b>	<b>21</b>	<b>235</b>	<b>21</b>	<b>212</b>	<b>256</b>	<b>233</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>			<b>836</b>		<b>596</b>	<b>836</b>	<b>596</b>

Fuente: Cedrem Consultores. \*Fotointerpretación en base a imagen satelital AR (en falso color) e/o imagen UVA – dron. \*\* Terreno – *in situ*–: recorrido pedestre con marcación de puntos con dispositivo GPS.

#### 4.4 Materiales y equipos utilizados

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, por lo que los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación); las imágenes **Pleiades 1A se obtuvieron el 16 de agosto de 2021**, y las imágenes **Landsat 8 fueron capturadas el 24 de agosto de 2021**.

El equipo utilizado en la campaña de verano 2021 para el levantamiento de puntos de información de sistemas lagunares, corresponden a un receptor Full GNSS/GPS, Navcom SF-3040 con sistema Starfire de geoposicionamiento, que entrega información en coordenadas UTM 19S WGS84. Además, se utilizó un dron DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles, con vuelo programado a 200 metros de altura en el sistema lagunar de La Punta - La Brava y Laguna Interna en el sector Peine. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1A, el **12 de diciembre de 2021** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **14 de diciembre de 2021**.

#### 4.5 Metodología de muestreo y/o medición

El muestreo en terreno se llevó a cabo mediante el levantamiento de puntos de monitoreo con receptores Full GNSS/GPS, que consistió en el marcaje del tipo de recubrimiento de suelo directamente en terreno para cada punto de medición, en coordenadas UTM 19S WGS84. Complementariamente, se utilizaron imágenes de dron DJI modelo Mavic Pro con cámara de 12 mega pixeles los sectores que no presentaban restricciones de movilidad.

Posteriormente, en el software GIS ArcMap 10.6 se validan los puntos a los que no se pudo acceder en terreno, mediante la técnica de interpretación visual o fotointerpretación en base a las imágenes satelitales e imágenes de dron, proceso en el que se les asignó a estos puntos el tipo de recubrimiento de suelo (cuerpo de agua / otro recubrimiento). El método fotointerpretativo se realiza en base a la imagen de alta resolución (Pleiades -1A, 8bits), con variación en la composición de colores para la mejor visualización del cambio de coberturas (método de empleo de falso color). La fotointerpretación o clasificación visual es parte de los procesos de reconocimiento, identificación y delimitación de los recubrimientos detectados en una zona de estudio que, en base a diferentes criterios visuales (color, tono, brillo, textura, formas y aspectos temporales), son parte de las técnicas de muestreo para la metodología de clasificación supervisada.

En las campañas de invierno y verano 2021, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, en zonas representativas de lagunas recurrentes y donde se determinaron las principales diferencias entre la medición de terreno y el modelo de clasificación supervisada, en períodos intra e interanuales, resguardando las condiciones de accesibilidad, seguridad y permisos respectivos en zonas de acceso restringido. El ANEXO 9-1, ANEXO 9-2, ANEXO 9-3, ANEXO 9-4 muestran la distribución de los puntos de validación en cada sistema lagunar de estudio y el detalle de sus coordenadas se encuentra en el ANEXO 9-5.

## 4.6 Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua

### 4.6.1 Imágenes de alta resolución – Pleiades-1A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades-1A, y en su conjunto conforman dos mosaicos, el primero en el sector sur que corresponde a los sistemas de Peine y La Punta y La Brava; y el segundo en el sector norte, que comprende los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana (Figura N°4-2). La fecha de captura de invierno es **16 de agosto de 2021** y de verano es **12 de diciembre de 2021**. La selección de este tipo de imágenes se debe a que sus características permiten contar con la resolución espacial adecuada para la cartografía detallada y de precisión (Pancromática, 50 cm; Multiespectral, 2 m), y permite mayor flexibilidad en cuanto a la periodicidad de captura, ya que su intervalo de revisita es de 24 h.

El satélite Pleiades está constituido de una banda pancromática con resolución de 0,5 m en visual nadir y 4 bandas espectrales (blue - azul, green - verde, red - rojo y near infrared - infrarrojo cercano). La precisión de corrección por ortorrectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la Tabla N°4-3, el ANEXO 9-7 y ANEXO 9-8 presentan el *metadata* de las imágenes analizadas.

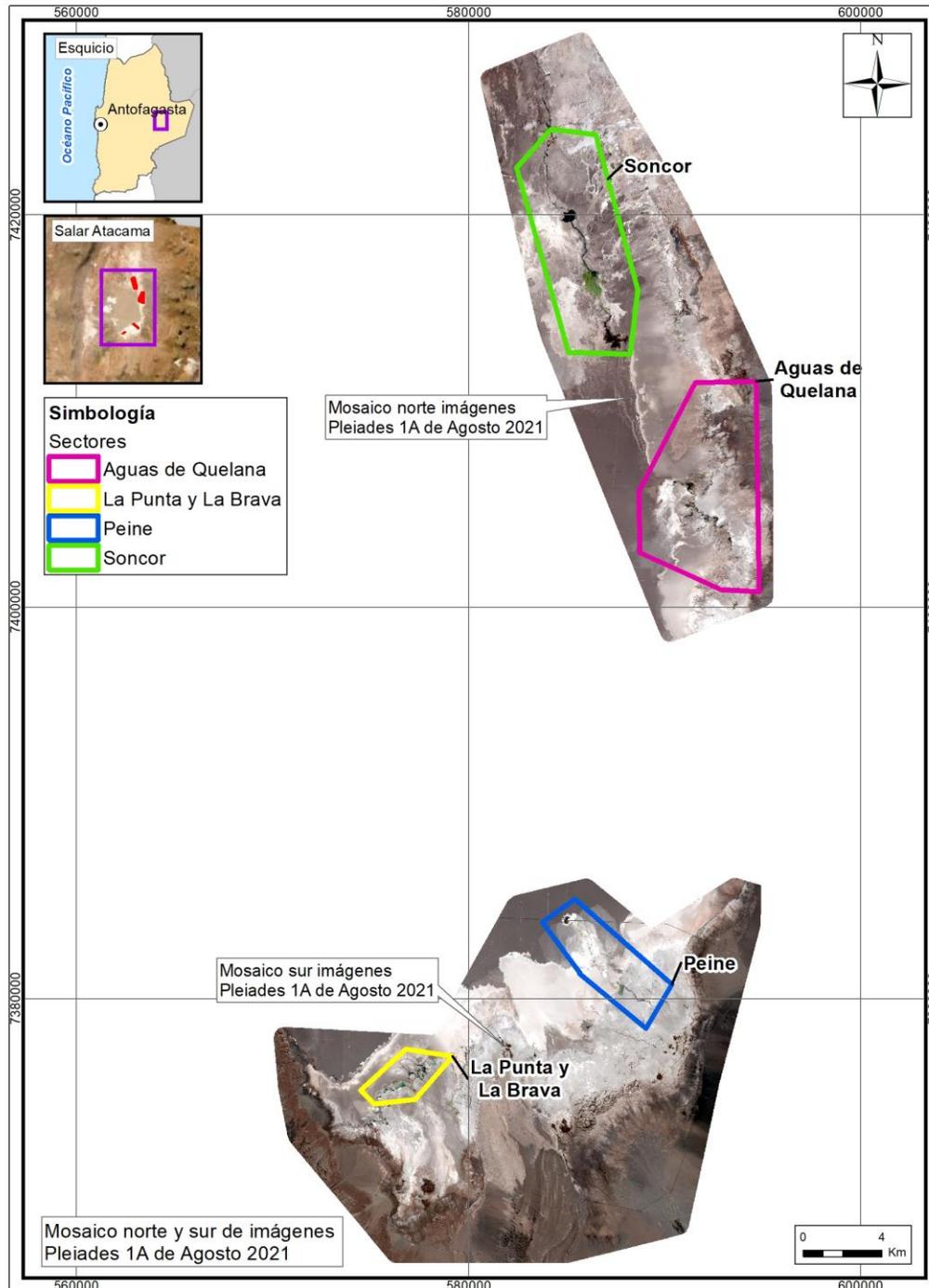
**Tabla N°4-3. Características técnicas del sensor Pleiades-1A.**

CARACTERÍSTICAS	DETALLE	
Órbita	Altitud: 695 km	
	Tipo: Tipo sincrónica con el sol	
Bandas Sensor	Pancromáticas: 480 - 830 nm	
	Multiespectrales	
	Azul: 430 - 550 nm	Rojo: 600 - 720 nm
	Verde: 490 - 610 nm	Infrarrojo: 750 - 950 nm
Resolución del sensor	Pancromática: 50 cm	
	Multiespectral: 2 m	

Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>.

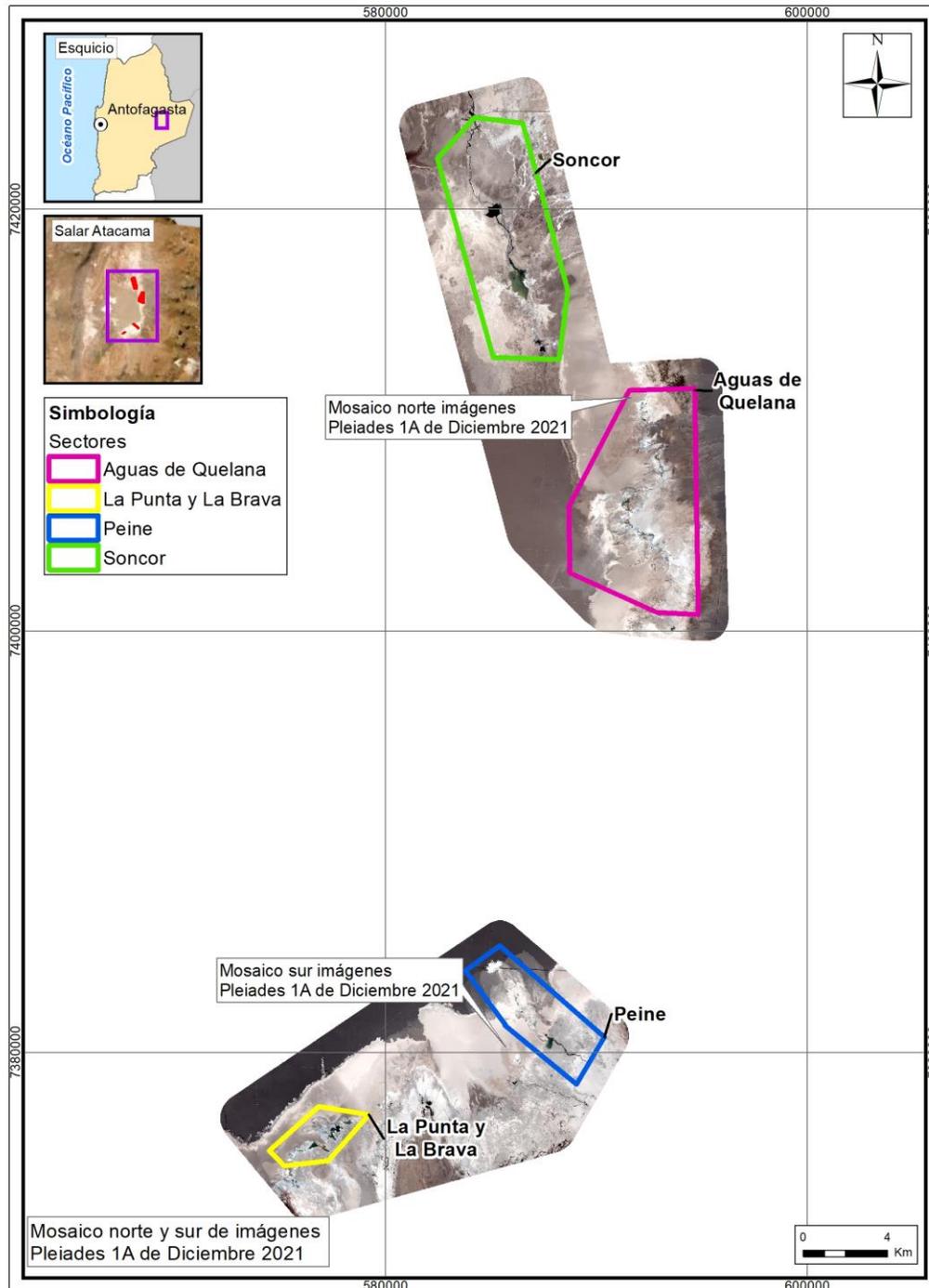
Visitada en agosto y diciembre 2021.

**Figura N°4-2. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2021.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (invierno 2021).

**Figura N°4-3. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades-1A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2021.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes alta resolución Pleiades-1A (verano 2021).

#### 4.6.2 Imagen de resolución media – LANDSAT 8

Las imágenes usadas cubren por completo el área de estudio y las fechas de captura corresponden al **24 de agosto y 14 de diciembre de 2021**. La descarga se realiza en forma gratuita desde <http://earthexplorer.usgs.gov/>, sitio *web* de *United States Geological Survey* (USGS; Figura N°4-4). El sensor Landsat 8 dispone de 11 bandas espectrales, con una resolución (tamaño del píxel) de 30 x 30 m. De éstas, se utilizaron cinco bandas en el proceso de delimitación de los cuerpos de agua del área de estudio. Las características de las bandas espectrales del sensor LANDSAT 8 se describen en Tabla N°4-4 y el ANEXO 9-8 presenta la *metadata* de la imagen descargada.

**Figura N°4-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2021 (izquierda – RGB) y verano 2021 (derecha - RGB).**



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre de 2021.

**Tabla N°4-4. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8**

Banda	Ancho (µm)	Resolución (m)
Band 1 Costera	0,43 – 0,45	30
Band 2 Azul	0,45 – 0,51	30
Band 3 Verde	0,53 – 0,59	30
Band 4 Rojo	0,64 – 0,67	30
Band 5 Infrarrojo Cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Band 6 Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	1,57 – 1,65	30
Band 7 Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	2,11 – 2,29	30
Band 8 Pancromática (Pan)	0,50 – 0,68	15
Band 9 Cirros (Cirrus)	1,36 – 1,38	30
Band 10 Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)	10,6 – 11,19	100
Band 11 Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)	11,5 – 12,51	100

Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Visitada en agosto y diciembre de 2021.

### 4.6.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades-1A de alta resolución, fueron sometidas a procesamiento digital de correcciones radiométricas y atmosféricas, con el fin de reducir errores provenientes de interferencias, las cuales pueden ser producto del ángulo de captura y alteraciones en el movimiento del satélite, o bien el efecto de las partículas presentes en la atmósfera, entre otros.

Inicialmente, a cada imagen se le realizó una corrección radiométrica, la cual consiste en la conversión de los valores de píxeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )<sup>7</sup>. Este proceso se utiliza como medio de calibración para disminuir la falta de uniformidad en los valores digitales debido a efectos producidos por errores sistemáticos en el sensor, tales como la contaminación de partículas en el plano focal de éste, las que pueden manifestarse en forma de manchas y bandas en las imágenes. Esta conversión proporciona una base para la comparación de datos en una sola escena o entre imágenes adquiridas en fechas diferentes o por diferentes sensores (Chander *et al.*, 2009).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de cada imagen. Esta corrección busca reducir el efecto de la interacción de las moléculas y partículas de la atmósfera (vapor de agua, polvo en suspensión, aerosoles, entre otras) en la radiación electromagnética captada por los sensores de un satélite. La eliminación de los efectos atmosféricos y del terreno, recuperan los parámetros físicos de la superficie incluyendo la reflectancia, visibilidad del suelo y temperatura. Para este fin, se utilizó el modelo de corrección espectral de reflectancia a nivel de superficie de *Airbus*, realizado por el mismo proveedor. Este modelo permite ejecutar correcciones de reflectancia provenientes de la parte alta de la atmósfera, la eliminación de neblina y el enmascaramiento de nubes, así como correcciones de la atmósfera baja y a nivel de suelo, y las correcciones atmosféricas de la temperatura superficial.

Es importante mencionar que este método en comparación al método IARR (por su sigla en inglés, y que corresponde al promedio interno de reflectancia relativa, aplicado en la línea de base), constituye un mejoramiento en el modelo actual, producto del refinamiento en el proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de *Airbus* (Chuvieco, 2006). Esta diferencia metodológica, puede variar la respuesta espectral de los parámetros espectrales utilizados (*i.e.* NDVI, NDWI; Lamolda, 2008), conduciendo a la mejor detección de cuerpos de agua con el modelo actual (el ANEXO 9-6 detalla los ajustes metodológicos aplicados y sus implicancias en la estimación de los cuerpos de agua).

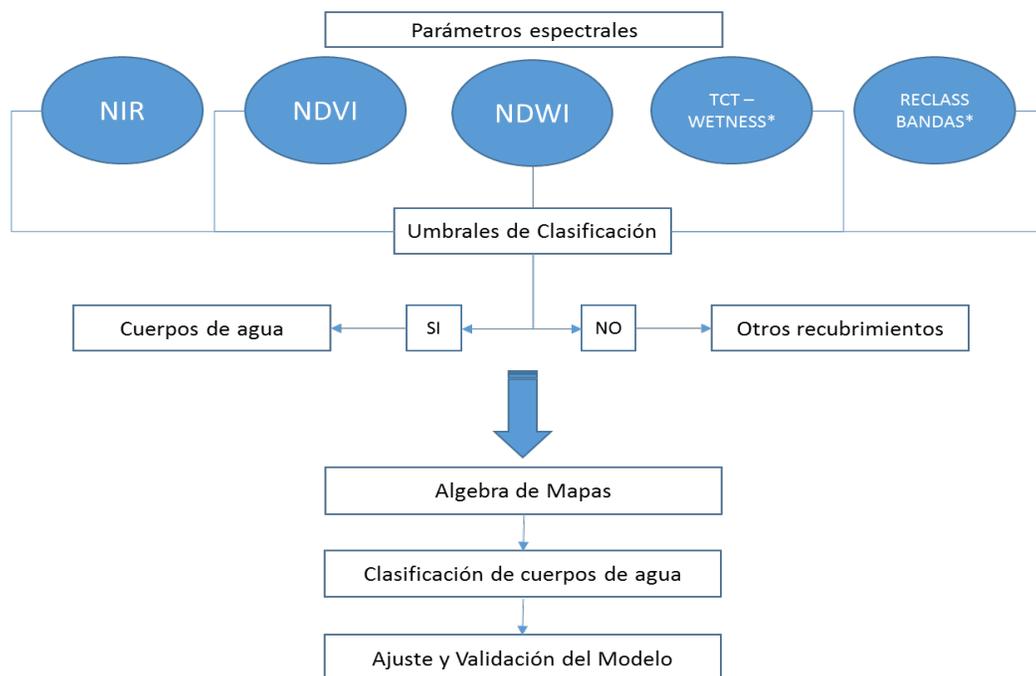
Posteriormente, las imágenes fueron ortorrectificadas para eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, en el caso de las imágenes de alta resolución Pleiades-1A, fueron unidas conformando dos mosaicos dentro del área de estudio (polígono norte y sur en la Figura N°4-2 y Figura N°4-3).

<sup>7</sup> Dónde: W: Watts; m<sup>2</sup>: metro cuadrado; sr: estereorradián;  $\mu m$ : micrómetro.

#### 4.6.4 Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua

El modelo usado durante este análisis se desarrolló en base a la metodología “Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (NDWI por su sigla en inglés), la cual fue empleada en el estudio desarrollado en la Adenda 5 del proyecto RWL (2015); y que fue establecido como la línea de base para este componente.

**Figura N°4-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales.**



\* La transformación “*Tasseled Cap*” *Wetness* se pudo utilizar sólo en el caso de Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. En su reemplazo, para las imágenes de alta resolución Pleiades 1A se utilizó la Reclasificación de bandas (RECLASS BANDAS).

Fuente: Cedrem Consultores en base a metodología “Modificada del Índice Normalizado de Diferencia de Agua” (MNDWI) en Adenda 5 RWL (2015).

La clasificación supervisada de imágenes satelitales se empleó para la identificación y delimitación de los cuerpos de agua. El método se inicia con el establecimiento, mediante criterio de experto, de los umbrales de clasificación para cada uno de los parámetros espectrales de evaluación que tienen una respuesta determinada ante la presencia de un cuerpo de agua. Posteriormente, en un modelo de árbol de decisiones, se estiman los cuerpos de agua, utilizando la combinación de los criterios definidos en el paso anterior y se evalúa el ajuste y la precisión del modelo mediante la comparación con los datos validados en terreno/fotointerpretación (Figura N°4-5).

Los parámetros evaluados durante la clasificación supervisada en el presente estudio fueron cinco:

- i) La reclasificación de la banda infrarroja (NIR),
- ii) el índice NDWI;
- iii) el índice NDVI;
- iv) la reclasificación de bandas espectrales ( $B1 < B2$ ) y ( $B3 > B4$ ), usada en el modelo de imágenes de alta resolución Pleiades-1A y
- v) la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*; Kauth & Thomas, 1976), la cual se utilizó para el caso Landsat 8, dado el mayor número de bandas que ofrece este sensor. El acápite 4.6.5 describe en detalle cada uno de estos parámetros.

Comparativamente entre la metodología de línea de base y la actual, cabe destacar que en esta última se incorporan dos parámetros espectrales adicionales, correspondientes a NDVI y a la transformación “*Tasseled Cap*” (*Wetness*). Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado, considerando que los suelos salinos usualmente presentan distintos tipos y concentraciones de sales, afectando la reflectancia del suelo en distintos grados y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales (Wang *et al.*, 2012). El ANEXO 9-6 detalla los ajustes metodológicos aplicados en relación a la línea de base y las posibles implicancias en la estimación de los cuerpos de agua.

#### 4.6.5 Parámetros espectrales del modelo de clasificación

##### a. Índice de Diferencia Normalizada de Agua - NDWI

El índice NDWI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Water Index*) varía entre -1 y 1, asociando los valores positivos para las superficies con agua o húmedas y cero o negativo para el suelo y la vegetación terrestre estresada. El cálculo de este índice se realizó siguiendo la fórmula:

$$NDWI = (V - NIR) / (V + NIR)$$

Dónde: **V** es la reflectancia en el verde y **NIR** es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes LANDSAT 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

##### b. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación - NDVI

El Índice NDVI (por su sigla en inglés, *Normalized Difference Vegetation Index*), consiste en la comparación entre las bandas roja e infrarroja cercana, mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

El NDVI varía entre -1 y 1 y resalta en valores positivos las áreas con presencia de vegetación basándose en la reflectancia diferencial de la clorofila entre la banda infrarroja cercana (**NIR**) y la banda roja (**R**) del espectro visible. Adicionalmente, en el rango de los valores negativos este índice detecta superficies que generalmente corresponden a nubes o cuerpos de agua.

El cálculo de este parámetro se realizó tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

### c. NIR - Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

La Banda NIR (Banda 5 en Landsat 8 y Banda 4 en Pleiades-1A), posee características espectrales útiles para la detección de cuerpos de agua. Dadas las propiedades del agua de absorción de la radiación electromagnética; esta baja reflectividad en el infrarrojo resulta útil en la distinción de áreas de tierra o suelos desnudos y agua.

Para el cálculo de este parámetro, se realiza la reclasificación de este parámetro tanto en las imágenes Landsat 8 como en las imágenes de alta resolución Pleiades-1A.

### d. Reclasificación de bandas espectrales a partir de la condición de bandas de la imagen de alta resolución

Este parámetro consistió en un procedimiento de clasificación binaria de los píxeles en las imágenes espectrales Pleiades-1A, en que los píxeles de las bandas espectrales de las imágenes se enfrentaron a la condición lógica de la presencia de cuerpos de agua versus otros recubrimientos, en base al segmento de longitud de onda que refleja cada banda. Para este caso se procedió el cumplimiento de la condición:  $(B1 < B2)$  y  $(B3 > B4)$ . Donde las bandas corresponden a: B1 azul, B2 verde, B3 rojo y B4 infrarrojo cercano.

### e. Transformación “*Tasseled Cap*”

La transformación “*Tasseled Cap*” (TCT) fue desarrollada para optimizar la visualización de la vegetación en imágenes multispectrales (Hernández, 2005). Esta transformación produce tres nuevas bandas a partir de las originales de la imagen: Brillo (Brightness), Verdor (Greenness) y Humedad (Wetness).

El índice de humedad es un contraste entre la reflectancia en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y el visible/infrarrojo cercano (VNIR), proporcionando una medida del contenido de humedad del suelo. En estas bandas, el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo) (Crist & Cicone, 1984; Crist, *et al.*, 1986).

Este parámetro se utilizó sólo en el caso de Landsat 8 y para su cálculo se utilizaron coeficientes que derivan estadísticamente a partir de estas imágenes y de observaciones empíricas que son específicos para cada sensor (Crist, *et al.* 1986).

#### 4.6.6 Umbrales y validación del modelo de clasificación

Durante el proceso de clasificación supervisada, se establecieron umbrales de clasificación de cada parámetro del modelo, los cuales representaron el valor límite de clasificación como cuerpo de agua u otro recubrimiento. Estos umbrales fueron definidos para cada sector, según el parámetro, para cada tipo de imagen satelital y para cada temporada (mes – año). La búsqueda de umbrales se realiza en cada monitoreo, en consideración a las diferencias en la percepción del sensor de los recubrimientos

del suelo, en otros, por el ángulo de iluminación del sol y la temporada del año en que se dé la captura; esta variación se traduce en el valor de los datos a analizar y por ende de valor de corte o umbral.

La definición de cada umbral se realiza mediante inspección visual, controlada por el conocimiento de las características de los objetos a catalogar, su respuesta espectral y los umbrales determinados en campañas anteriores. Además, este proceso se realizó en base a la representación del patrón espacial de las coberturas de la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). Cabe destacar que las variaciones de estos valores respecto a la línea de base son atribuibles al cambio del tipo de imágenes satelitales usadas, a las variaciones atmosféricas, las diferencias en el procesamiento de éstas y a cambios en los valores del conjunto de datos de cada imagen, correspondientes a los ajustes metodológicos detallados en el ANEXO 9-6.

**Tabla N°4-5. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2021.**

TIPO DE IMAGEN	ÍNDICE	SISTEMA LAGUNAR			
		LA PUNTA - LA BRAVA	PEINE	AGUAS DE QUELANA	SONCOR
<b>Invierno 2021</b>					
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P85 >= -0,127195	NB 7/20 >= -0,004244	NB 16/20 >= -0,145156	NB 9/30 >= -0,079443
	NDVI	P5 <= -0,055289	NB 13/20 <= -0,093219	NB 5/20 <= 0,035311	NB 24/30 <= 0,04773
	NIR - B5	R 7/15 <= 0,27441	P10 <= 0,33292	NB 5/20 <= 0,252032	P10 <= 0,254813
	WETNESS	NO	R 15/32 >= 0,17772	NO	P85 >= 0,091104
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	P80 >= -0,102997	NB 9/20 >= -0,055116	NB 16/32 >= -0,201415	NB 8/20 >= -0,100372
	NDVI	NB 10/15 <= 0,021313	NB 11/20 <= 0,022765	NB 9/32 <= 0,037603	R 6/10 <= -0,084536
	NIR - B4	P10 <= 0,258085	NB 11/25 <= 0,304606	NB 4/20 <= 0,198155	P5 <= 0,1712111
	(B1<B2) y (B3>B4)	SI	SI	NO	SI
<b>Verano 2021</b>					
Parámetros LANDSAT 8	NDWI	P80 >= -0,148903	R 4/20 >= -0,0902645	R 10/17 >= -0,157224	P85 >= -0,166429
	NDVI	P5 <= 0,029532	P5 <= 0,0553688	NB 7/32 <= 0,0460315	P5 <= 0,053036
	NIR - B5	R 9/15 <= 0,41498	P15 <= 0,40934	R 9/32 <= 0,290156	P5 <= 0,287953
	WETNESS	NO	R 9/20 >= 0,16853	NB 25/32 >= 0,2180185	P80 >= 0,07275
Parámetros AR PLEIADES	NDWI	NB 12/32 >= -0,016615	P85 >= -0,082909	NB 20/32 >= -0,052186	NB 6/15 >= -0,063024
	NDVI	NB 22/32 <= 0,018027	P5 <= 0,027515	R 14/32 <= 0,016159	P5 <= 0,026615
	NIR - B4	P5 <= 0,43538	NB 4/9 <= 0,419913	NB 7/32 <= 0,296834	R 3/10 <= 0,299594
	(B1<B2) y (B3>B4)	SI	SI	NO	SI

Dónde: Métodos de clasificación de datos: R: Intervalo equivalente (*Equal Interval*), NB: Quiebres naturales (*Natural breaks*), P: Percentiles (*Quantile*). Umbrales definidos cada temporada de monitoreo, de acuerdo con las variaciones temporales del sensor y la naturaleza de los sustratos. Fuente: Elaboración Propia.

Debido a la complejidad de las áreas de estudio, fue preciso considerar diferentes intervalos en las distribuciones de las variables. Para ello, se utilizaron los métodos de clasificación de datos por percentiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales; esto con el objeto de encontrar el mejor ajuste en el modelo de clasificación. Este proceso se realizó en el software ArcGIS 10.6. Los métodos de clasificación de datos permiten visualmente agrupar valores similares, y bajo ese análisis determinar cuál es la agrupación de datos (desde que valor o umbral) se expresa con mejor ajuste los tipos de recubrimientos (agua, otros recubrimientos).

Una vez fijado cada umbral de clasificación, se extrae el conjunto de píxeles espectralmente similares que formaron grupos o clases, a las que luego se les asigno el tipo de recubrimiento de suelo que representaban (cuerpos de agua u otros recubrimientos).

El cálculo final del modelo por sector se realiza mediante la unión de los parámetros reclasificados según el umbral definido y se determinó la cobertura de agua cuando al menos dos de los cuatro parámetros coincidían en clasificar el píxel como “cuerpo de agua”, de lo contrario quedó asignado como “otro recubrimiento”; esto para ambos tipos de imágenes. El criterio de decisión en la cantidad de parámetros usados para asignar la categoría se relaciona con la complejidad del patrón espacial de cada sistema lagunar y de su variabilidad estacional (Ortiz, C. *et al*, 2014; DGA, 2014; Cornellà, O. *et al*, 2009).

Posteriormente, se procede con la validación del modelo de clasificación la cual se realiza a través de una matriz de confusión, que permite evaluar la exactitud del modelo. Fundamentalmente consiste en estimar el número de puntos correctamente cartografiados dentro de un conjunto de datos. En este caso, la matriz se construyó con la información del tipo de recubrimiento establecido en los puntos de validación de terreno/fotointerpretación y fueron comparados con los resultados del modelo. En esta matriz, la diagonal principal indica que las muestras fueron coincidentes o correctamente interpretadas (ITC, 1999 en Flores, 2002).

El interés del uso de esta tabla de confusión proviene de su capacidad para plasmar conflictos entre categorías. De esta forma no sólo se conoce la fiabilidad global de la clasificación, sino también la exactitud conseguida para cada una de las clases, así como los principales conflictos entre ellas (Chuvieco, 2006).

A partir de la matriz de confusión se realiza el cálculo del índice *Kappa*<sup>8</sup>, el cual es una medida ajuste en términos de la exactitud del modelo de clasificación. Este mide la diferencia entre los datos de validación de terreno/fotointerpretación y la clasificación según el modelo, e intenta delimitar el grado de ajuste de los datos, prescindiendo de los factores aleatorios (Congalton, 1991). El coeficiente *Kappa* fue calculado de la siguiente manera:

$$\kappa = \frac{[(\Sigma \text{ concordancias observadas}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}{[(\text{total de observaciones}) - (\Sigma \text{ concordancias atribuibles al azar})]}$$

El índice *Kappa* tiene un rango entre 0 y 1 el cual representa proporcionalmente la exactitud en el ajuste del modelo. Valores de *K* cercanos a 1 revelan una muy buena concordancia entre la realidad observada y la cobertura obtenida. Contrariamente, valores próximos a 0 sugieren que la concordancia observada es sólo debido al azar. Según Landis y Koch (1977), valores  $K > 0,4$  indican un modelo de clasificación *aceptable* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

<sup>8</sup> Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

Con los datos de la revalidación en terreno/fotointerpretación y la clasificación finalizada por sistema lagunar, se procede a evaluar su ajuste mediante la utilización de la matriz de confusión y el Índice de *Kappa*, con la finalidad de determinar el nivel de ajuste obtenido.

Complementario a lo anterior, a partir de la matriz de confusión también se obtuvo el índice de precisión global (*overall accuracy* u OA) que define la cantidad de puntos correctamente clasificados midiendo así la calidad de una clasificación expresada en porcentaje (0 a 100%), en que, si todos los puntos de la imagen son clasificados al grupo que le corresponde según la información se terreno/fotointerpretación, vale decir, un 100% de coincidencias, se puede hablar de una clasificación perfecta (Li, Y., 2014).

#### 4.6.7 Depuración cartográfica de cuerpos de agua

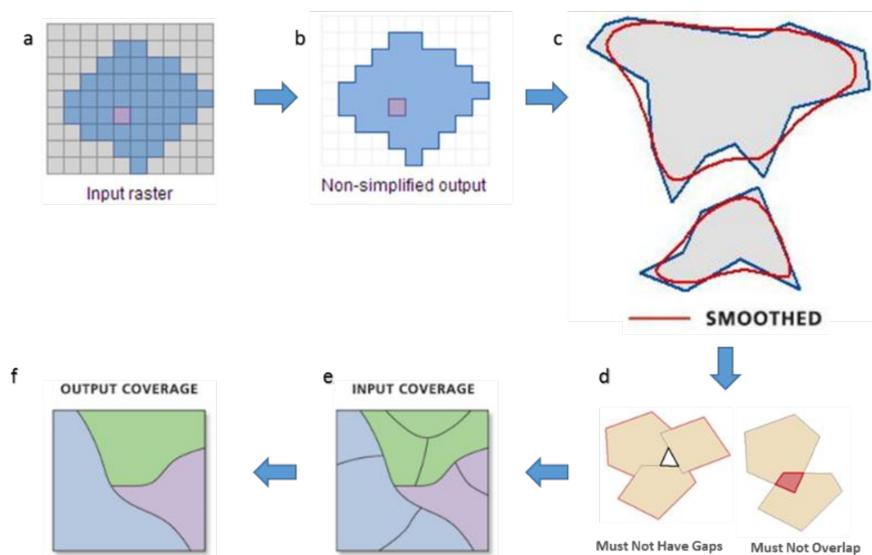
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades-1A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato *raster* a entidades de polígonos en formato *shape*. El resultado se sometió a un proceso de suavizado, por la presencia de ángulos cerrados en sus contornos, para mejorar la calidad estética de la cartografía y su aproximación al contexto real (Figura N°4-6).

Adicionalmente, se realiza una depuración final en los *shapes*, la cual busca reducir errores de clasificación aleatorios siguiendo dos criterios:

- i) Remoción de polígonos clasificados como cuerpos de agua con tamaño inferior al equivalente de un píxel (0,0004 ha en Pleiades-1A y 0,09 ha en Landsat 8) y que estuvieran aislados a los cuerpos de agua de mayor tamaño dentro del sector de estudio y,
- ii) Revisión y ajuste de las coberturas mediante fotointerpretación en cuerpos de agua permanentes, siguiendo el patrón espacial de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015) y de los monitoreos de invierno y verano de 2021, sobre las imágenes de alta resolución y Landsat 8.

Producto de estas operaciones se origina una clasificación binaria (cuerpos de agua / otros recubrimientos), que son fusionados con parámetros con igual codificación y ajustados a los polígonos que delimitan las áreas de estudio. El resultado final corresponde a un archivo en formato *shape* de cada sistema lagunar (La Punta y La Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor).

**Figura N°4-6. Diagrama del proceso de transformación y depuración de imágenes formato de cobertura continua (*raster*) a polígonos (*shape*).**



Dónde: **a:** Ingreso Raster; **b:** transformación a formato shape; **c:** suavizado de polígonos; **d:** corrección de errores topológicos; **e:** generación de entidades poligonales; **f:** fusión de polígonos.

Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes ESRI.

#### 4.7 Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua

De acuerdo con lo expresado en la sección 4.2. *Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua*, esta etapa dio cumplimiento a lo dispuesto por el PSAH, numeral 3.2.6 Superficie cubierta por lagunas (Anexo 3, Adenda 5 RWL, 2015 y a la RCA N°21/2016).

En base a estos documentos, el análisis comparativo de las superficies se realizó por sistema lagunar, en base a las siguientes tipologías:

- *Comparación con registros históricos de línea de base:* se realizó entre el resultado de las superficies de lagunas registradas en los monitoreos de agosto y diciembre 2021, y las variaciones en relación con el mínimo histórico de la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).
- *Comparación entre imágenes satelitales:* se realizó una comparación entre las superficies determinadas en el monitoreo 2021 desde las imágenes de alta resolución Pleiades-1A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2021, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2020.

Cabe destacar que el actual monitoreo, describe los cuerpos de agua en condiciones de operación del proyecto.

#### 4.8 Fechas de medición

En la campaña invierno 2021 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los cuatro sectores de estudio, dada la suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle (Ver **ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**); en tanto las imágenes Pleiades 1A se obtuvieron el 16 de agosto de 2021, y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el 24 de agosto de 2021. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis de invierno 2021 se presentan en el ANEXO 9-7 y ANEXO 9-8.

En la campaña verano 2021 solo fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en el sector La Punta y La Brava y en un sector la Laguna Interna del sector Peine. Por su lado, se presentaron medidas de restricción de movilidad que no permitieron el traslado y acceso al sector Peine (lagunas Salada y Saladita), reduciendo las posibilidades de validación en este sector principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución, pudiéndose no obstante realizar validación en terreno y tomas de imagen dron – UVA en el sector Laguna Interna, dado que no presentaba restricciones de acceso. Esta restricción, fue puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva. Para los sectores ubicados al norte, Sector Soncor y Aguas de Quelana, se desarrolló un protocolo de control de acceso hacia áreas con presencia de flamencos en fase reproductiva por parte de CONAF; por lo tanto, solo se realizó vuelo UVA/dron y trabajo de validación en terreno, en sectores autorizados, lo que no obstante se ubicaban en sectores marginales de estos sistemas hídricos.

La campaña de terreno de verano 2021 para los sitios sin restricción de movilidad se llevó a cabo los días 14 al 17 de diciembre de 2021. Las imágenes Pleiades 1A de esta campaña se obtuvieron el 12 de diciembre de 2021, y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el 14 de diciembre de 2021. Las fechas y datos de las imágenes utilizadas en el análisis de verano 2021 se presentan en el ANEXO 9-7 y ANEXO 9-8.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

Para el periodo de agosto de 2021, la clasificación supervisada de cuerpos de agua, basada en datos de terreno, no se llevó a cabo en los sectores en seguimiento dadas las restricciones de movilidad por suspensión de actividades en la Planta Salar debido a una huelga asociada a uno de los sindicatos de Albemarle (Ver **ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo, Plan de Seguimiento RCA N°21.**); en tanto para el periodo de diciembre de 2021, la validación en terreno se cumplió sólo en el sistema lagunar de La Punta y La Brava y el subsector Laguna Interna del sector Peine, debido a la restricción puesta por la Comunidad de Peine, limitando el acceso a áreas con poblaciones de flamencos en fase reproductiva (sector lagunas de Peine: Salada y Saladita). Para los sectores ubicados al norte, Sector Soncor y Aguas de Quelana, se desarrolló un protocolo de control de acceso hacia áreas con presencia de flamencos en fase reproductiva por parte de CONAF; por lo tanto, solo se realizó vuelo UVA/dron y trabajo de validación en terreno, en sectores autorizados, lo que no obstante se ubicaban en sectores marginales de estos sistemas hídricos. En todos los casos en que se presentaron restricciones de movilidad y control de acceso se completa la validación principalmente a través de fotointerpretación en gabinete con imagen de alta resolución.

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, con relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, se realizó mediante el índice *Kappa*. Este índice tuvo una variación entre 0,92 y 0,69 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A (Tabla N°5-1) y desde 0,93 y 0,75 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-2) en agosto de 2021. Respecto de diciembre de 2021, este índice tuvo una variación entre 0,92 y 0,61 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A (Tabla N°5-3) y desde 0,87 a 0,50 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-4). Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a casi perfecta*<sup>9</sup>.

En relación a la precisión global, los valores tuvieron una variación entre 96% y 89% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A (Tabla N°5-1) y entre 94% y 97% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-2) en agosto de 2021. Respecto de diciembre de 2021, la precisión global del modelo tuvo una variación entre 96% y 87% para imágenes de alta resolución Pleiades-1A (Tabla N°5-3) y desde 93% a 86% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-4). La precisión global expresa que proporción de puntos de validación coincidió correctamente con el modelo generado, expresado como un porcentaje, siendo la precisión del 100% una clasificación perfecta. Valores promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado en terreno, y en los otros casos en gabinete a través de las imágenes, con el resultado del método de clasificación supervisada en todos los sectores y para ambas temporadas (agosto 2021 y diciembre 2021).

El sistema lagunar que muestra mayor ajuste en agosto de 2021 desde imágenes Pleiades 1A es Peine con 0,92, y en Landsat 8 son los sectores Soncor y Peine ambos con 0,93. En el caso de los sistemas Soncor y Peine la definición de los bordes lagunares y el confinamiento de los cuerpos de agua en áreas

<sup>9</sup> Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

---

definidas, permite al modelo delimitar mejor las áreas de ocupación resultando en *kappa casi perfecto*. El menor ajuste para agosto 2021 se observa en el sector Aguas de Quelana, para ambos tipos de sensores, con 0,69 en Pleiades 1A y 0,75 en Landsat 8; esto se debe principalmente a la fisonomía de los cuerpos de agua con poca definición de bordes y discontinuidad de las áreas inundadas.

En cuanto al mayor ajuste de diciembre de 2021, se observa en el sistema lagunar de Soncor con 0,92 para Pleiades 1A; y en tanto para Landsat 8 el mejor ajuste se observa en el sector de Peine con 0,87. Para Pleiades 1A y Landsat 8 el menor ajuste lo presenta el sector La Punta y La Brava (0,61 y 0,50, respectivamente). De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual (generalmente asociado a los sectores Peine y Soncor). Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR. Esto ocurre por el avance o retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes como microorganismos, o que en las que se acentúa la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes., aumentando el error en sitios de transición seca - húmeda. Esto último es lo que determinó un menor índice kappa en el sector La Punta y La Brava.

**Tabla N°5-1. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Agosto, 2021.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	65	22	87	74,7	25,3	
	Otros Recubrimientos	1	217	218	99,5	0,5	
	<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>239</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	98,5	90,8	-	-	-	
	***Error omisión (%)	1,5	9,2	-	-	Índice Kappa:	0,80
						Precisión global (OA):	92%
Peine	Cuerpos de agua	114	7	121	94,2	5,8	
	Otros Recubrimientos	0	70	70	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>77</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	90,9	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	9,1	-	-	Índice Kappa:	0,92
						Precisión global (OA):	96%
Aguas de Quelana	Cuerpos de agua	14	9	23	60,9	39,1	
	Otros Recubrimientos	0	61	61	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>70</b>	<b>84</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	87,1	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	12,9	-	-	Índice Kappa:	0,69
						Precisión global (OA):	89%
Soncor	Cuerpos de agua	124	12	136	91,2	8,8	
	Otros Recubrimientos	0	120	120	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>132</b>	<b>256</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	90,9	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	9,1	-	-	Índice Kappa:	0,91
						Precisión global (OA):	95%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).  
Elaboración propia

**Tabla N°5-2. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Agosto, 2021.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	23	1	24	95,8	4,2	
	Otros Recubrimientos	2	71	73	97,3	2,7	
	<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>72</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	92,0	98,6	-	-	-	
	***Error omisión (%)	8,0	1,4	-	-	Índice Kappa:	0,92
						Precisión global (OA):	97%
Peine	Cuerpos de agua	86	5	91	94,5	5,5	
	Otros Recubrimientos	1	90	91	98,9	1,1	
	<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>95</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	98,9	94,7	-	-	-	
	**Error omisión (%)	1,1	5,3	-	-	Índice Kappa:	0,93
						Precisión global (OA):	97%
Aguas de Quelana	Cuerpos de agua	9	5	14	64,3	35,7	
	Otros Recubrimientos	0	70	70	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>75</b>	<b>84</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	93,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	6,7	-	-	Índice Kappa:	0,75
						Precisión global (OA):	94%
Soncor	Cuerpos de agua	121	5	126	96,0	4,0	
	Otros Recubrimientos	3	104	107	97,2	2,8	
	<b>Total</b>	<b>124</b>	<b>109</b>	<b>233</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	97,6	95,4	-	-	-	
	***Error omisión (%)	2,4	4,6	-	-	Índice Kappa:	0,93
						Precisión global (OA):	97%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).

Elaboración propia

**Tabla N°5-3. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1A: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Diciembre de 2021.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	44	41	85	51,8	48,2	
	Otros Recubrimientos	0	220	220	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>261</b>	<b>305</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	84,3	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	15,7	-	-	Índice Kappa:	0,61
						Precisión global (OA):	87%
Peine	Cuerpos de agua	97	21	118	82,2	17,8	
	Otros Recubrimientos	0	73	73	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>94</b>	<b>191</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	77,7	-	-	-	
	**Error omisión (%)	0,0	22,3	-	-	Índice Kappa:	0,78
						Precisión global (OA):	89%
Aguas de Quelana	Cuerpos de agua	9	5	14	64,3	35,7	
	Otros Recubrimientos	2	68	70	97,1	2,9	
	<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>73</b>	<b>84</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	81,8	93,2	-	-	-	
	***Error omisión (%)	18,2	6,8	-	-	Índice Kappa:	0,67
						Precisión global (OA):	92%
Soncor	Cuerpos de agua	100	9	109	91,7	8,3	
	Otros Recubrimientos	1	146	147	99,3	0,7	
	<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>155</b>	<b>256</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	99,0	94,2	-	-	-	
	***Error omisión (%)	1,0	5,8	-	-	Índice Kappa:	0,92
						Precisión global (OA):	96%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvienco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvienco, 2006).  
Elaboración propia

**Tabla N°5-4. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Landsat 8: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Diciembre de 2021.**

Sistema lagunar	Recubrimiento del modelo de clasificación	* Número de puntos de validación de terreno/fotointerpretación			** Exactitud del muestreo (%)	****Error de comisión (%)	
		Cuerpos de agua	Otros Recubrimientos	Total			
La Punta y La Brava	Cuerpos de agua	10	10	20	50,0	50,0	
	Otros Recubrimientos	4	73	77	94,8	5,2	
	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>83</b>	<b>97</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	71,4	88,0	-	-	-	
	***Error omisión (%)	28,6	12,0	-	-	Índice Kappa:	0,50
						Precisión global (OA):	86%
Peine	Cuerpos de agua	93	9	102	91,2	8,8	
	Otros Recubrimientos	3	77	80	96,3	3,8	
	<b>Total</b>	<b>96</b>	<b>86</b>	<b>182</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	96,9	89,5	-	-	-	
	**Error omisión (%)	3,1	10,5	-	-	Índice Kappa:	0,87
						Precisión global (OA):	93%
Aguas de Quelana	Cuerpos de agua	5	8	13	38,5	61,5	
	Otros Recubrimientos	0	71	71	100,0	0,0	
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>79</b>	<b>84</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	100,0	89,9	-	-	-	
	***Error omisión (%)	0,0	10,1	-	-	Índice Kappa:	0,51
						Precisión global (OA):	90%
Soncor	Cuerpos de agua	98	5	103	95,1	4,9	
	Otros Recubrimientos	13	117	130	90,0	10,0	
	<b>Total</b>	<b>111</b>	<b>122</b>	<b>233</b>	-	-	
	Exactitud de Campo (%)	88,3	95,9	-	-	-	
	***Error omisión (%)	11,7	4,1	-	-	Índice Kappa:	0,84
						Precisión global (OA):	92%

Dónde: \* número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo \*\*Exactitud global del mapa: relación entre el número de puntos asignados correctamente y el total de los puntos por cobertura; \*\*\*El error de omisión lo conforman los residuales de las columnas ubicados en la parte inferior de la matriz, estos indican la cobertura que no se incluyó en el modelo; \*\*\*\*El error de comisión explica los puntos del mapa que no coincidieron con la realidad (Chuvieco, 2006). Exactitud de campo, en referencia al conocimiento previo recopilado de terreno *in situ* o la observación indirecta del territorio por medio de fuentes digitales (imagen satelital – imagen fuente UVA/dron) (Chuvieco, 2006).

Elaboración propia

## 5.2 Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar

En términos generales, la Tabla N°5-5 y Tabla N°5-6 presentan las superficies de los cuerpos de agua que fueron determinadas a partir del modelo de clasificación supervisada. Al contrastar los resultados anuales de los cuatro sistemas en 2021, se observa que la mayor cobertura tanto en invierno 2021 como en verano 2021, son para el sector Soncor con 204,0 ha y 142,3 ha desde Pleiades 1A, respectivamente. En tanto, las menores superficies observadas desde el análisis con Landsat 8, se presentaron en el sector Aguas de Quelana, en invierno 2021 con 15,6 ha y 24,0 ha en verano 2021.

A continuación, en la Tabla N°5-5, se describe el detalle por sistema lagunar, de las coberturas determinadas desde la imagen de alta resolución (Pleiades 1A) y la comparación tanto con los registros de línea de base, como con las superficies desde Landsat 8 (Tabla N°5-6).

**Tabla N°5-5. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).**

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2021					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2021		Verano 2021		Promedio anual (2021)	
					ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	33,8	35	31,6	45,8	458.260,4	24,1	240.841,4	35,0	349.550,9
	PE	64,8	73,6	48,9	45,7	457.119,2	26,4	263.543,4	36,0	360.331,3
	AQ	22,2	33,1	11,3	15,6	156.478,7	8,9	88.834,3	12,3	122.656,5
	SO	217,4	234,2	192,4	204,0	2.039.790,2	142,3	1.423.074,3	173,1	1.731.432,2

Fuente: Cedrem Consultores

**Tabla N°5-6. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Landsat 8 y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).**

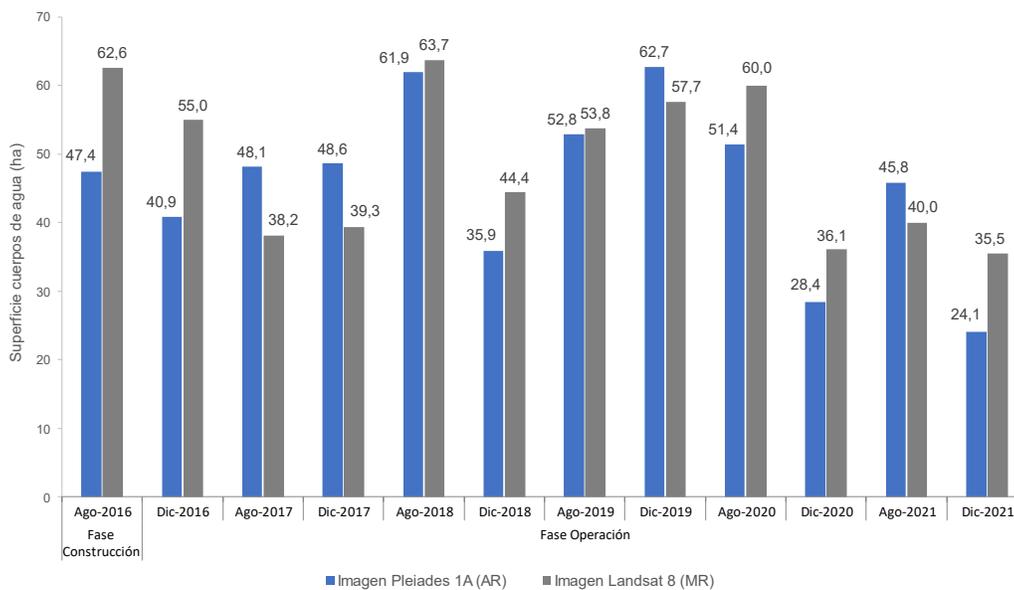
Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2021					
		Promedio (ha)	Máximo (ha)	Mínimo (ha)	Invierno 2021		Verano 2021		Promedio anual (2021)	
					ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>	ha	m <sup>2</sup>
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	33,8	35	31,6	40,0	399.631,7	35,5	355.025,8	37,7	377.328,7
	PE	64,8	73,6	48,9	36,0	359.676,6	33,4	333.609,9	34,7	346.643,2
	AQ	22,2	33,1	11,3	15,6	155.885,8	24,0	239.604,8	19,8	197.745,3
	SO	217,4	234,2	192,4	216,1	2.161.004,1	235,1	2.350.647,6	225,6	2.255.825,9

Fuente: Cedrem Consultores

### 5.2.1 La Punta y La Brava

En el sistema lagunar La Punta y La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 45,8 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 24,1 ha (Tabla N°5-5). La Figura N°5-1 y Figura N°5-3 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2021, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

**Figura N°5-1. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta y La Brava.**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m). Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 40,0 ha en agosto de 2021 y en diciembre 2021, se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 35,5 ha. Estos valores (agosto 2021) en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Pleiades 1A sobre Landsat 8 de un +12,8% (+5,9 ha) para este periodo. Desde imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 35,5 ha en diciembre de 2021, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +32,2% (+11,4 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial (tamaño píxel), y, por ende, al mayor grosor de los resultados del modelo de media resolución versus un modelo con mayor detalle que entrega el modelo de alta resolución (mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución).

---

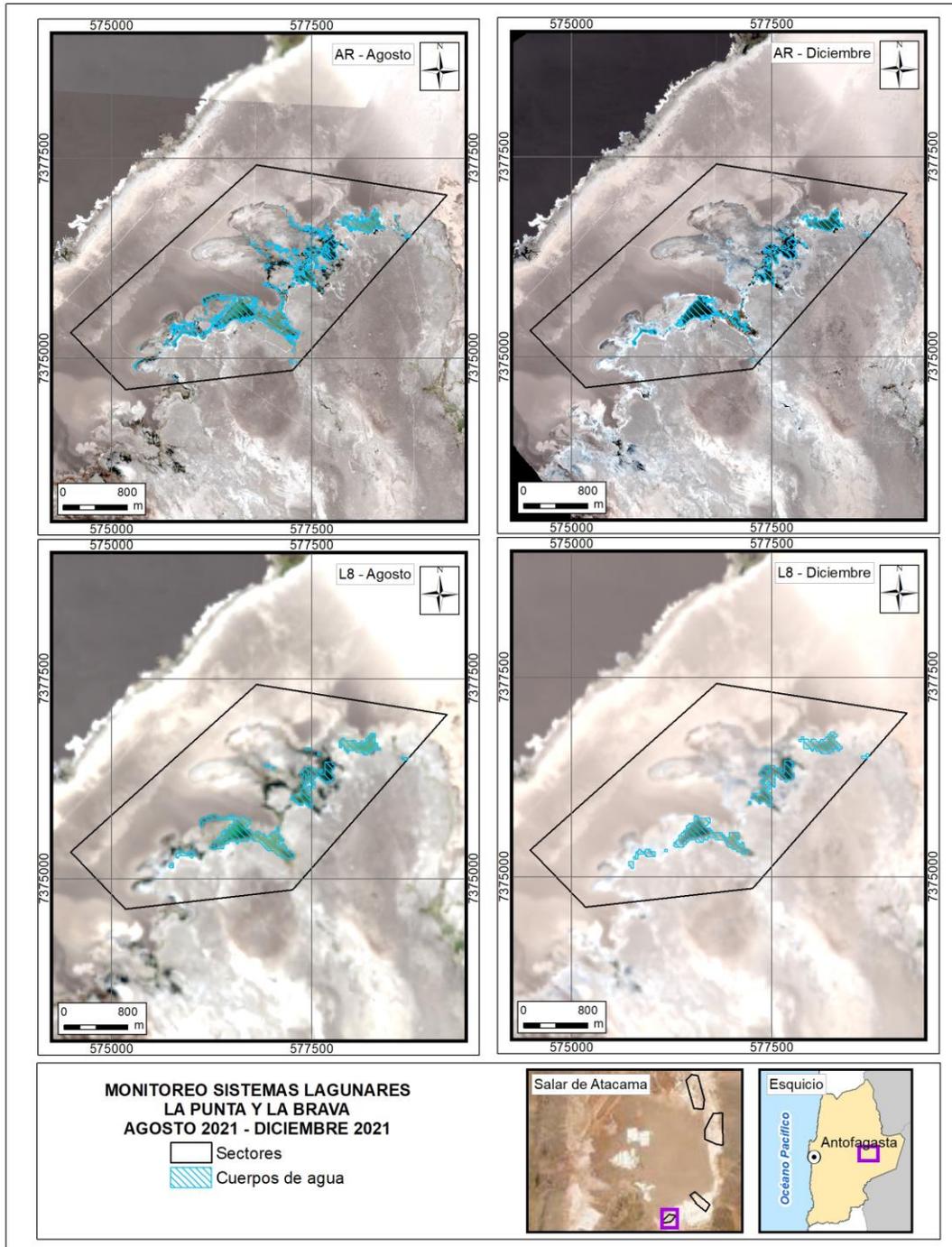
La correlación entre las superficies desde 2016 a 2021 en el sector La Punta y la Brava, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,690<sup>10</sup> lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor  $p$  es de 0,013. Puesto que el valor  $p$  es menor que el nivel de significancia de 0,05, la correlación es estadísticamente significativa.

Las Figura N°5-3 a la Figura N°5-6, muestran las superficies de los cuerpos de agua según tipo de imagen por año de monitoreo, desde 2016 a la fecha y su representación espacial respectivamente. Para el sector de la Punta y la Brava, se observan variaciones cíclicas interanuales, con un aumento de las superficies observables de los cuerpos de agua en el registro de invierno 2018 y verano 2019, tanto en las imágenes de alta como de mediana resolución. Por el contrario, las áreas de invierno 2021 y verano 2021, resultan ser los registros más bajos tanto en alta como media resolución, comparables con los registros de alta y media resolución de verano 2020; y los registros de alta y media resolución de verano 2018.

---

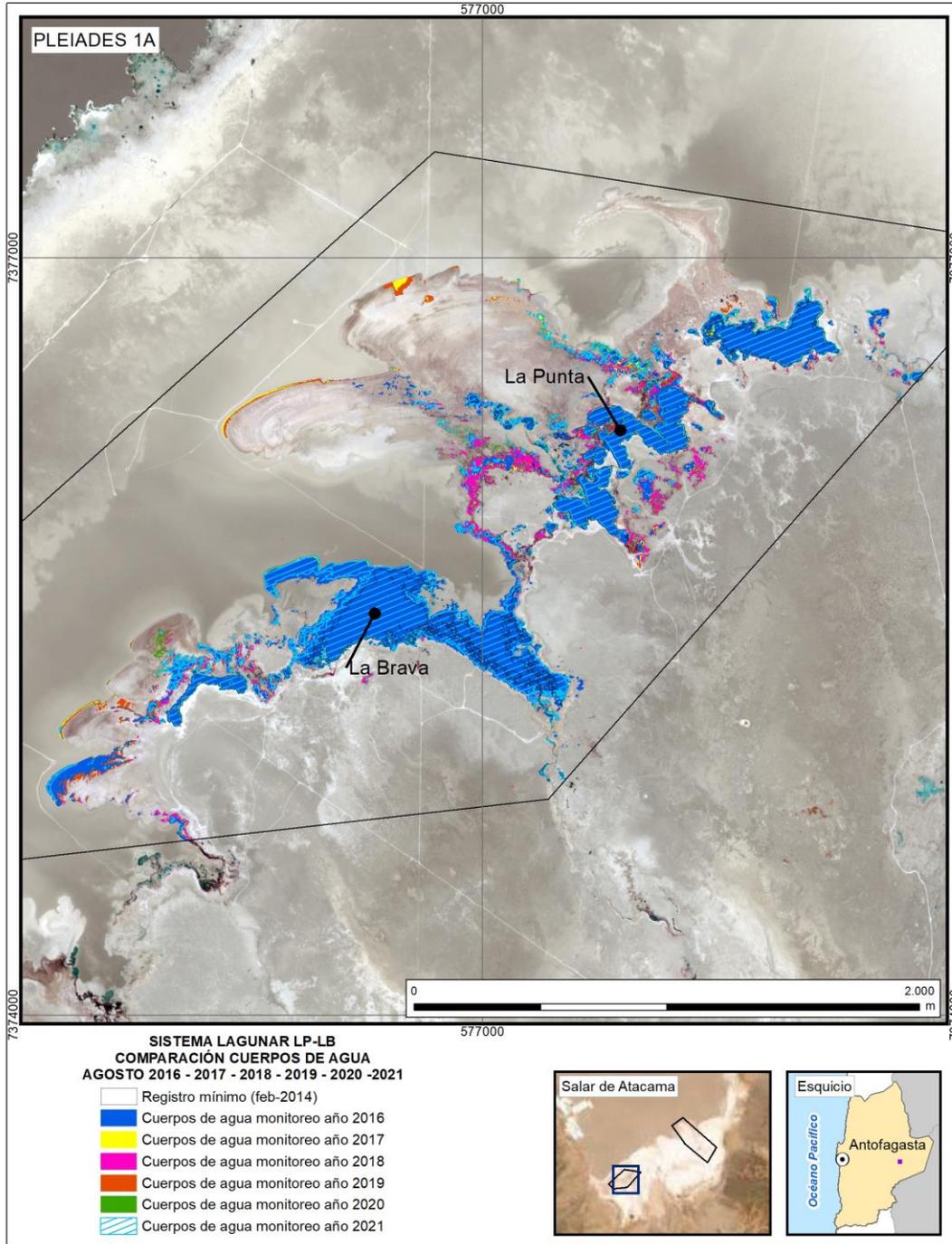
<sup>10</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de  $-1$  a  $+1$ . Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

**Figura N°5-2. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades-1A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta y La Brava, agosto 2021 – diciembre 2021.**



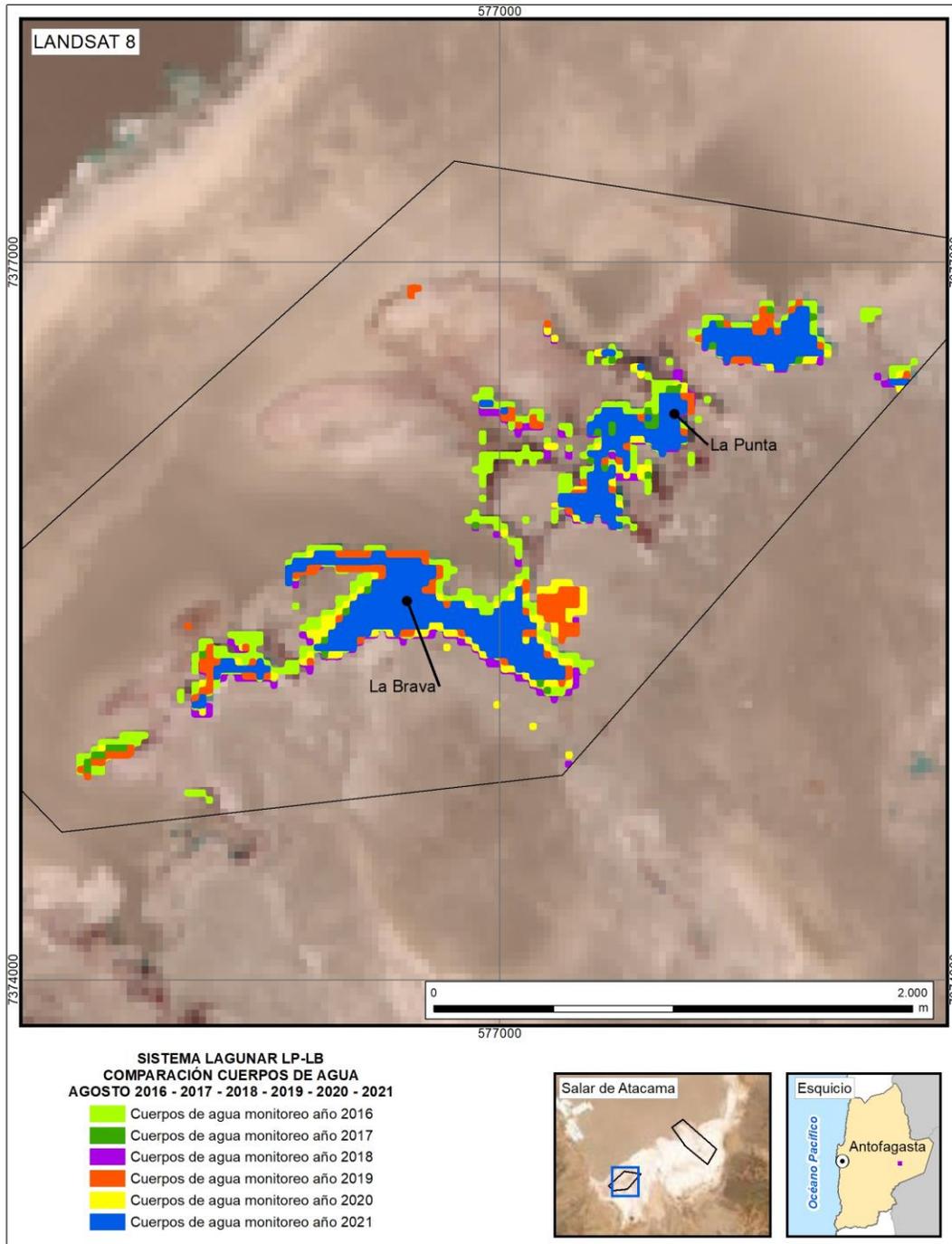
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2021 y diciembre de 2021.

**Figura N°5-3. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



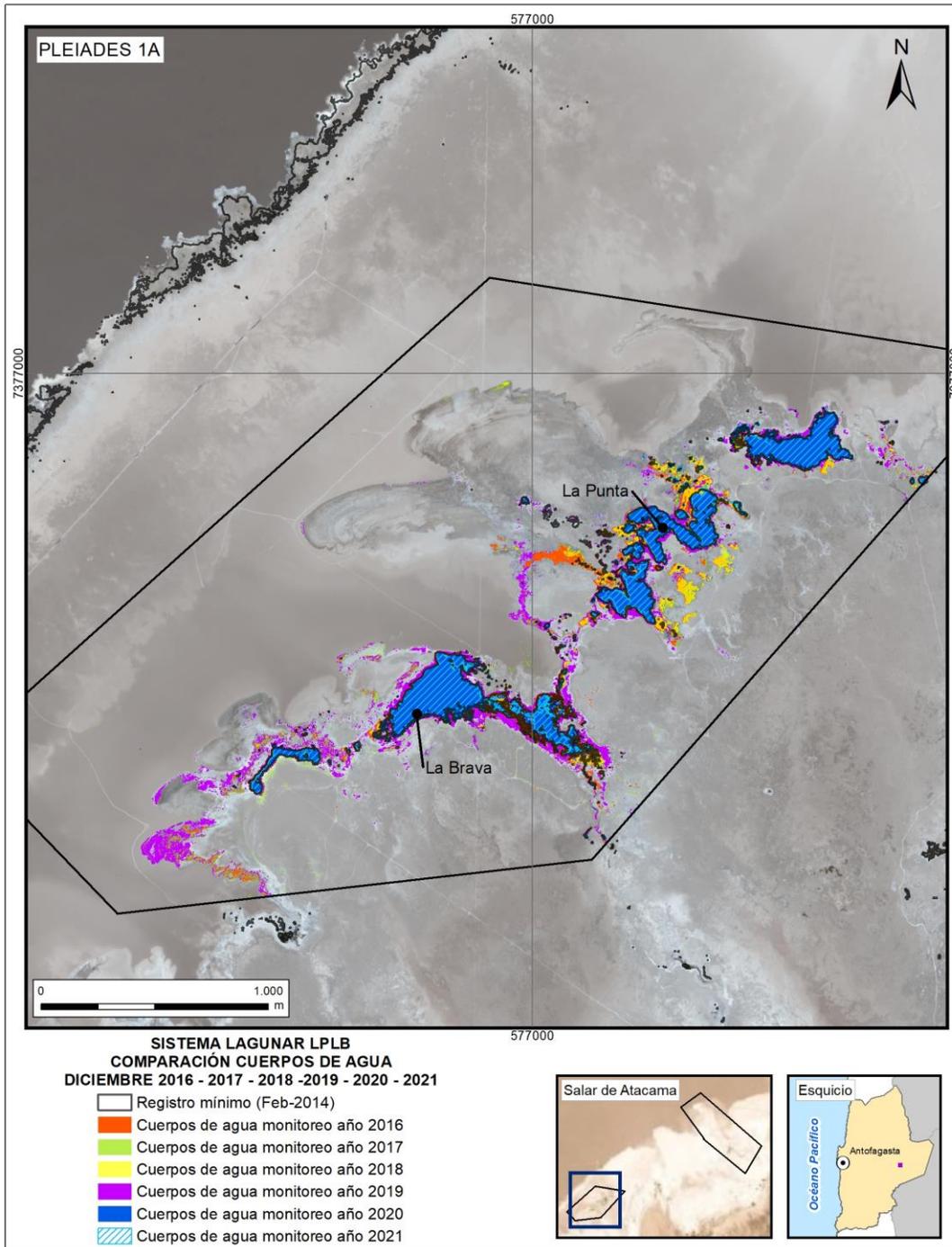
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021

**Figura N°5-4. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.**



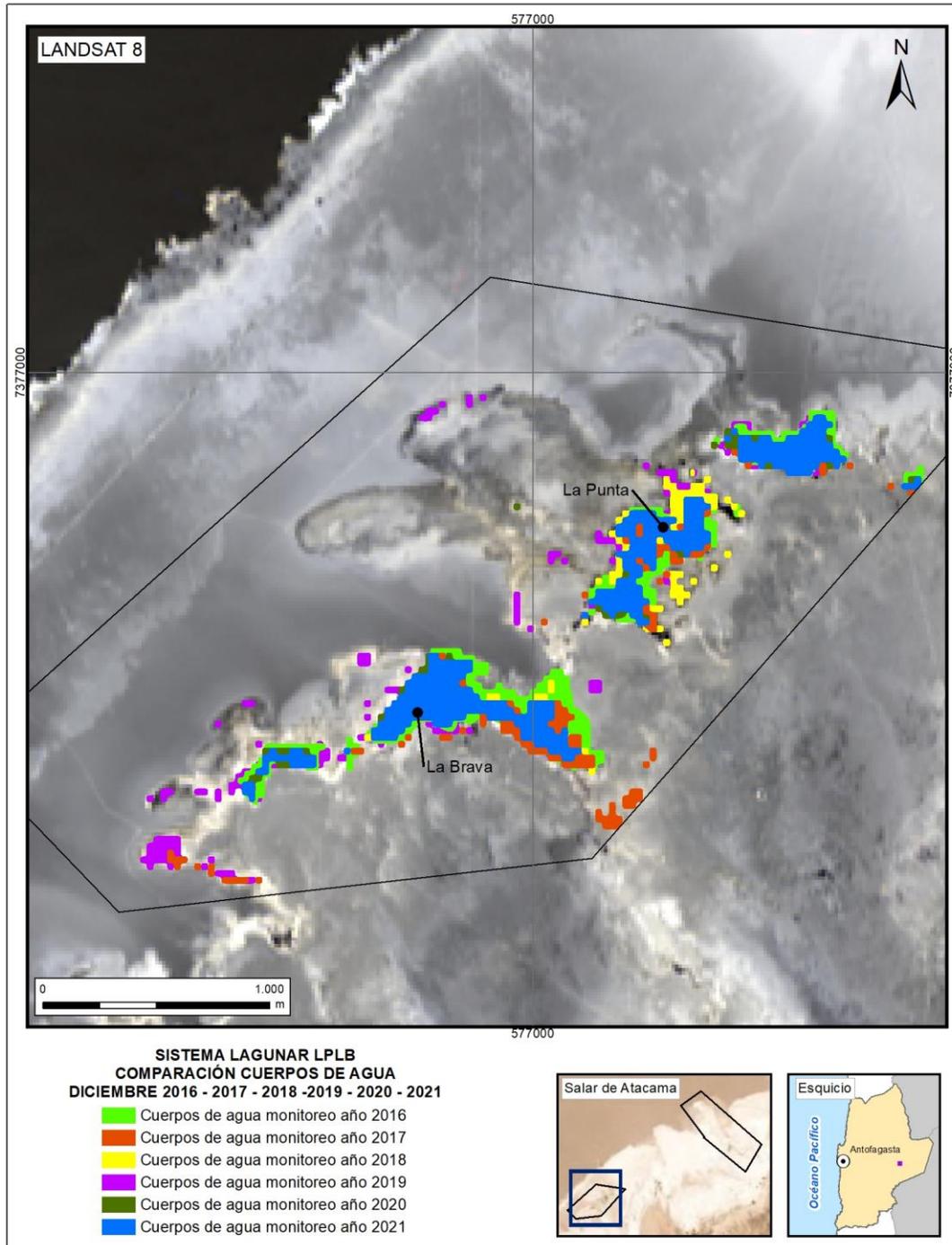
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021

**Figura N°5-5. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021

**Figura N°5-6. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector La Punta y La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.**

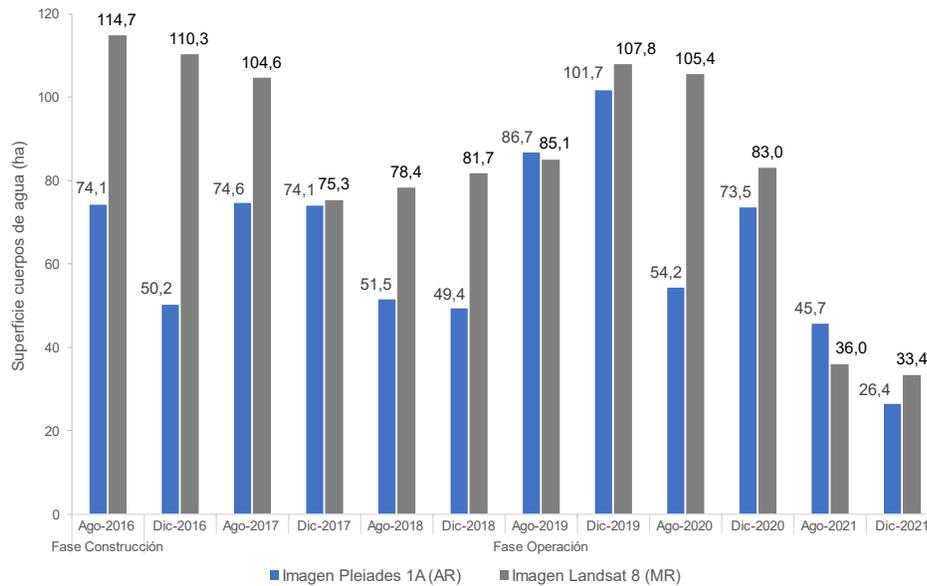


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021

**5.2.2 Peine**

En el sistema lagunar Peine, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 45,7 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 26,4 ha (Tabla N°5-5). La Figura N°5-7 y Figura N°5-8, muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2021, desde que se aprobó la RCA 021/2016.

**Figura N°5-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine.**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).  
 Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En el sistema lagunar Peine, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 36,0 ha en agosto de 2021; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Pleiades 1A sobre Landsat 8 de un +21,3% (+9,7 ha) para este periodo. Para las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 33,4 ha en diciembre de 2021, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +21,0% (+7,0 ha) para este periodo. Estas diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno del recubrimiento agua, por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución.

La correlación entre las superficies del sector Peine desde 2016 a 2021, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de

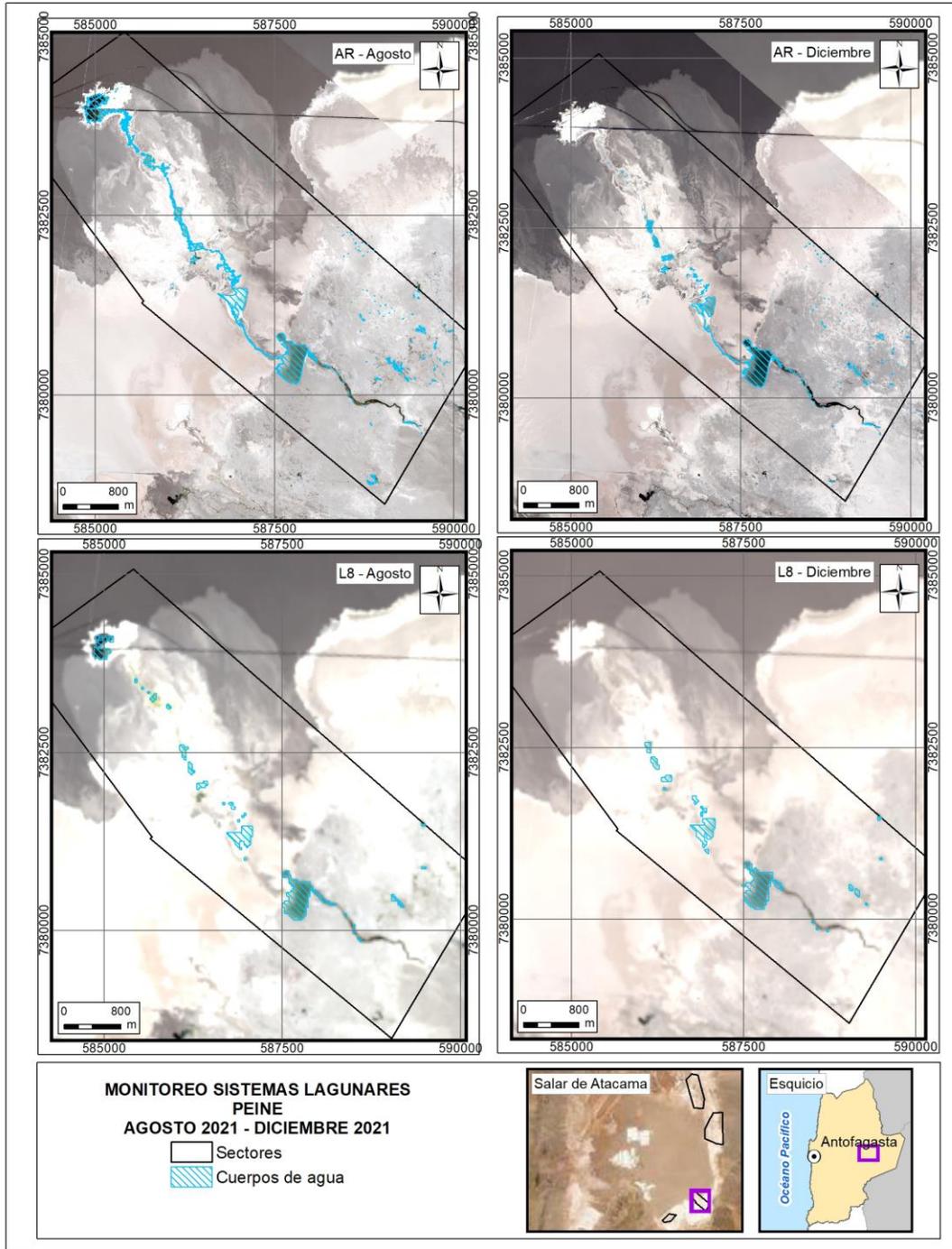
Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,594<sup>11</sup> lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor  $p$  es de 0,042 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables AR y Landsat.

Las Figuras N°5-9 a la Figura N°5-12, muestran los cambios en las superficies de los cuerpos de agua, desde 2016 a la fecha, y su representación espacial respectivamente. Para el sector Peine, la comparación entre monitores muestra que las superficies más bajas se presentan tanto en alta como baja resolución en los seguimientos de agosto 2021 y diciembre 2021, mientras que los registros más altos en alta resolución se encuentran en agosto y diciembre de 2019, y en media resolución los registros de agosto y diciembre de 2016.

---

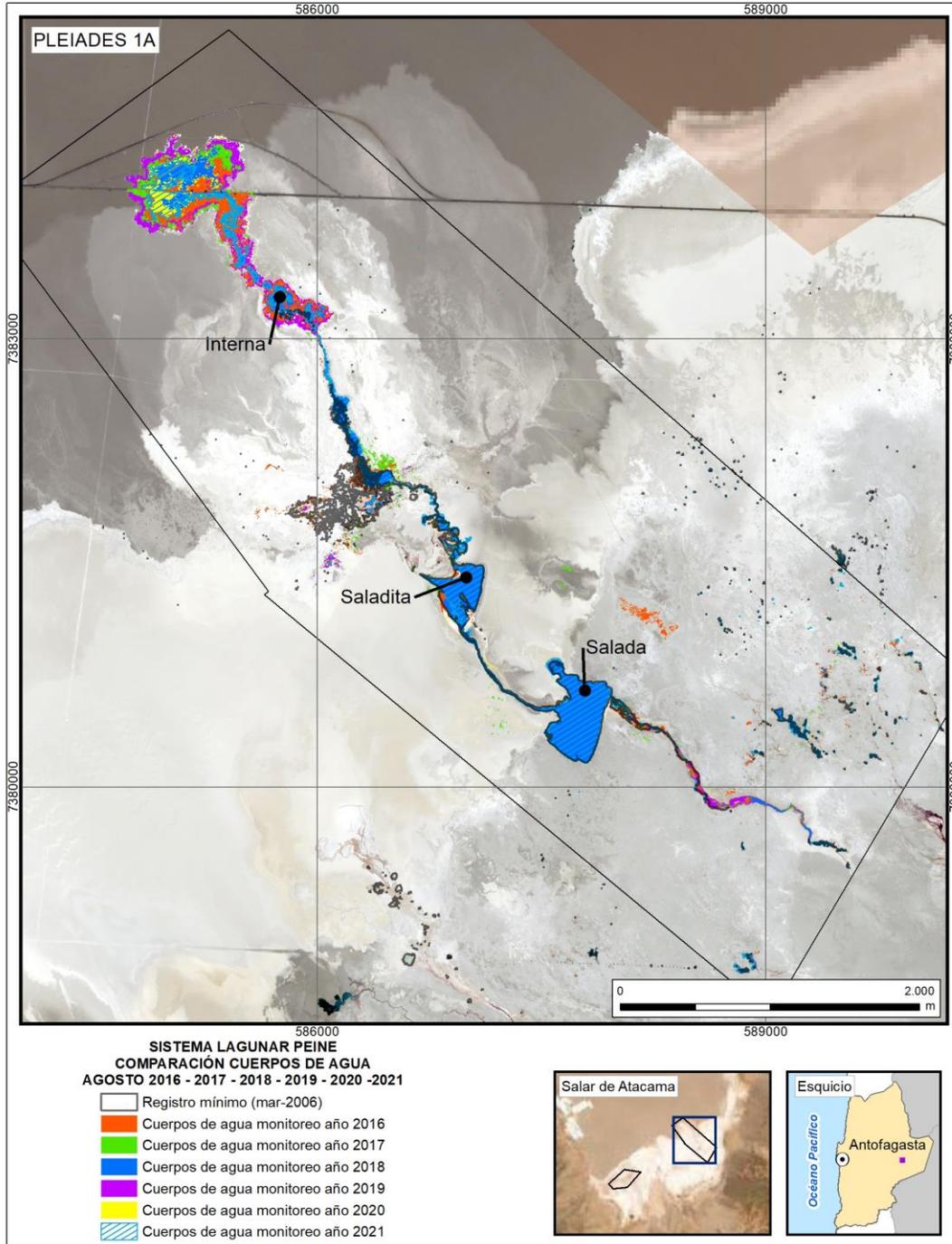
<sup>11</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de  $-1$  a  $+1$ . Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

**Figura N°5-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2021.**



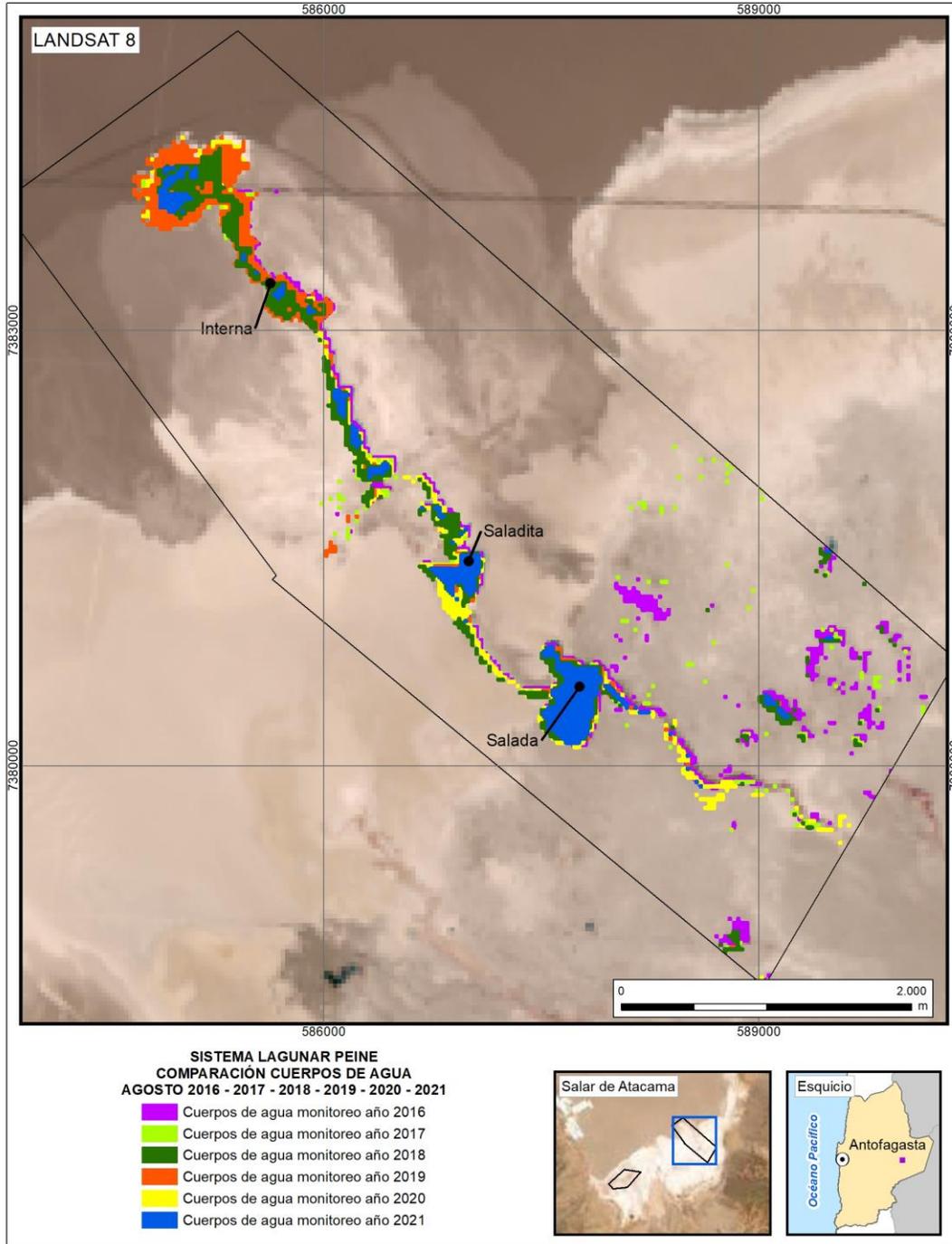
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2021.

**Figura N°5-9. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



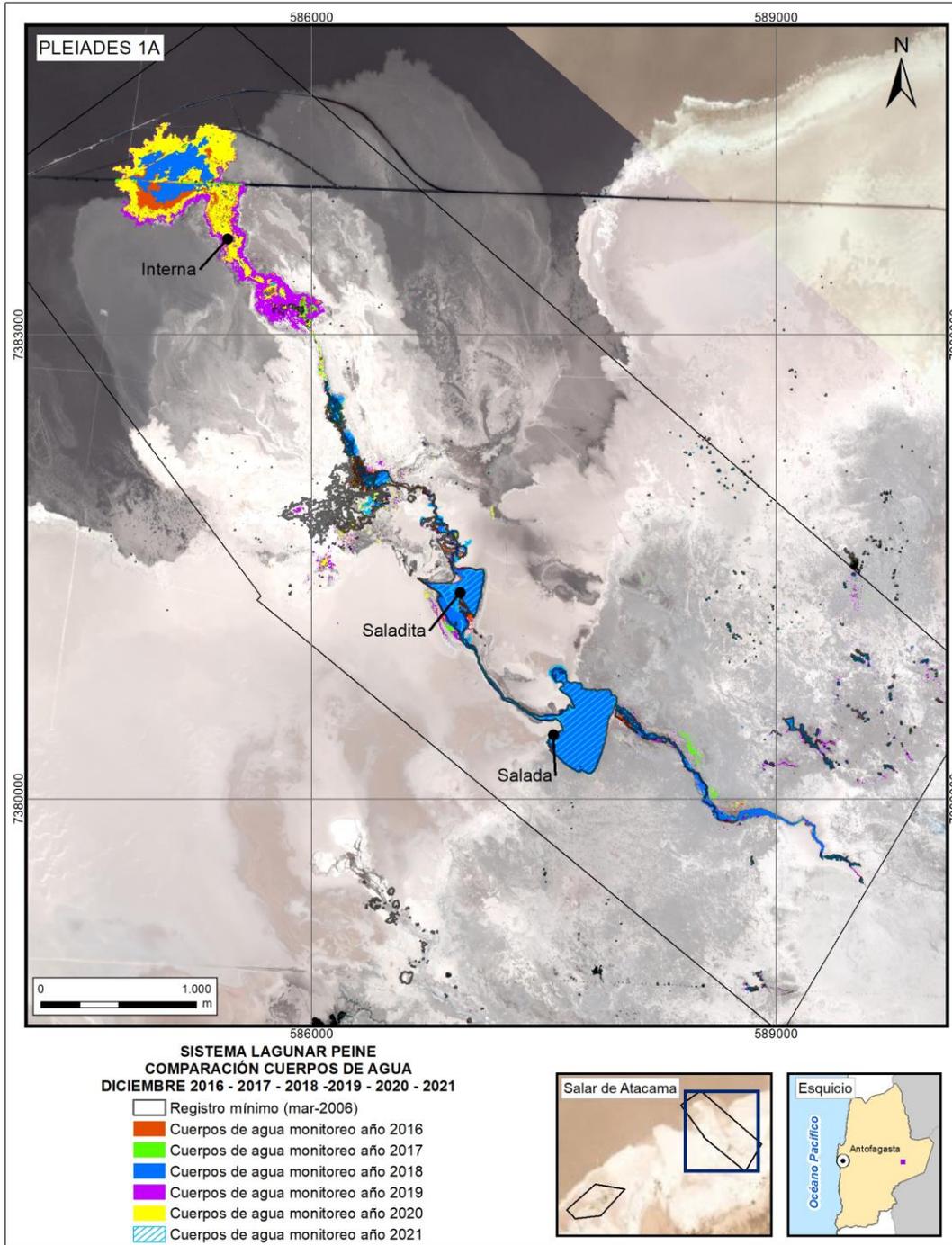
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

**Figura N°5-10. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.**



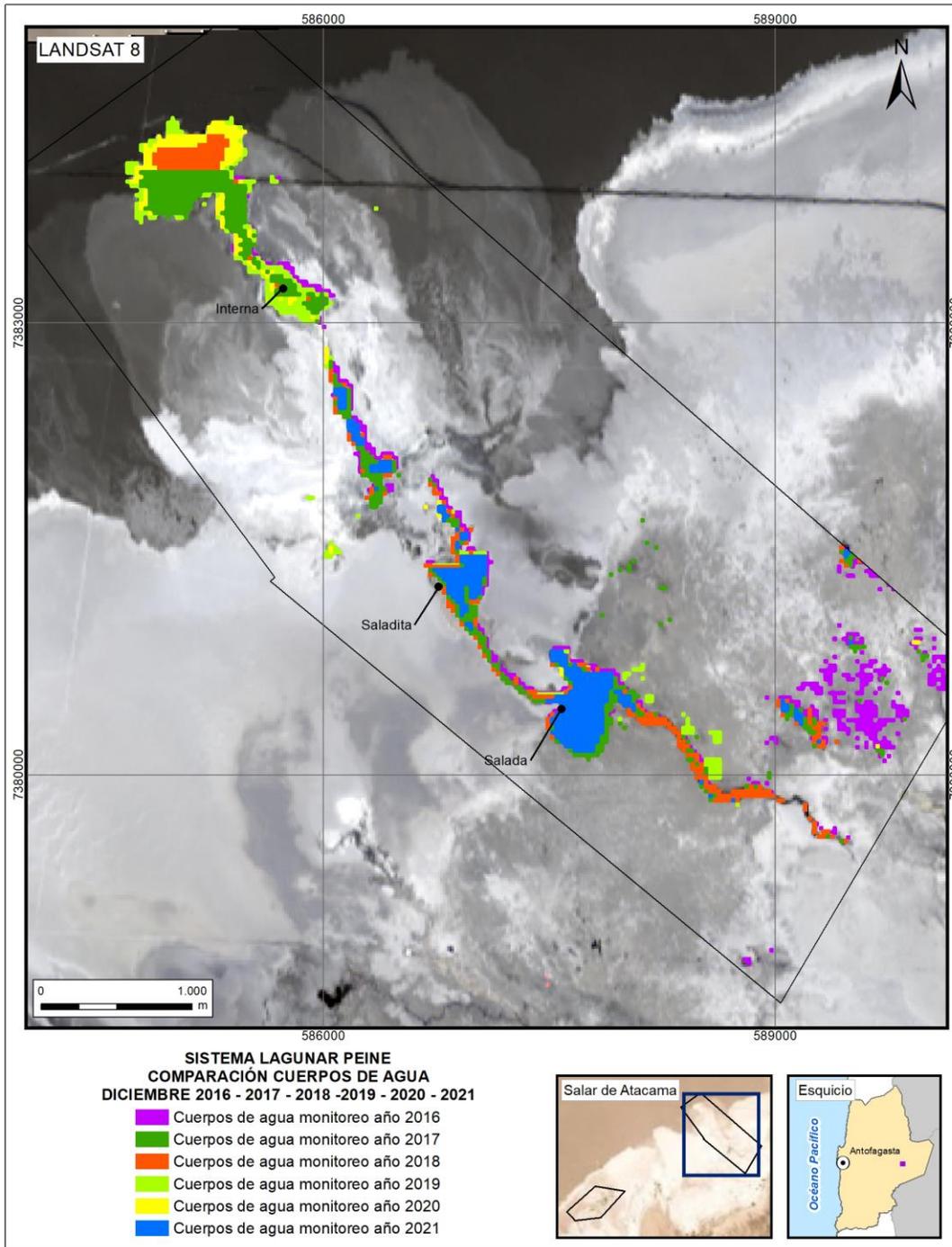
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

**Figura N°5-11. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021.

**Figura N°5-12. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.**

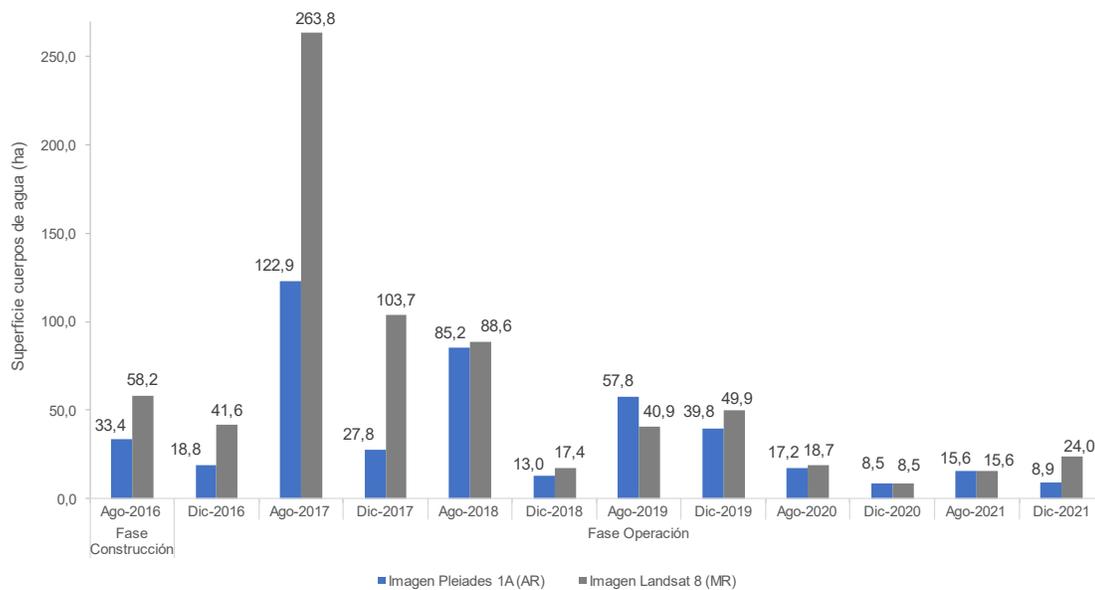


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2021.

### 5.2.3 Aguas de Quelana

En el sistema lagunar Aguas de Quelana, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 15,6 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 8,9 ha (Tabla N°5-5). La Figura N°5-13 y Figura N°5-14 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2021, desde la aprobación de la RCA 021/2016.

**Figura N°5-13. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua sistema lagunar Aguas de Quelana**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).  
 Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En el sistema lagunar Aguas de Quelana, desde las imágenes Landsat 8 se calculó una cobertura de cuerpos de agua que abarca una superficie de 15,6 ha en agosto de 2021; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de 0,06 ha entre Landsat 8 y Pleiades 1A para este periodo. Para las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 24,0 ha en diciembre de 2021, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1A de un +62,9% (+15,1 ha) para este periodo. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que las principales diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución. En el caso particular de los resultados del monitoreo de agosto 2017 y diciembre 2017, donde se da la mayor diferencia entre las imágenes Landsat 8 y Pleiades 1A, la mayor resolución y la existencia de extensas zonas inundadas, amplió la superficie de las áreas interconectadas, aumentando la superficie total, en relación con un resultado donde los contornos se ajustaron de mejor manera generando una superficie más definida a los bordes, en el caso de las imágenes Pleiades 1A. Sin embargo, el ajuste del modelo en monitoreos sucesivos ha ido acortando las diferencias entre imágenes, llegando a un

---

ajuste que no sobrepasa en promedio las 31,3 hectáreas para los inviernos y 21,4 hectáreas para los veranos, muy por debajo del caso particular de 2017.

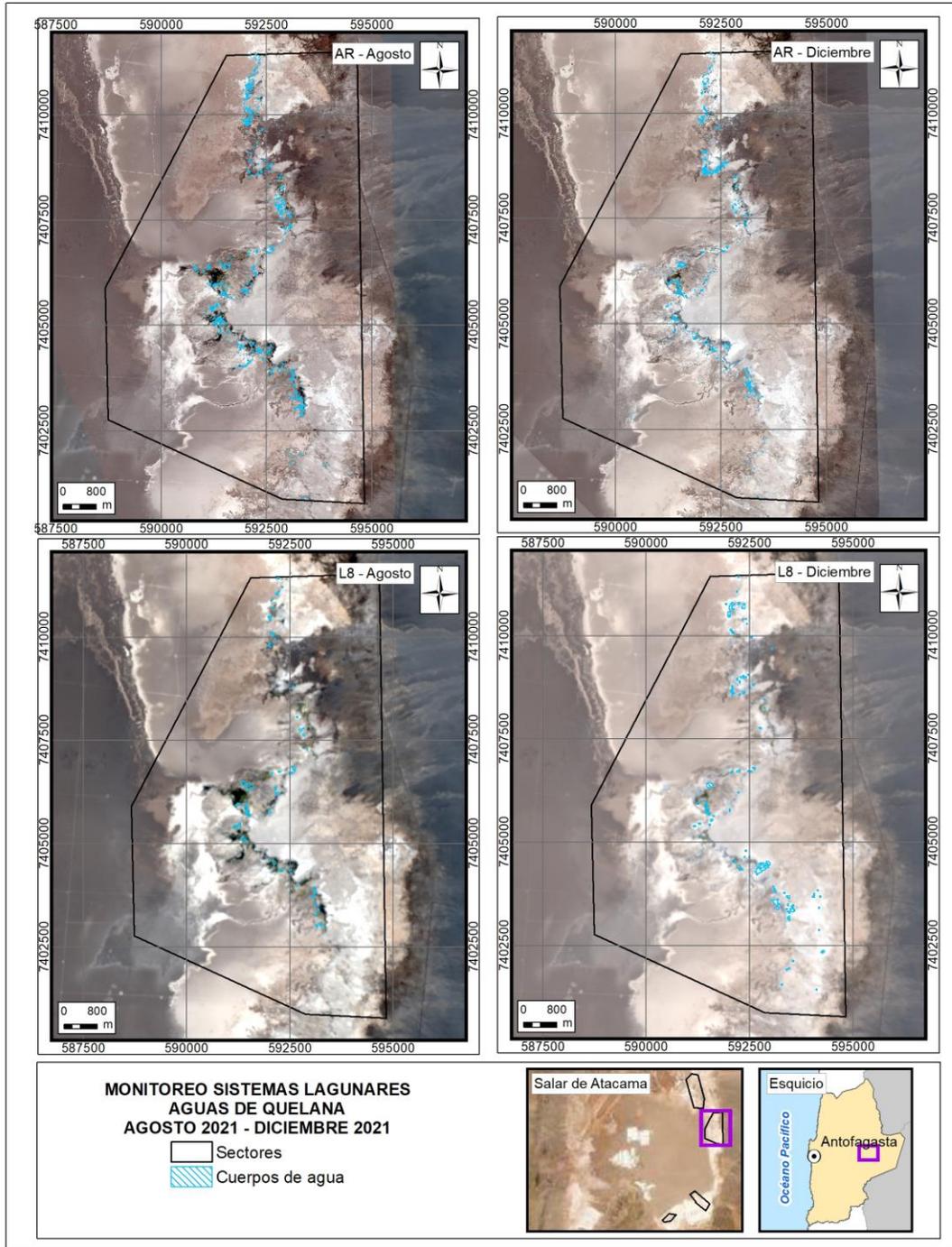
La correlación entre las superficies del sector Aguas de Quelana desde 2016 a 2021, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,867<sup>12</sup> lo que indica una relación positiva alta entre variables; mientras que el *valor p* es de 0,000 lo que indica que los coeficientes de correlación son significativos.

Desde la Figura N°5-15 a la Figura N°5-18, muestran los cambios en las superficies de los cuerpos de agua, desde 2016 a 2021, y su representación espacial respectivamente. Las principales diferencias se observan en aumentos significativos de los cuerpos de agua, especialmente de las zonas de rebalse, en los monitoreos de agosto 2017, agosto 2018 y agosto 2019 los cuales pueden ser producto de mayor aporte de precipitaciones de esos años (precipitaciones acumuladas: febrero – junio 2017, febrero – junio 2018 y enero – septiembre 2019, respectivamente) ; y una baja significativa en las superficies de los veranos de 2020 y 2021 con valores que bordean las 8 hectáreas, y para los inviernos de 2020 y 2021 con valores promedios en el rango de las 16 hectáreas; todo lo anterior en base a las superficies calculadas en alta resolución.

---

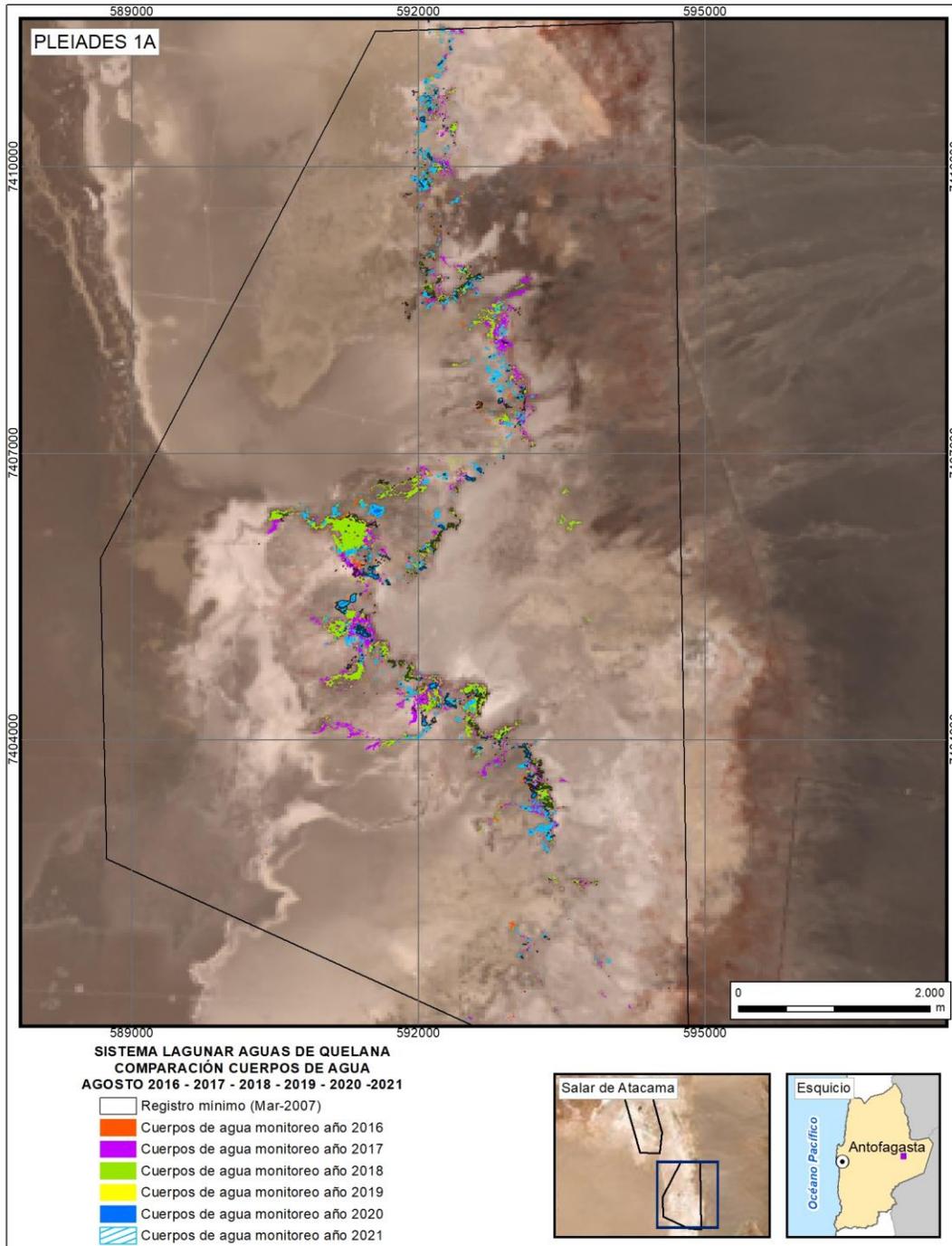
<sup>12</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

**Figura N°5-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2021.**



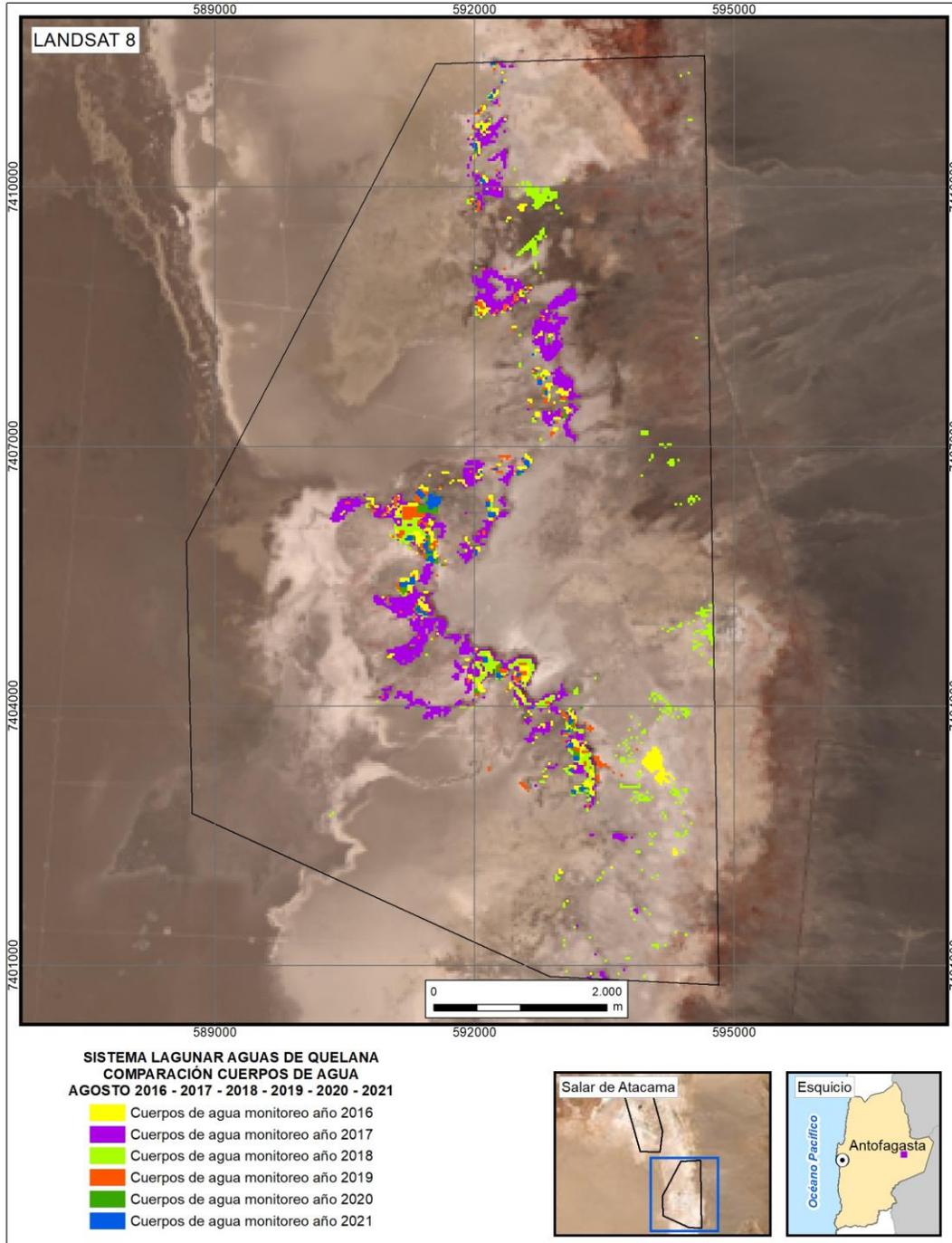
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2021.

**Figura N°5-15. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



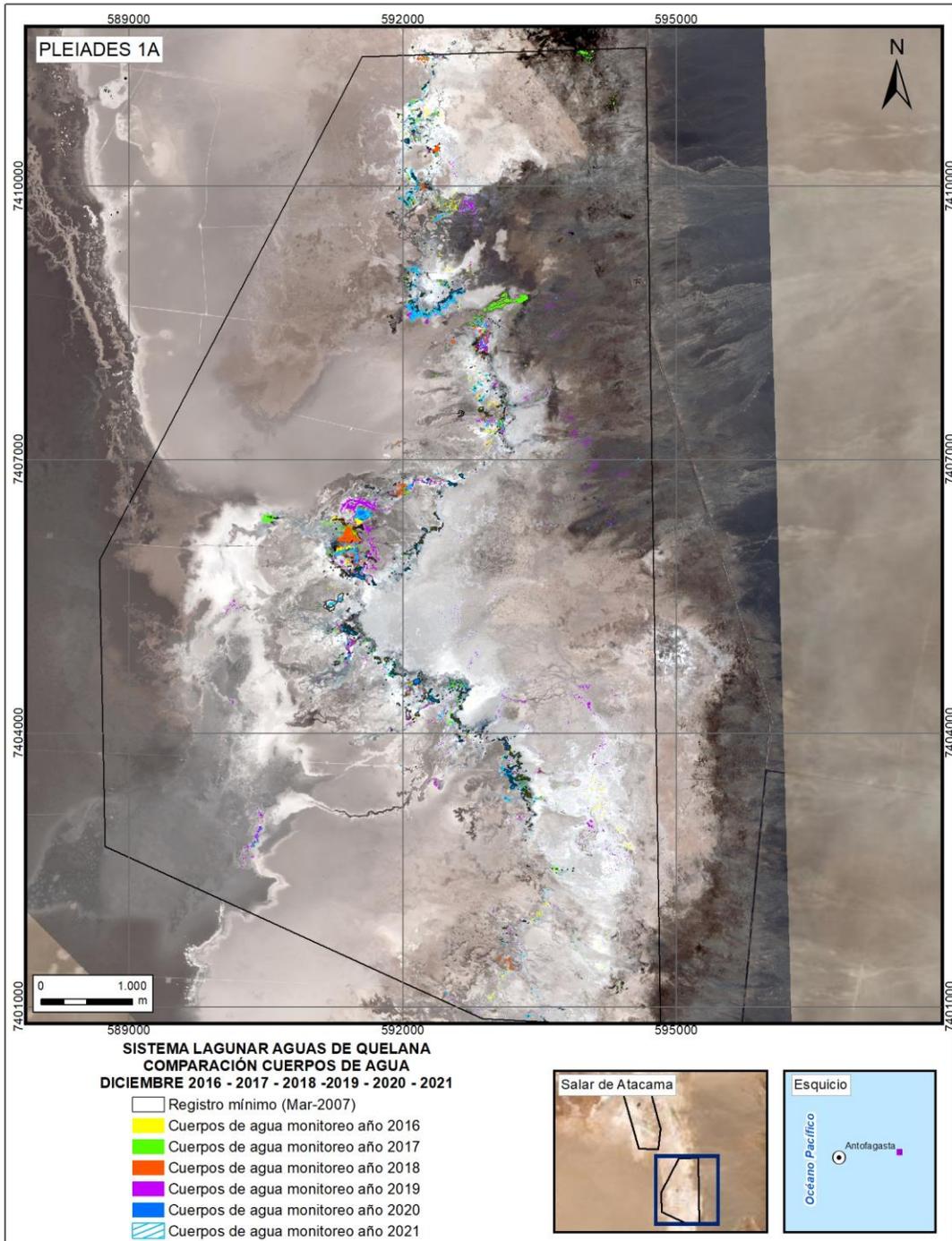
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

**Figura N°5-16. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Landsat 8.**



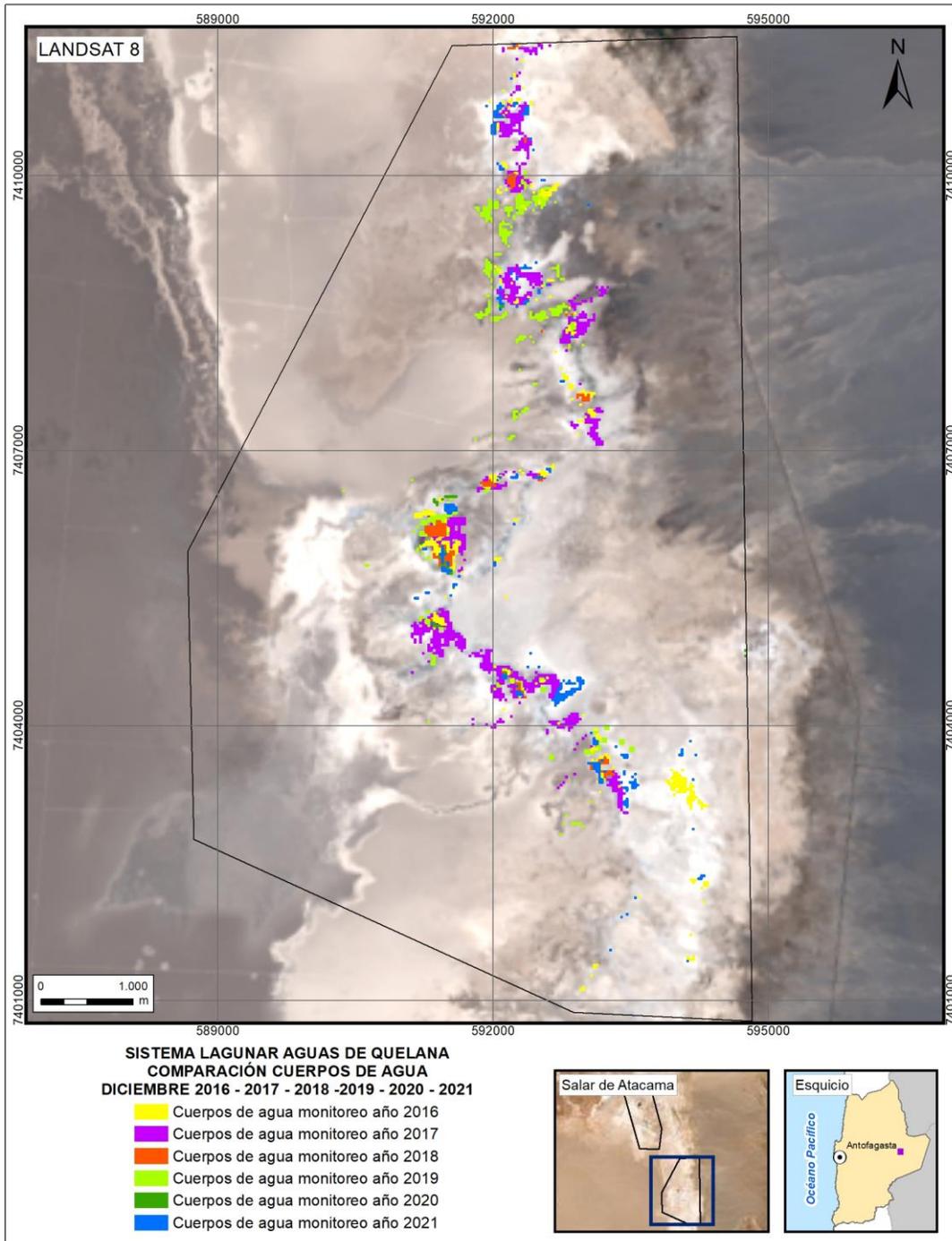
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a 2021.

**Figura N°5-17. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2021.

**Figura N°5-18. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Aguas de Quelana, a partir de imágenes Landsat 8.**

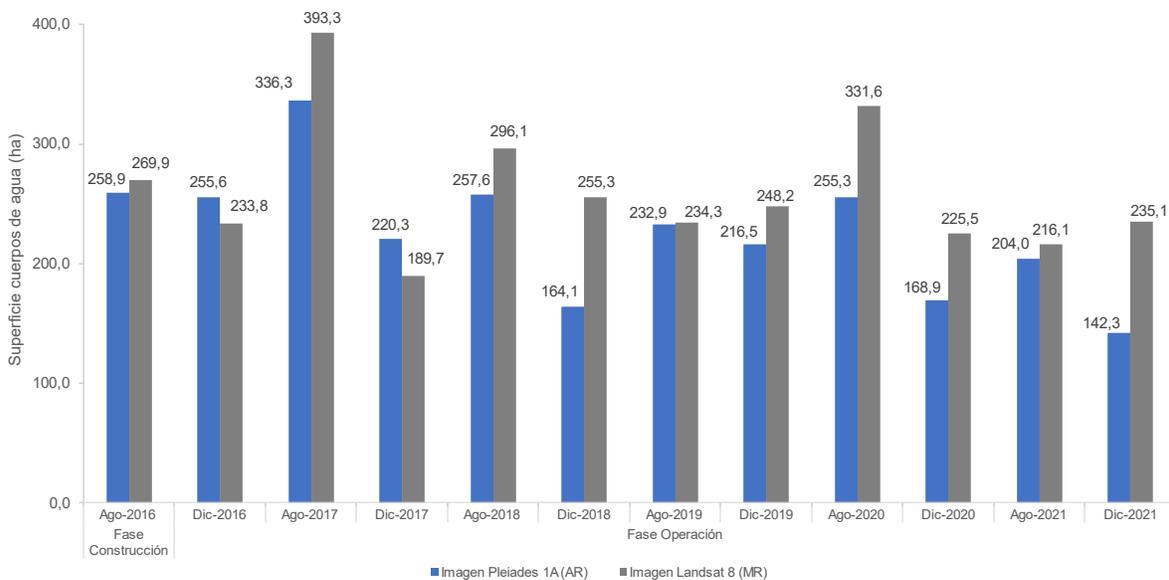


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2021

**5.2.4 Soncor**

En el sistema lagunar Soncor, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades-1A en agosto de 2021 es de 204,0 ha y en diciembre 2021 abarca una superficie de 142,3 ha (Tabla N°5-5). La Figura N°5-19 y Figura N°5-20 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2021, desde la aprobación de la RCA 021/2016.

**Figura N°5-19. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Soncor.**



Dónde; **MR**: Imagen de Mediana Resolución (píxel 30m); **AR**: Imágenes de alta resolución (píxel menor a 4m).

Fuente: Cedrem Consultores a partir de modelo de clasificación supervisada.

En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 216,1 ha en agosto de 2021 y 235,1 ha en diciembre de 2021. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1A de un +5,6% (+12,1 ha) para agosto de 2021 y de un +65,2% (+39,5 ha) para verano de 2021. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que las principales diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución; sin embargo estas diferencias son menores en comparación a otros sistemas lagunares, dada la fisonomía del sector (cuerpo de agua confinado en una costra salina muy diferenciable como recubrimiento y sin sectores de combinación agua – vegetación o similares) por lo que los resultados desde los parámetros son más exactos. Las principales diferencias se dan en el sector sur, en un área en que existe mayor variación, con suelos húmedos, desbordes e interconexión entre lagunas. Los monitoreos con mayor

---

diferencia son agosto 2017, diciembre 2018, agosto 2020, diciembre 2020 y diciembre 2021, donde en promedio existe 74,8 ha de diferencia, asociados principalmente al área sur.

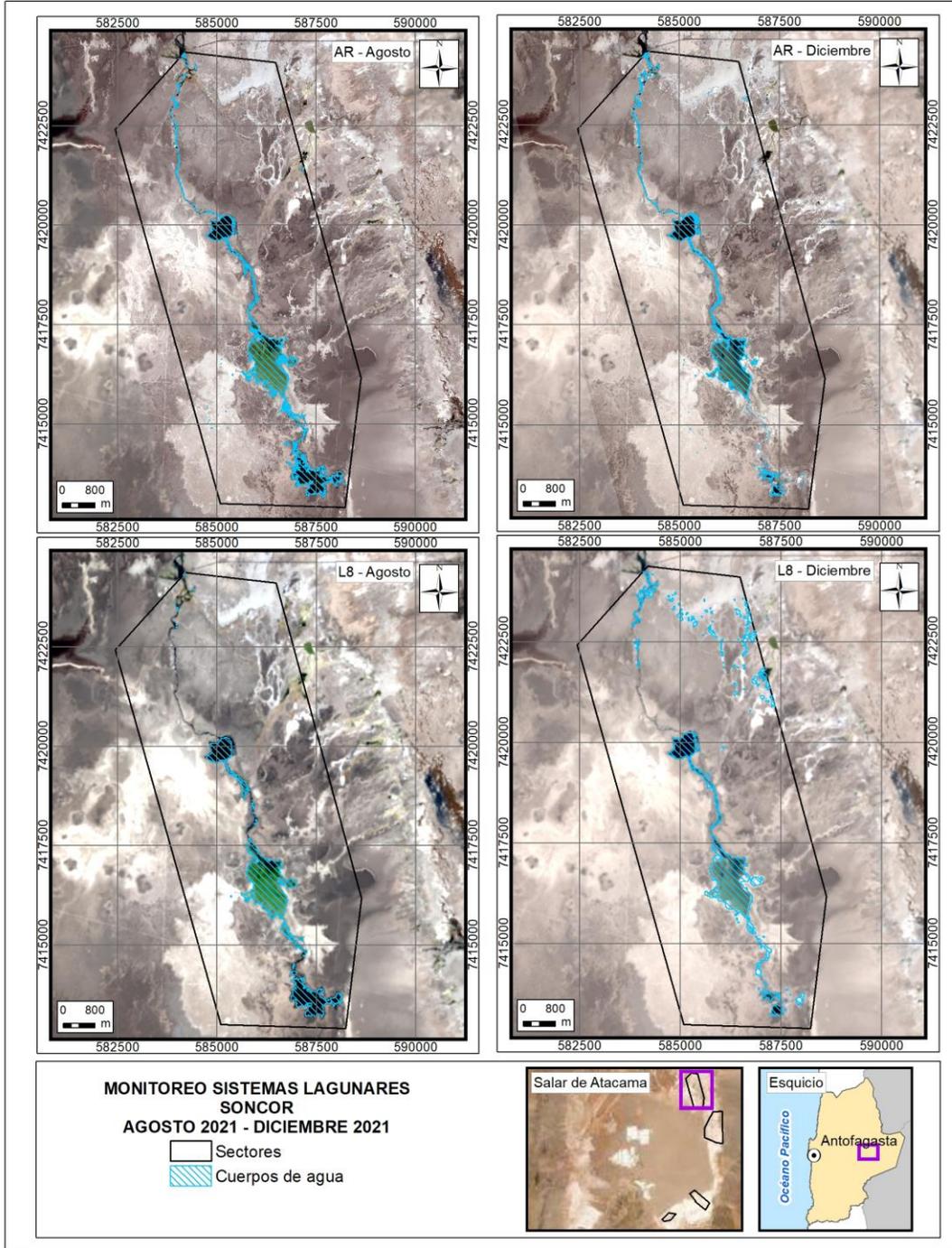
La correlación entre las superficies del sector Soncor desde 2016 a 2021, calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1A) y desde media resolución (Landsat 8), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,711<sup>13</sup> lo que indica una relación positiva entre variables; mientras que el valor  $p$  es de 0,000 lo que indica que hay significancia entre las variables AR y Landsat.

Las Figura N°5-21 a la Figura N°5-24 muestran los cambios en las superficies de los cuerpos de agua, desde 2016 a 2021, y su representación espacial respectivamente. Para el sector de Soncor, las principales diferencias entre monitoreos se observan en los seguimientos de agosto 2016 y agosto 2017, en donde influye las variaciones de la zona sur del sistema y derrames de la laguna Barros Negros al sector de entrada oeste, aumentando las superficies calculadas para los cuerpos de agua. Los monitoreos de diciembre 2018, diciembre 2020 y diciembre 2021 presentan las menores superficies observadas, siempre asociadas a las variaciones cíclicas de la zona sur del sistema y derrame de la laguna Barros negros a la entrada oeste; todo lo anterior de acuerdo con los resultados de imágenes de alta resolución.

---

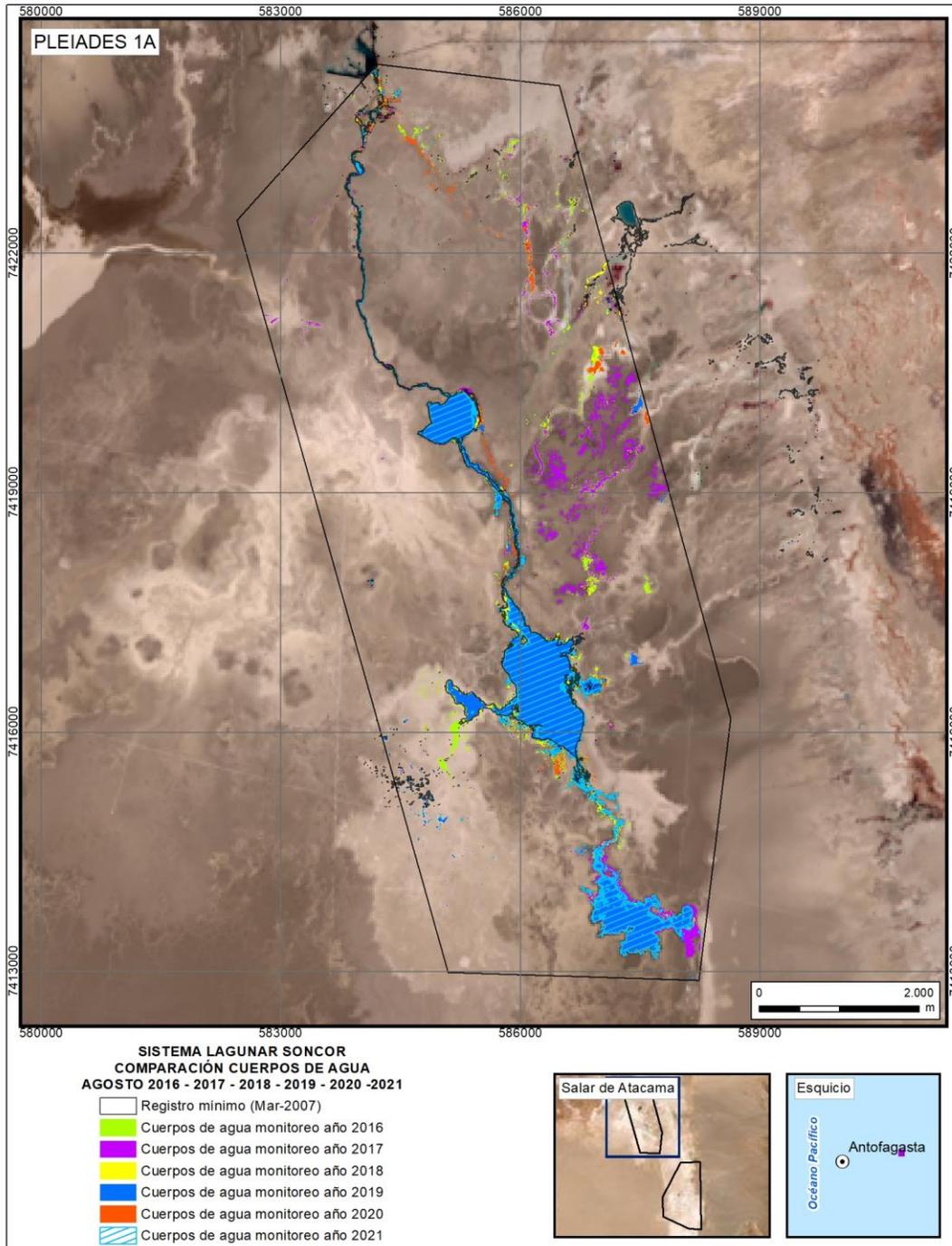
<sup>13</sup> El valor del coeficiente de correlación puede variar de  $-1$  a  $+1$ . Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

**Figura N°5-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2021.**



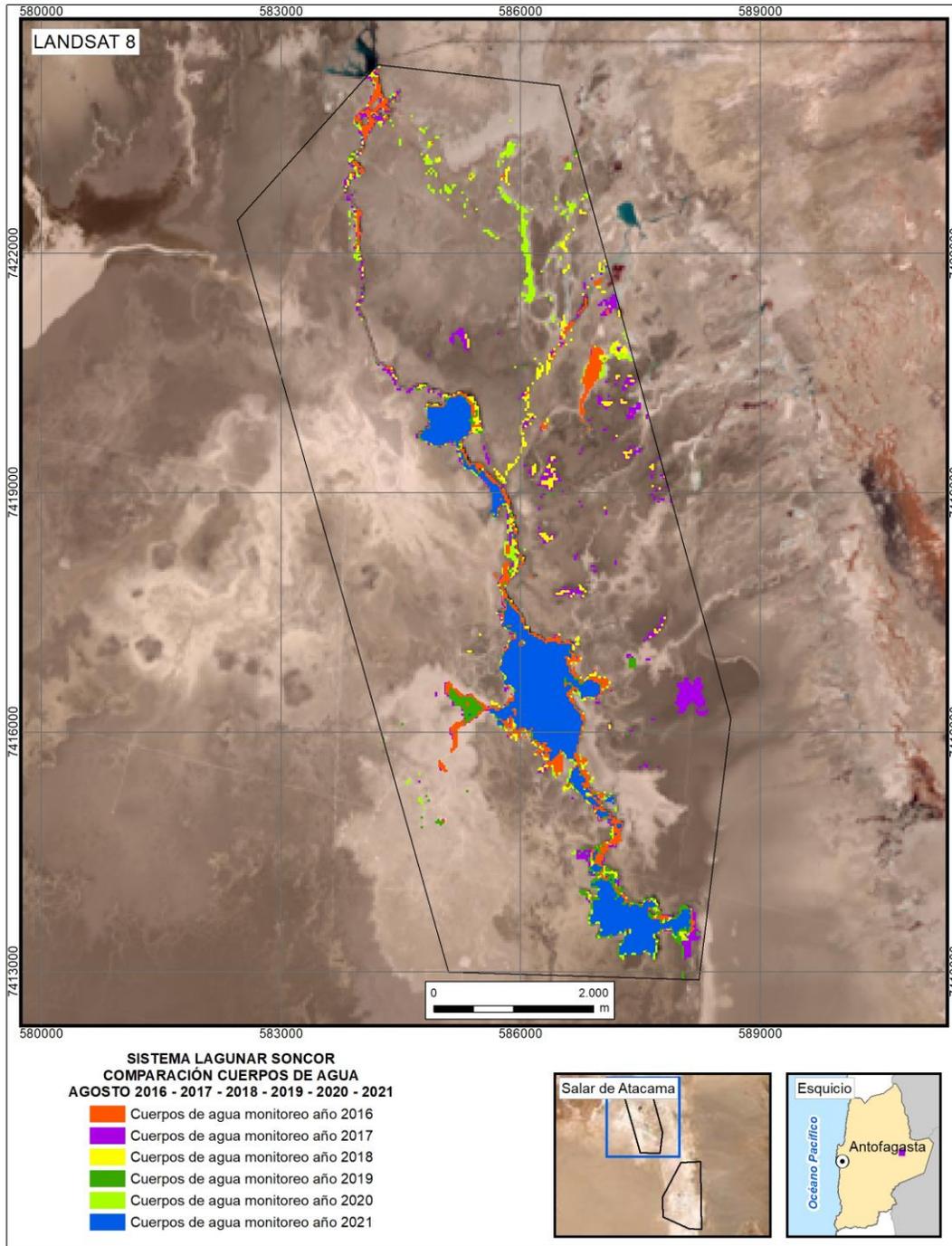
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2021.

**Figura N°5-21. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



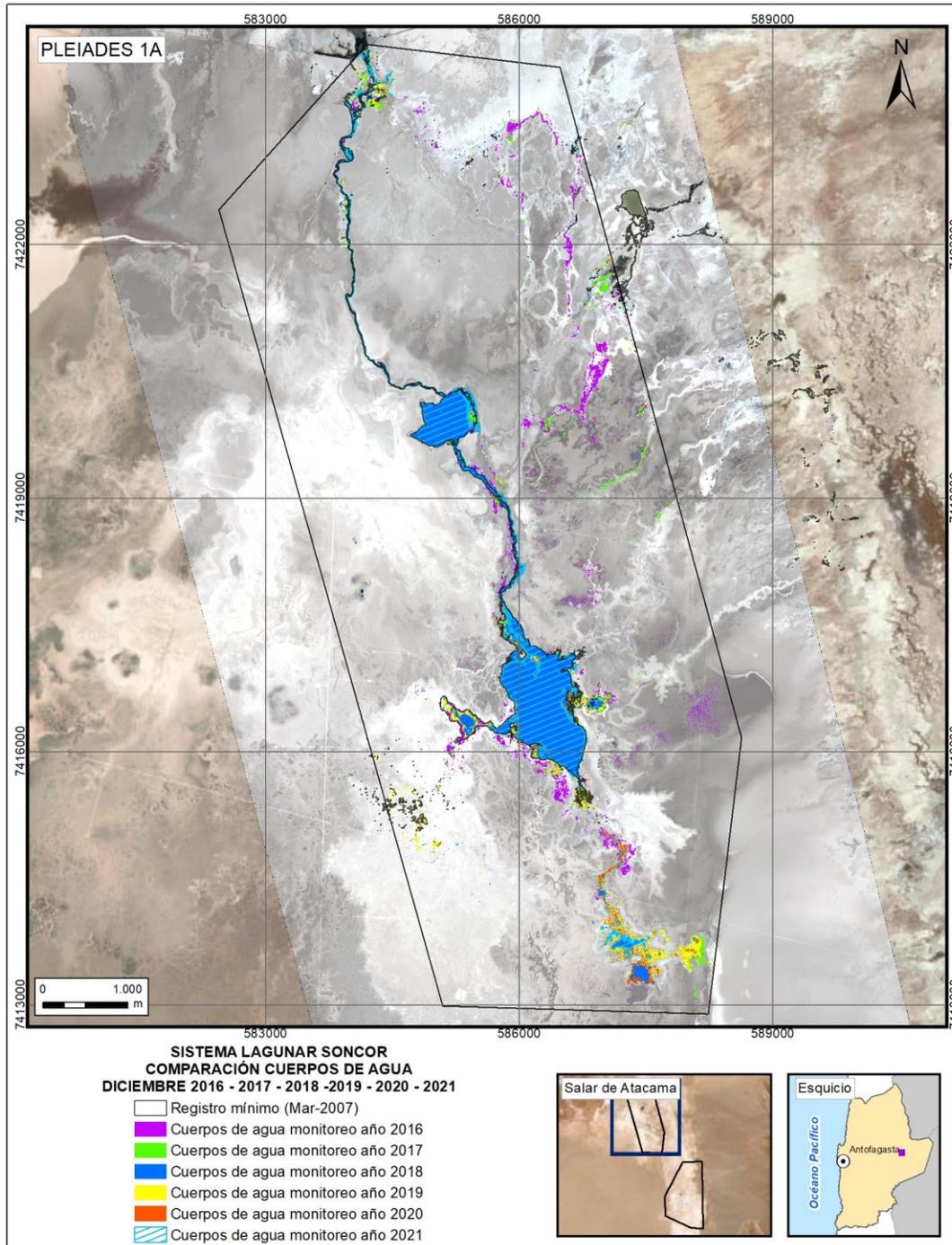
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

**Figura N°5-22. Registros de superficies lagunares de agosto 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.**



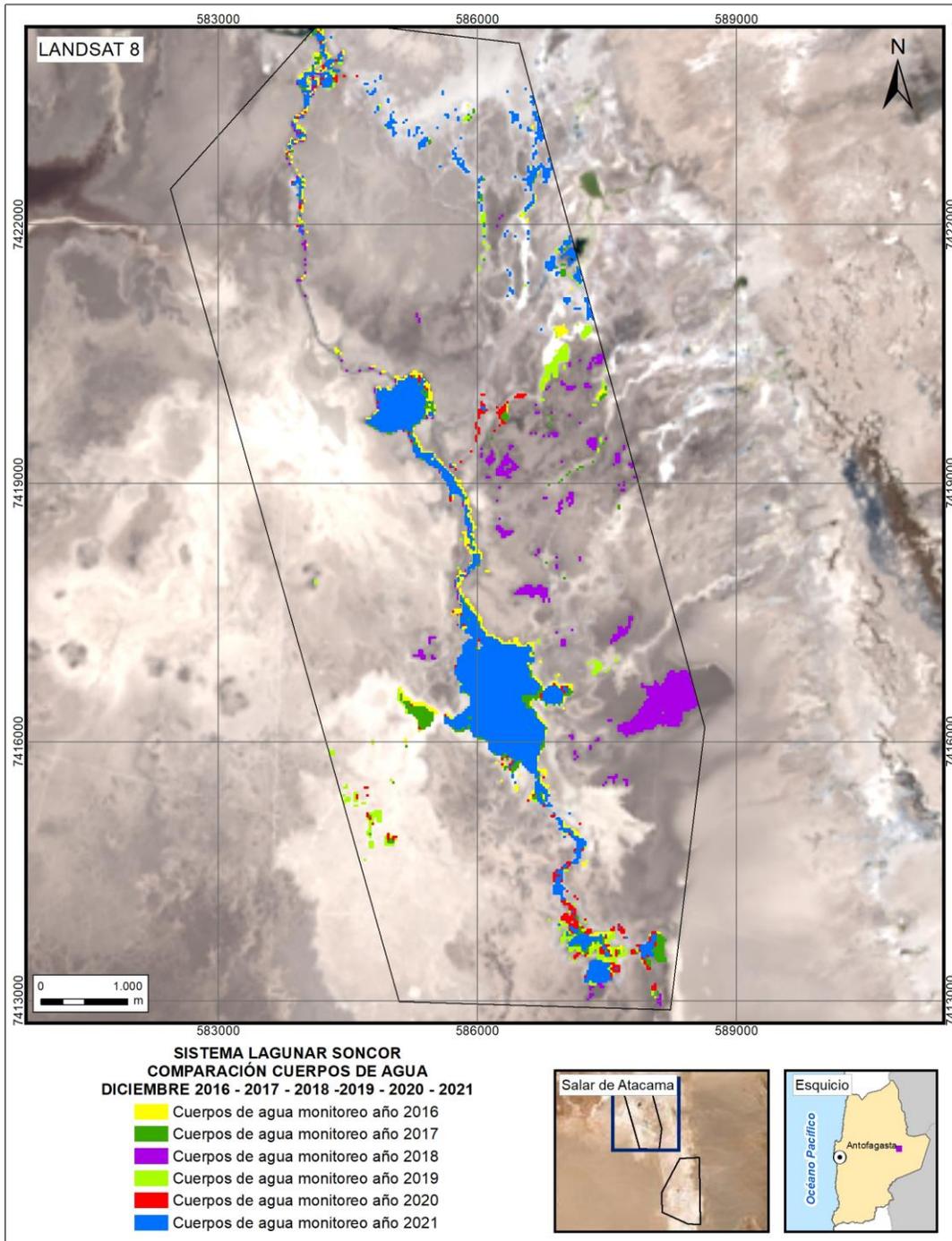
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2021.

**Figura N°5-23. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1A.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2021

**Figura N°5-24. Registros de superficies lagunares de diciembre 2016 a 2021, sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.**



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2021

### 5.3 Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua

Considerando el criterio indicado en la RCA N°21/2016, se tiene que “*durante la fase de operación y cierre del proyecto la superficie cubierta por lagunas debe mantener sus límites sobre el mínimo histórico*”, lo que se analiza en detalle en capítulo siguiente.

## 6 DISCUSION

### 6.1 Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua

En general, el modelo de clasificación presenta ajustes que van de *aceptable a casi perfecto*<sup>14</sup> para todos los sistemas lagunares (Tabla N°6-1), con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2021 que van entre 0,91 (Soncor) y 0,68 (Aguas de Quelana) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo *aceptable* de 0,37 en Aguas de Quelana para diciembre del 2020 y un valor máximo *casi perfecto* de 0,98 para Soncor en agosto 2020. Respecto de Landsat 8, los valores promedio del índice *Kappa* observados en el periodo 2016 – 2021 van entre 0,82 (Soncor) y 0,59 (La Punta y La Brava), presentando un valor mínimo de 0,44 en la Punta y La Brava para diciembre de 2020 y un valor máximo de 0,93 para Soncor y Peine en agosto de 2021.

De lo anterior, se señala que los mayores ajustes corresponden a los sectores que muestran una mayor definición de los cuerpos de agua, por sus características de topografía y tipo de sustrato, ya que se encuentran total o parcialmente delimitados por una diferencia de nivel de costra salina; por lo tanto, las respuestas espectrales son más claras, facilitando la determinación de umbrales de los parámetros del modelo y la clasificación final es mayormente coincidente con los determinados en terreno o por fotointerpretación visual. Así mismo, los valores más bajos en el ajuste del modelo se reportan principalmente en sectores que muestran un gradiente de vegetación en los bordes lagunares, conformando un ecotono de vegetación, el cual conduce a una estimación menos precisa de los límites de la superficie de agua proveniente principalmente de los parámetros NDVI y NIR, esto ocurre especialmente en invierno o en aumentos de las superficies inundadas, periodos en que la humedad del suelo alcanza mayores superficies combinados con otros recubrimientos (vegetación); sin embargo, otro factor sería el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes como macroorganismos, o que en las que se acentúa la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes, disminuyendo la precisión en sitios de transición seca - húmeda.

<sup>14</sup> Los rangos de valores para *Kappa* son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

**Tabla N°6-1. Consolidado de índices Kappa de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1A y Landsat 8.**

Tipo de imagen	Fecha monitoreo	Indicadores de monitoreo	Sistema Lagunar			
			La Punta y La Brava	Peine	Aguas de Quelana	Soncor
PLEIADES 1A - AR	ago-16	Superficie (ha)	47,4	74,1	33,4	258,9
		<i>Índice Kappa</i>	0,45	0,89	0,72	0,89
	dic-16	Superficie (ha)	40,9	50,2	18,8	255,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,82	0,91	0,86	0,90
	ago-17	Superficie (ha)	48,1	74,6	122,9	336,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,86	0,55	0,83
	dic-17	Superficie (ha)	48,6	74,1	27,8	220,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,73	0,83	0,59	0,84
	ago-18	Superficie (ha)	61,9	51,5	85,2	257,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,78	0,88	0,67	0,85
	dic-18	Superficie (ha)	35,9	49,4	13,0	164,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,83	0,80	0,75	0,94
	ago-19	Superficie (ha)	52,8	86,7	57,8	232,9
		<i>Índice Kappa</i>	0,66	0,83	0,66	0,92
	dic-19	Superficie (ha)	62,7	101,7	39,8	216,5
		<i>Índice Kappa</i>	0,79	0,91	0,76	0,95
	ago-20	Superficie (ha)	51,4	54,2	17,2	255,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,64	0,96	0,88	0,98
dic-20	Superficie (ha)	28,4	73,5	8,5	168,9	
	<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,73	0,37	0,94	
ago-21	Superficie (ha)	45,8	45,7	15,6	204,0	
	<i>Índice Kappa</i>	0,80	0,92	0,69	0,91	
dic-21	Superficie (ha)	24,1	26,4	8,9	142,3	
	<i>Índice Kappa</i>	0,61	0,78	0,67	0,92	
		<b>Promedio Kappa</b>	<b>0,69</b>	<b>0,86</b>	<b>0,68</b>	<b>0,91</b>
LANDSAT 8 - MR	ago-16	Superficie (ha)	62,6	114,7	58,2	269,9
		<i>Índice Kappa</i>	0,47	0,83	0,72	0,78
	dic-16	Superficie (ha)	55,0	110,3	41,6	233,8
		<i>Índice Kappa</i>	0,62	0,83	0,74	0,77
	ago-17	Superficie (ha)	38,2	104,6	263,8	393,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,74	0,71	0,73
	dic-17	Superficie (ha)	39,3	75,3	103,7	189,7
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,59	0,57	0,82
	ago-18	Superficie (ha)	63,7	78,4	88,6	296,1
		<i>Índice Kappa</i>	0,55	0,73	0,72	0,83
	dic-18	Superficie (ha)	44,4	81,7	17,4	255,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,84	0,83	0,63	0,90
	ago-19	Superficie (ha)	53,8	85,1	40,9	234,3
		<i>Índice Kappa</i>	0,54	0,79	0,81	0,81
	dic-19	Superficie (ha)	57,7	107,8	49,9	248,2
		<i>Índice Kappa</i>	0,59	0,76	0,86	0,88
	ago-20	Superficie (ha)	60,0	105,4	18,7	331,6
		<i>Índice Kappa</i>	0,56	0,77	0,80	0,78
dic-20	Superficie (ha)	36,1	83,0	8,5	225,5	
	<i>Índice Kappa</i>	0,44	0,73	0,75	0,72	
ago-21	Superficie (ha)	40,0	36,0	15,6	216,1	
	<i>Índice Kappa</i>	0,92	0,93	0,75	0,93	
dic-21	Superficie (ha)	35,5	33,4	24,0	235,1	
	<i>Índice Kappa</i>	0,50	0,87	0,51	0,84	
		<b>Promedio Kappa</b>	<b>0,59</b>	<b>0,78</b>	<b>0,71</b>	<b>0,82</b>

Fuente: Cedrem Consultores.

## 6.2 Análisis de comparación con registros históricos de línea de base

Con el objetivo de ir robusteciendo el análisis de la evolución en el tiempo de las superficies lagunares y considerando que durante la evaluación del proyecto se generaron antecedentes que formaron parte de los análisis históricos, es que en este sexto año del PSAH se incluyen como parte del análisis comparativo histórico de las superficies lagunares antecedentes de imágenes Landsat desde 1972 hasta 2014 (presentados durante la evaluación ambiental del proyecto). Lo anterior, también busca explicar la evolución de las superficies obtenidas en estos últimos 6 años de seguimiento de frecuencia semestral y saber si son parte de una variabilidad interanual y/o intranual histórica, considerando además todos los factores que influyen en el funcionamiento lagunar de cada uno de los sistemas. Las imágenes Landsat se suman a las imágenes de alta resolución disponibles, cuyo análisis se incluye también dentro de la presente discusión.

De esta forma, y desde el punto de vista de las imágenes Landsat, se cuenta con los siguientes tres (3) conjuntos de información, cuyo alcance metodológico particular para el análisis de la superficie lagunar se describe brevemente a continuación:

1. Superficie mediante imágenes Landsat, 1972-2014, Adenda 5.

La comparativa de los datos históricos desde 1972 a 2014, realizados durante la evaluación del proyecto (por el proveedor Argongra), estudió la evolución de las superficies lagunares en fechas representativas de la máxima y mínima extensión de las lagunas (invierno, verano; julio y diciembre, respectivamente). La metodología empleada establece un proceso de clasificación en función de un índice de agua (NDWI) y un proceso de depuración de las zonas obtenidas, mediante fotointerpretación. El resultado, son las superficies de los cuerpos de agua en metros cuadrados ( $m^2$ ) de los sistemas lagunares La Punta y La Brava, Peine, Soncor y Aguas de Quelana, permitiendo con ello la visualización de la evolución temporal interanual de los sistemas estudiados (Apéndice L. Monitoreo de dinámica espacio-temporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de imágenes satelitales LANDSAT, del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5).

2. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2021, PSAH N°6 (serie complementaria Adenda 5).

Como complemento al análisis anteriormente citado, se agrega en el presente PSAH la serie temporal interanual de los años 2016 a 2021. En este caso, la metodología empleada busca asemejarse a la aplicada en la Adenda 5, es decir, mantiene la referencia a los meses de máxima y mínima extensión lagunar (agosto y diciembre; inviernos y veranos) y la estimación de la superficie lagunar mediante el índice NDWI; sin embargo, la estimación de la superficie lagunar es mediante la realización de “máscaras de agua” es decir, una clasificación binaria en que se obtiene valores de agua y no agua, donde el resultado final es el análisis de la frecuencia de píxeles con valores positivos a agua ( $NDWI > 0$ , umbral fijado en 0) y su conversión a metros cuadrados ( $m^2$ ). El valor de umbral fue determinado a partir de la observación de histogramas<sup>15</sup>, el muestreo al azar de

<sup>15</sup> Representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

píxeles y la verificación de los umbrales usados en los monitoreos de 2016 a 2021. Para todas las imágenes, la automatización del proceso de correcciones radiométrica y atmosférica se realizó mediante la plataforma de análisis “R”, que se encuentra bajo la Licencia Pública General (GPL) del proyecto colaborativo de software libre GNU. La secuencia de operaciones se ejecutó en un *script*, basados en los paquetes *RStoolbox*, *Landsat*, *Landsat8*, *Rgdal*, *Rgeos*, y *Raster*; este *script* también considero la obtención del índice espectral utilizado (NDWI) y su reclasificación, además del corte de áreas de estudio. Esta metodología se utiliza tanto en el análisis intranual como interanual de las imágenes Landsat 8.

### 3. Superficie mediante imágenes Landsat, 2016-2021, PSAH N°1 a N°6 (seguimiento. RCA 21/2016)

En tercer lugar, se dispone de los resultados obtenidos de superficie lagunar mediante imágenes Landsat, los cuales han sido reportados en el marco de la RCA 21/2016 en los informes PSAH N°1 a N°5 y del presente informe N°6, y cuya metodología se explica en detalle en la sección 4.6 de este informe. Como puede desprenderse de dicha sección, la metodología considera un modelo de clasificación supervisada basado en una serie de parámetros espectrales, así como la validación en terreno.

De esta forma, las superficies resultantes del PSAH que se realizan en base a la metodología de clasificación supervisada, entregan en mayor detalle las superficies de los cuerpos de agua, ya que cuentan con la combinación de cuatro índices espectrales y el trabajo en terreno y/o fotointerpretativo como base para la definición de áreas del recubrimiento agua. No obstante, estas pueden ser contrastadas referencialmente con la serie de tiempo de NDWI histórica (1972 – 2014) y su complemento (2016 – 2021), ya que esta última establece los rangos promedios ocupados por cuerpos de agua considerandos por un solo índice (NDWI) en un contexto de larga data.

Si bien las áreas determinadas en base a las imágenes Landsat, poseen diferentes metodologías utilizadas por los diferentes proveedores que las analizaron para Albemarle en su oportunidad, éstas no son limitantes para ampliar la visión general del comportamiento histórico de los sistemas lagunares. Las principales diferencias radican en la automatización del proceso y la validación fotointerpretativa como parte del cálculo de superficies. Por lo tanto, se considera que la información recopilada de Landsat permite tener una visión general del comportamiento histórico y por ello se analiza en su conjunto, para ampliar el espectro de la variabilidad que se tienen de las superficies lagunares en su análisis con imágenes de alta resolución (AR), que vale la pena indicar, corresponden sólo a 4 o 5 imágenes entre los años 2006 y 2015; y que por lo demás, corresponden a las fechas de marzo-abril para los sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana; y entre enero – abril para La Punta La Brava.

De manera complementaria al análisis interanual realizado con imágenes Landsat, en la presente sección se realiza un análisis por sector de la variación intranual que toma como referencia la máxima cantidad de imágenes Landsat disponibles por año (ANEXO 9-27. Imágenes Landsat 2019 – 2021 – Análisis NDWI.), tomando en consideración aquellas que no presenten errores de origen o alta cobertura de nubes. La serie intranual permite visualizar los cambios entre periodos secos – lluviosos y su posible relación con variables ambientales (precipitación).

---

Finalmente, se presenta para cada sector un análisis de los resultados de superficie lagunar obtenidos en el marco de PSAH, utilizando imágenes de alta resolución, los cuales son contrastados referencialmente con datos de superficie lagunar determinados mediante imágenes de alta resolución en el Anexo 2 de la Adenda 5. Al respecto, es importante destacar que existen diferencias metodológicas en la determinación de ambas series de superficies (PSAH y Adenda 5), siendo los principales aspectos para considerar: diferentes tipos de imágenes de alta resolución, diferente metodología de clasificación supervisada, que la validación de terreno sólo se realiza en PSAH y temporalidad de las imágenes.

Considerando lo anterior, a continuación, se describe brevemente para cada sistema lagunar, su funcionamiento y dinámica; y su análisis considerando los registros históricos tanto interanuales como intranuales. Esta caracterización ha sido extraída del Apéndice I: Funcionamiento Lagunar, del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, de la Adenda 5.

### 6.2.1 Sistema Lagunas La Punta y La Brava

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

De acuerdo con la información de línea de base, para el funcionamiento lagunas, se tiene que el origen de la alimentación de las lagunas del Sistema La Punta y La Brava se sitúa en las zonas distales en el extremo sur de la cuenca a mayor altura, caracterizadas por aguas cloruradas sódicas, dulces a salobres, y de composición isotópica ligera representativa de las aguas de recarga de la región, provenientes de los acuíferos de Monturaqui y Negrillar. Después de atravesar los acuíferos de Monturaqui y Negrillar, las aguas alcanzan la Zona Marginal de manera subterránea a través del Callejón de Tilopozo, no existiendo evidencias de un cauce activo que pudiese producir escorrentía superficial. En menor medida, también se producen entradas procedentes del Cordón de Lila en la zona de Tucúcaro.

Una vez que las aguas subterráneas llegan a la Zona Marginal, en las proximidades de las Vegas de Tilopozo, comienza a producirse evaporación directamente desde el terreno, comenzando la dinámica de disolución y precipitación de sales. La evolución de la composición química del agua de sur a norte indica que el enriquecimiento en sales se produce principalmente por fenómenos de disolución hasta llegar a las lagunas.

En la mayor parte de la Zona Marginal la evaporación es suficiente para mantener los niveles por debajo de la superficie. Sin embargo, en el área de las lagunas de este sistema, debido a la magnitud del flujo subterráneo procedente del sur, se genera una interfase salina, que se dispone perpendicular al flujo, por lo que el agua dulce-salobre se ve forzada a ascender, aflorando en superficie, dando origen a las lagunas. Ocasionalmente se produce un mayor caudal de entrada a las lagunas, después de períodos húmedos y coincidiendo con la época invernal, lo que produce flujos subsuperficiales hacia el Núcleo que alcanzan el límite con la costra de cloruros formando los “open pools”, donde se evapora y disuelve la costra, enriqueciéndose en sales disueltas, que avanzan en el tiempo hacia el interior del Núcleo, convirtiéndose en salmuera.

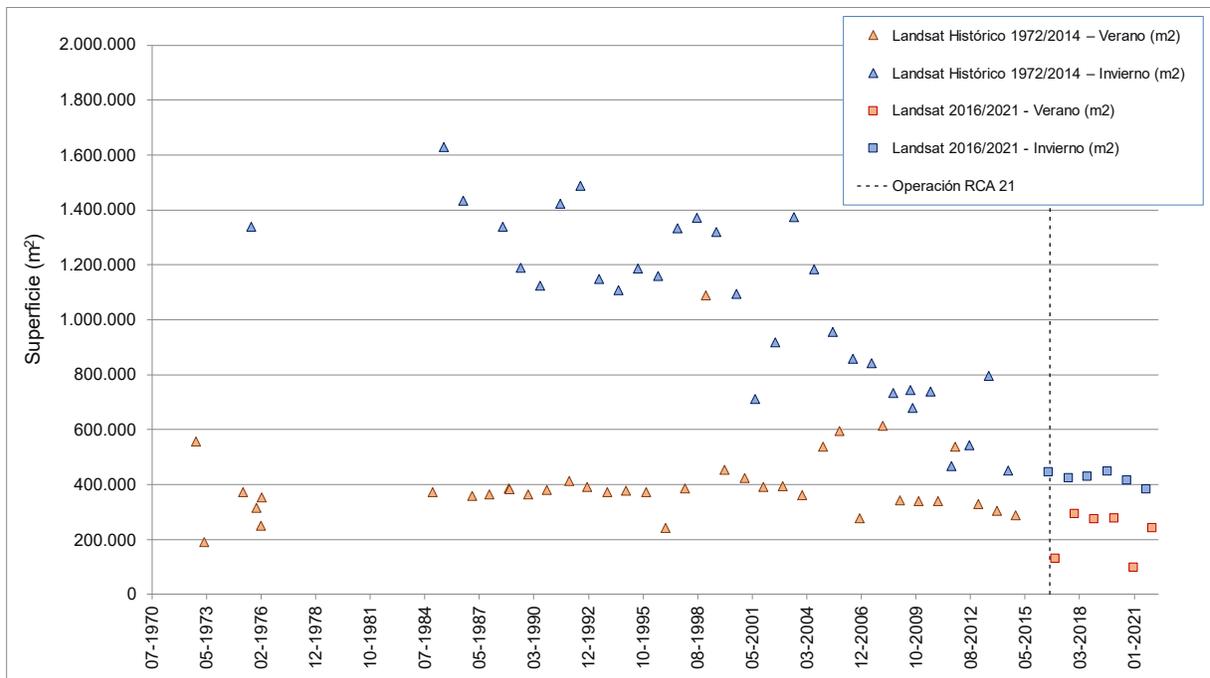
Finalmente, se indica que la superficie de las lagunas está condicionada principalmente por la variación estacional de la evaporación, y en menor medida por la ocurrencia de episodios de lluvia, que lo que provocan es un aumento general de los máximos y mínimos anuales en función de si se está en un período húmedo o uno seco.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria)

En la Figura N° 6-1 se presenta la serie histórica entre los años 1972 y 2021 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 durante los meses de invierno (indicados en colores celestes y azules en la imagen); y con los registros más bajos en general en verano, dándose en marzo 1973, diciembre 1996, diciembre 2006, diciembre 2016 y diciembre 2020.

Si bien se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan estabilidad en sus valores a excepción de un evento de alza en enero del año 1999. En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, mostrando un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno, que desde 2016 se mantienen en promedio en el rango de los 425.000 m<sup>2</sup>, con una leve baja en la cobertura estimada en invierno 2021 en relación con los históricos en igual fecha, siendo la superficie observada en verano 2020 la más baja para igual temporada.

**Figura N° 6-1. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5; y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2021.

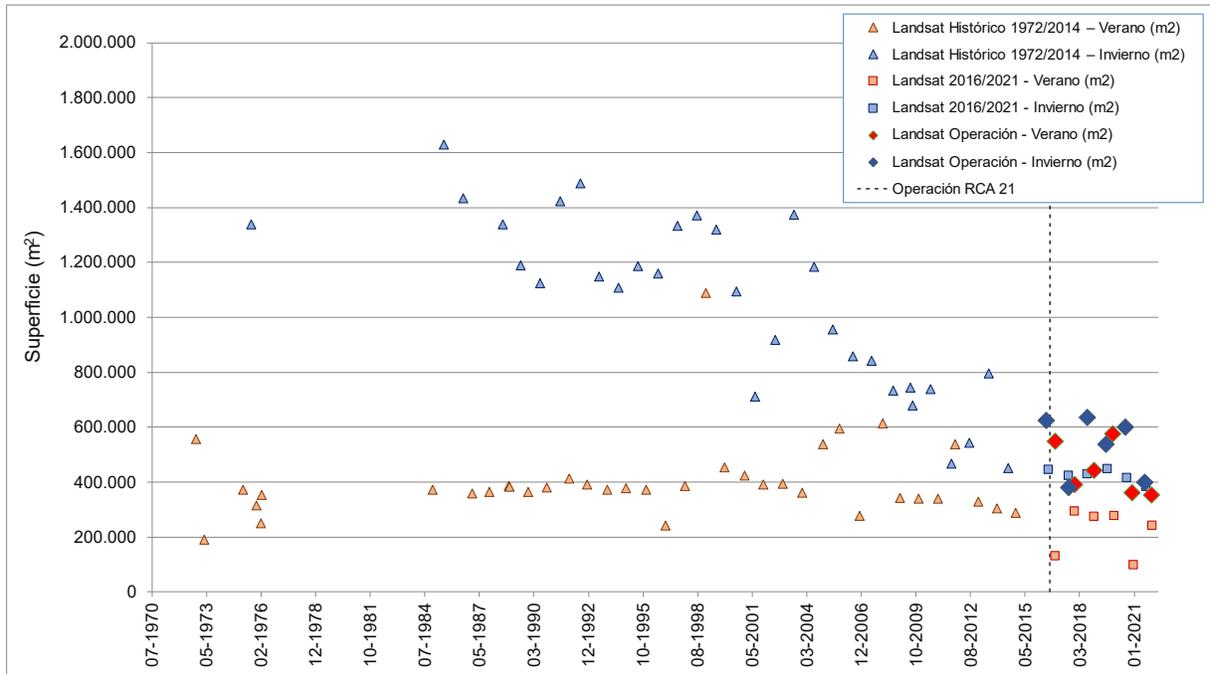
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PSAH) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

Los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI para el sector La Punta y La Brava y similares a los datos históricos, tanto en invierno y verano, considerando las superficies históricas y también las superficies Landsat de los últimos años 2008-2014, como se observa en la Figura N° 6-2.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el

robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno y análisis visual, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado.

**Figura N° 6-2. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector La Punta y la Brava.**

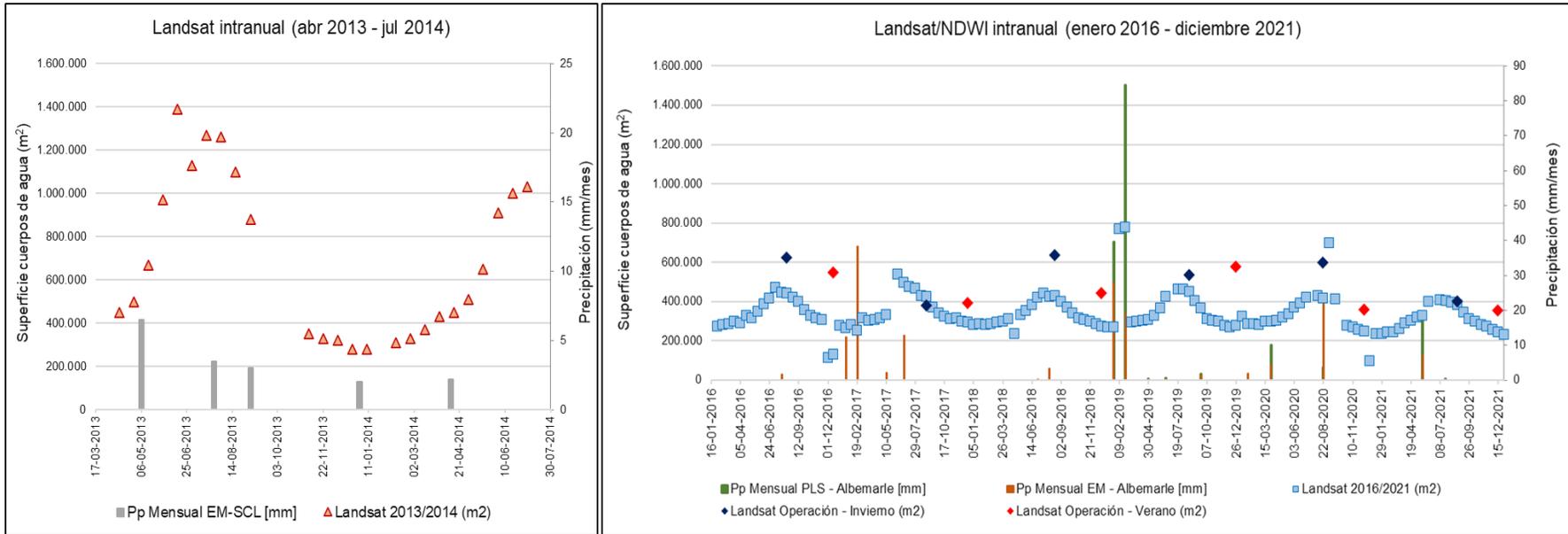


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5; y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2021.

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Con respecto a las variaciones intranuales, en la Figura N° 6-3 se observa la variación de las superficies lagunares considerando el índice NDWI, desde imágenes Landsat, durante los años 2013 – 2014 (presentadas en proceso de evaluación del Proyecto como Línea de Base) y se ha realizado para efectos del presente análisis el ejercicio para el período enero 2016 – diciembre 2021 y su relación con las precipitaciones en estación meteorológica de la Planta Salar Albemarle y Datos Pluviométricos por sector. De este análisis intranual se puede apreciar que para los años 2013-2014 existió aumento de las superficies desde fines de mayo hasta agosto 2013 (otoño – invierno) y una disminución de los valores desde noviembre 2013 hasta marzo 2014 (primavera – verano), posterior a esa fecha, las superficies retomaron el alza subiendo hasta el siguiente invierno 2014. Para la serie intranual 2013 - 2014 se observaba una cierta correspondencia o sincronía entre la superficie lagunar y las variaciones mensuales de precipitación durante ese año.

**Figura N° 6-3. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta y la Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

En el caso de los años 2016-2021 (Figura N° 6-3, derecha), si bien se observa aumentos de superficie lagunar en invierno y descensos en período de verano, la amplitud de la variación es pequeña y no se observa una correspondencia directa con la precipitación medida en la estación meteorológica planta con las superficies observadas, sino más bien se da una respuesta puntual y de corto plazo, como se verifica en el abrupto aumento de la superficie producto de la precipitación caída en invierno en agosto 2020 (23,8 mm estación planta; 3,68 mm pluviómetro sector LPLB). Posterior a ello, la superficie lagunar retoma la tendencia previa al evento de lluvia. Los datos resultantes de los pluviómetros por sector muestran correspondencia en los eventos de precipitaciones de febrero 2019, agosto 2020 y mayo 2021 con las variaciones en las superficies lagunares, pero con la consiguiente baja a los eventos puntuales.

De ambas series intranuales, se observa que las superficies más altas se tienen en los meses de invierno, entre julio hasta mediados de septiembre y los valores más bajos en primavera – verano, entre noviembre – marzo. De lo anterior, se puede señalar que la variación intranual de las superficies lagunares de La Punta-La Brava, tendría una relación más directa con la evapotranspiración y por ende con los niveles de aguas subsuperficiales, dejando la precipitación como un factor secundario, dado que esta produce variaciones significativas de la superficie, sólo para eventos de “alta precipitación”. Este comportamiento es coherente con el observado en los niveles de pozos y barrenos del sector. De los registros de superficies calculadas semestrales del PSAH durante los monitoreos 2016 – 2021, Figura N° 6-4, se observa que coinciden temporalmente con las variaciones en la serie de tiempo de NDWI intranual y el mayor aporte de precipitaciones (agosto 2020).

De la serie Landsat periodo 2016-2021 se observa además una tendencia al descenso de las superficies máximas (de invierno) y en menor grado de las superficies mínimas de verano. La Figura N° 6-4 siguiente presenta la serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe<sup>16</sup> de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021), con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo de mayor data. Los registros obtenidos fueron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

Al igual que para la serie 2016-2021, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, 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 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

De la variación histórica, Figura N° 6-4, se observan dos periodos de descenso en las áreas máximas anuales (áreas de invierno), previo al año 2012. El primer período desde el año 1994 a 2000 con una reducción de 1.400.000 m<sup>2</sup> a 705.000 m<sup>2</sup> aprox. y el segundo período de 2003 a 2012 con una reducción de 890.000 m<sup>2</sup> a 420.000 m<sup>2</sup> aprox. En el segundo periodo el área mínima de verano muestra además una reducción en el orden de 60.000 m<sup>2</sup>.

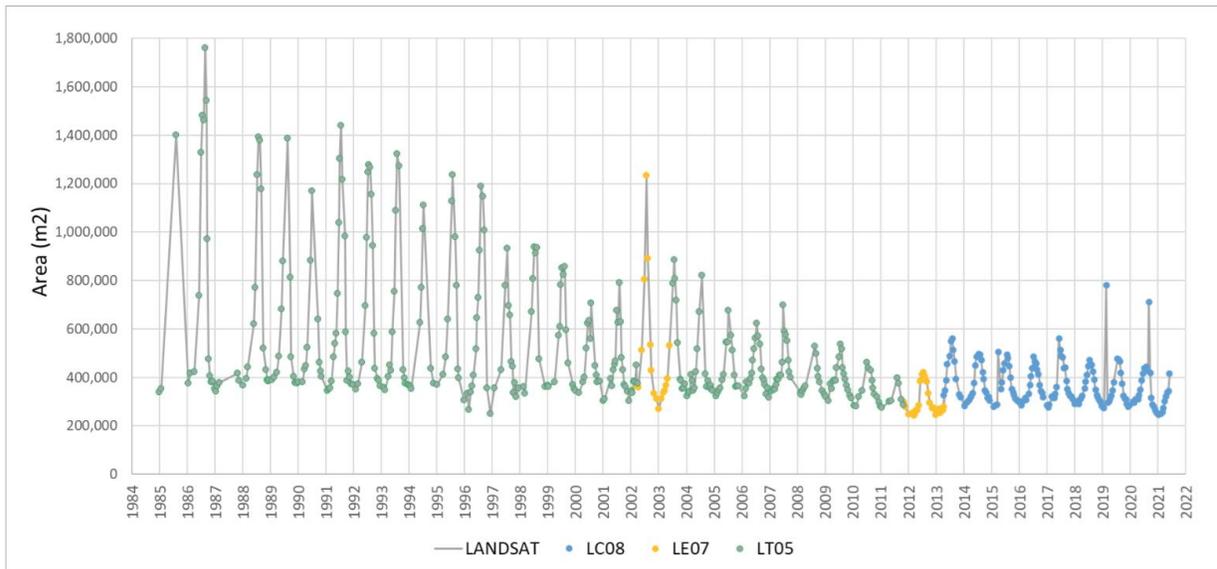
---

<sup>16</sup> Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI . Julio 2021. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

Los dos periodos se encuentran interrumpidos por 2 años (2001 y 2002) donde se aumenta el tamaño máximo de las lagunas hasta 1.230.000 m<sup>2</sup> en julio de 2002. El aumento en el tamaño coincide con 81,7 mm de lluvia caída en marzo de 2001 y 20 mm en marzo de 2002 en la estación de EM – SCL. Finalmente, dada la escala del gráfico y la ventana temporal presentada histórica (1985-2021), en el periodo 2013 a 2021, considerando las variaciones del sistema lagunar La Punta La Brava previas, se observa una cierta estabilidad en el tamaño máximo y mínimo del área de las lagunas, que es lo que se visualizaba antes de tener toda la serie, que podría estar asociado al efecto amortiguador de los eventos de precipitaciones que ha ocurrido con una frecuencia de 2 años durante los meses de verano de 2013, 2015, 2017, y 2019 (y también agosto de 2020) (Ver Figura N° 6-3).

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización pero que a escala más pequeña de tiempo también presenta disminución en los últimos años.

**Figura N° 6-4. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2021)**



Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

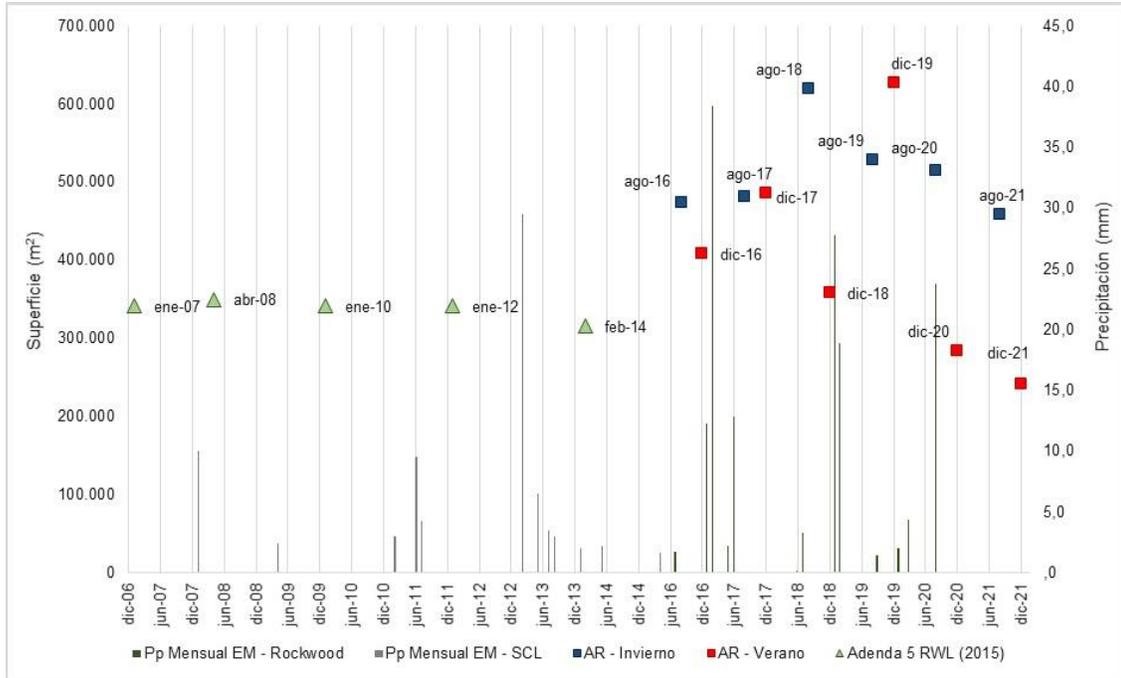
Con respecto a la variación de las superficies lagunares semestrales del PSAH, en la Figura N° 6-5, se presentan las imágenes de alta resolución para el sector de La Punta y la Brava, junto a las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015). Las superficies semestrales desde imágenes de alta resolución del PSAH, se presentan sobre los históricos, a excepción del mes de diciembre de 2020 y diciembre de 2021. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – 2021, los cuales se presentaron en general en los meses de enero - febrero y mayo - junio; de las mayores superficies medidas en AR, solo una se asocia temporalmente a lluvias invernales (agosto de 2018) que coincide temporalmente con las lluvias de junio y julio de 2018 (3,5 mm acumulados).

Por otra parte, las menores superficies registradas de diciembre de 2018 y diciembre de 2020 no presentan lluvias asociadas y ambas están precedidas de tres meses de nula precipitación. De dicha información no se puede asegurar una relación entre el bajo aporte de precipitaciones y la baja en las superficies señaladas, ya que los años para los cuales se cuenta con áreas de línea de base de AR (Figura N° 6-5) coinciden con el periodo de menos lluvia y épocas de verano, pero también con el periodo de quiebre en la tendencia de las superficies lagunares (2008-2014) (Figura N° 6-1). Existen periodos más largos en los que no hay registro de precipitaciones que no alteran mayormente el ciclo de variación invierno – verano (Figura N° 6-5). Para el año 2021, en general las precipitaciones se presentan escasas (con un aporte de 7,1 mm en el mes de mayo 2021), que pueden haber aportado a las superficies de inundación de agosto de 2021, pero que en particular no muestran incidencia en las superficies reportadas para el año en cuestión.

En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia constante entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas. Sin perjuicio de lo anterior, para ambas fuentes (AR y Landsat) se tiene que los rangos de superficies lagunares para el Sistema La Punta – La Brava, varía en general entre 350.000 m<sup>2</sup> a 620.000 m<sup>2</sup>, lo cual está dentro del rango observado tanto para AR como para Landsat del último periodo histórico 2007-2014 que promedia los 338.200 m<sup>2</sup>; sin embargo, para diciembre de 2020 y diciembre de 2021 bajan del rango señalado.

**Figura N° 6-5. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta y La Brava.**



Fuente: Elaboración Propia

## 6.2.2 Sistema Lagunas Peine

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

El Modelo conceptual del funcionamiento del Sistema Peine indica que las aguas de las lagunas son alimentadas por agua subterránea procedente del sureste. En la zona donde el nivel freático del acuífero de agua salobre intercepta la superficie del terreno, se sitúan los puntos de surgencia, que se disponen a lo largo de un canal situado a unos 2 km al sur de la Laguna Salada. Una vez en superficie, el agua comienza a sufrir proceso de evaporación con más intensidad, fluyendo a través de la Laguna Salada, luego por la Laguna Saladita y finalmente hacia la Laguna Interna, a través de una serie de canales de ancho variable y muy poco espesor de lámina de agua. Por último, el agua de la Laguna Interna acaba adentrándose en el Núcleo de salmuera de manera superficial, disolviendo la costra de cloruros y enriqueciéndose paulatinamente en sales disueltas, hasta que finalmente, ya convertida en salmuera, se incorpora al Núcleo.

Junto con lo anterior, además se observa que en los meses estivales se produce precipitación de sales por sobresaturación debida a evaporación, mientras que en los meses de invierno y primavera es cuando mayor es el caudal hacia la Laguna Interna, produciéndose disolución.

Las columnas litológicas obtenidas en las perforaciones realizadas en la zona (Adenda 5), han mostrado la existencia de sedimentos finos laminados; principalmente limos carbonatados y materia orgánica, cuyo origen es la deposición en el fondo de antiguas lagunas. Este tipo de sedimentos presenta valores bajos de conductividad hidráulica vertical por lo que la conexión entre el acuífero y el fondo de las lagunas no es buena. El aporte principal es por tanto superficial, ya sea a través de los canales existentes, o bien a través de las orillas de las lagunas.

Para las lagunas de Peine, del modelo conceptual se tiene que existiría una cierta correlación entre el área ocupada por las lagunas, y la precipitación registrada. No se observa una variación estacional de la superficie lagunar por influencia de la evaporación, si fuese así se observaría un aumento de superficie en julio de 2014 (Figura N° 6-6) lo cual se corrobora con el análisis intranual año 2016-2021 de la misma Figura.

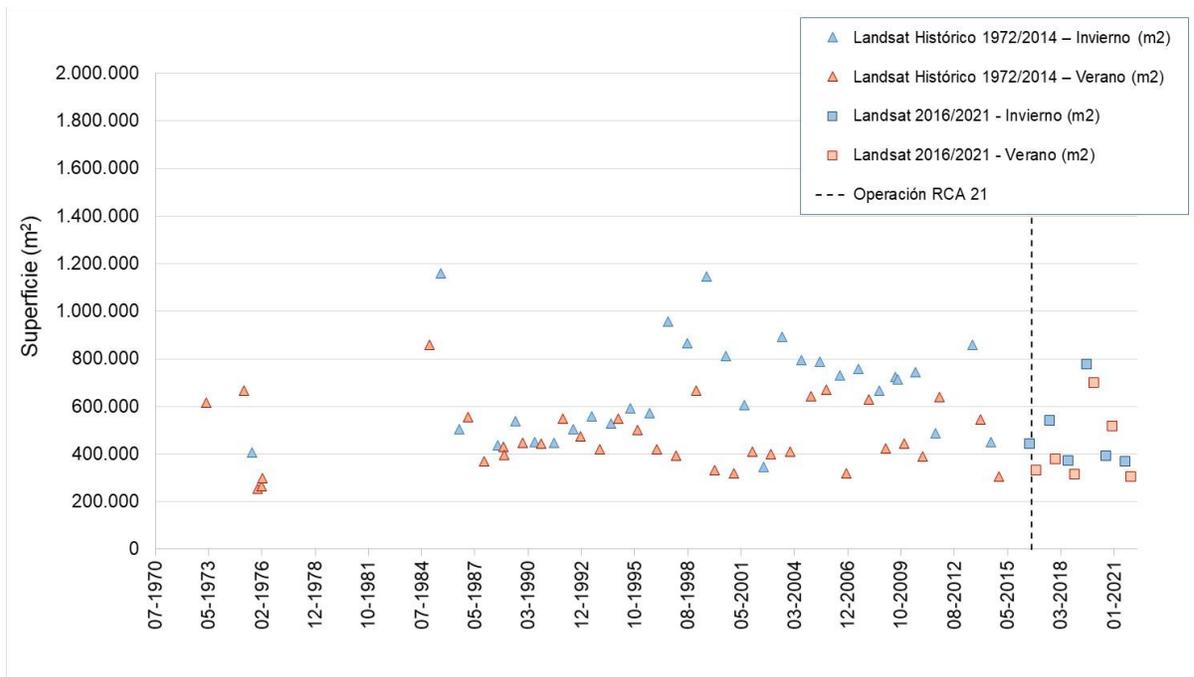
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5, se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose en invierno. Mientras que el contenido isotópico y químico de la Laguna Salada tiende a ser menos evidente a los cambios de temperatura y de evaporación”*. La explicación para esto se encontraría dada su cercanía a la fuente que da origen a estas lagunas.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria)

En la Figura N° 6-6, se presenta la serie histórica (1972 – 2020) de imágenes de mediana resolución. En la serie, se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo los años con mayor superficie en julio 1985, julio de 1999 y julio de 1997 cuyas superficies bordean o superan los 1.000.000 m<sup>2</sup>. En el último tiempo (2016-2021) se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, manteniéndose estable y en el rango de los valores históricos.

La tendencia de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), en triángulos celestes, muestran un ascenso desde 1972 a 1998, luego un descenso hasta el 2014 y finalmente una variación no concluyente entre 2016 a 2021. Por otro lado, la tendencia de las superficies reportadas en verano se muestra a la baja en la serie histórica hasta 1998, desde ahí muestra variabilidad y en la serie complementaria muestra un aumento en los veranos de 2019 y 2020, para volver a la condición anterior el verano 2021.

**Figura N° 6-6. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PSAH) en relación con las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

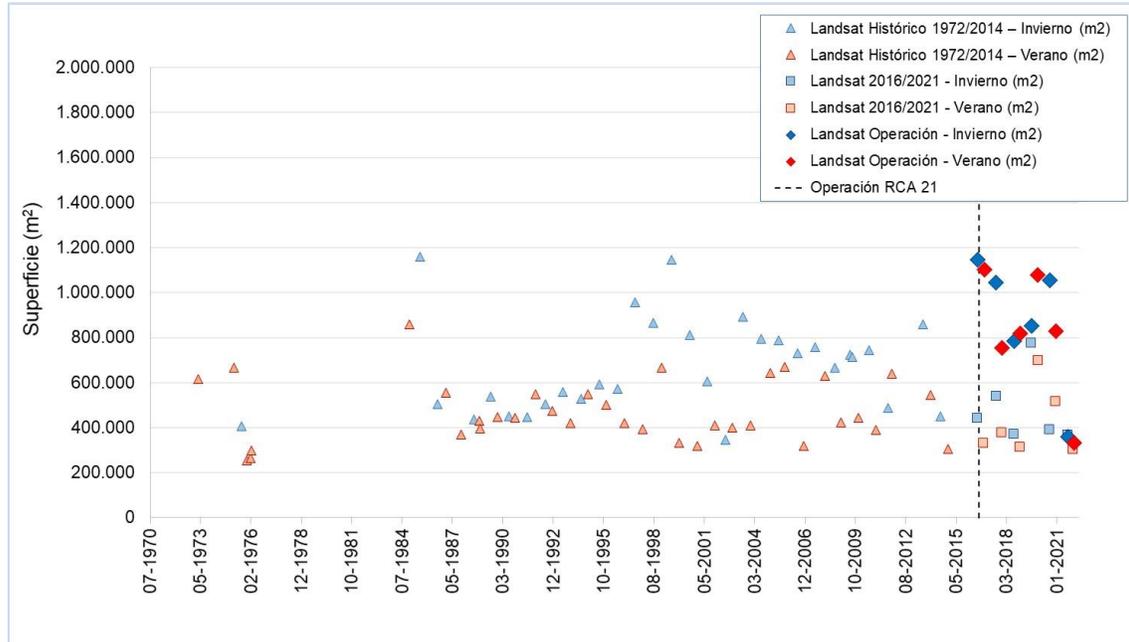
En la Figura N° 6-7 se presentan las superficies lagunares determinadas en el PSAH entre los años 2016-2021, con relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2020). En la figura se observa que las superficies reportadas para el PSAH se encuentran dentro del rango histórico, y que a su vez entre 2016 – 2020 se muestran superiores a las determinadas mediante la metodología NDWI – Landsat en el periodo 2016-2021; sin embargo las mediciones de invierno y verano 2021 son mayormente concordantes a los valores de la serie NDWI, con superficies en promedio cercanos a los 350.000 m<sup>2</sup>.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, entre los que se cuentan el robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno y análisis visual fotointerpretativo, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado. En particular para el sector de Peine, resulta relevante mencionar que la laguna Interna, ubicada al final del sistema lagunar de acuerdo con la dirección del flujo, resulta ser una laguna terminal de gran superficie en relación con la superficie total del sector Peine, cuya fisonomía está determinada de manera importante por la presencia de sales. En ese sentido, la validación en terreno implementada en el marco del PSAH ha sido fundamental para mejorar la delimitación de este sistema lagunar, en particular en la laguna Interna, proceso que no ha sido considerado en la metodología NDWI-Landsat.

Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 - 2021. Para los años 2016, 2017 y 2020 las superficies de invierno reportadas se encuentran en el rango de las superficies máximas, mientras que las superficies reportadas para los veranos están sobre los registros máximos y mínimos para la temporada; a excepción de los registros de invierno y verano de 2021.

Entre las principales diferencias con los registros anteriores en temporada de verano, se puede apreciar que el subsector del desborde y canales de la Laguna Interna no presenta superficie de agua para la temporada de diciembre 2021. Cabe señalar que la laguna Interna se “llena” posterior a las lluvias, y no hubo precipitaciones en el periodo estival de 2021, lo que resulta ser el área que aporta la mayor diferencia proporcional entre los registros de invierno y verano. Además, para el sector Peine, se verifica un descenso en el área (grosor) de los canales de conexión entre lagunas Salada y Saladita, donde el subsector Laguna Saladita también presenta menor área de ocupación de agua; estos datos son consistentes a los determinados por las imágenes analizadas (AR – L8) y los resultados de la inspección visual a la zona en diciembre 2021.

**Figura N° 6-7. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Respecto a las variaciones intranuales para el sector Peine, en la Figura N° 6-8 se observa en el gráfico (lado izquierdo) la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2013 – 2014 y en el gráfico de la derecha, con un análisis similar para años 2016 – 2021 y junto con ello las precipitaciones de la estación ubicada en Planta Salar Albemarle y Pluviométricos Sector Peine. De este análisis intranual se puede apreciar que para los años 2013-2014 existe menor variabilidad de las áreas lagunares (200.000 m<sup>2</sup> aprox.), a diferencia de los años 2016-2021 con un rango de variabilidad mayor de 600.000 m<sup>2</sup>.

Se observa un leve aumento de las superficies lagunares de Peine desde fines de mayo de 2013 hasta septiembre de 2013 (otoño – invierno), manteniéndose el resto del periodo con superficies en valores similares (noviembre 2013 a julio 2014). En el caso de los años 2016-2021, la serie de superficies lagunares (mediante serie Landsat/NDWI) muestra las superficies más altas entre julio de 2019 y enero 2020, fluctuando a la baja entre febrero de 2020 y agosto de 2020, con una fuerte alza en septiembre de 2020, para volver en la fluctuación a la baja hasta fines de 2020; desde marzo de 2021 hasta fines del mismo año, las superficies fluctúan en promedio en el rango de los 340.000 m<sup>2</sup>, muy similar a los presentado en el periodo de enero 2018 a enero 2019. La relación con fluctuaciones puntuales asociadas con las precipitaciones en el sector, son visibles en los análisis pluviométricos asociados al área y sus alzas en febrero 2019 (18,9 mm EM-Rockwood; 67,5 mm PLS Peine) y agosto 2020 (23,8 mm EM- Rockwood; 3,29 mm PLS Peine).

La gráfica de variaciones Landsat/NDWI 2016-2021, muestra que el comportamiento observado desde junio 2017 – enero 2019, podría tener una correspondencia con el periodo septiembre 2020 – diciembre 2021.

Con respecto a las variaciones de las superficies lagunares del índice Landsat/NDWI 2016- 2021 y los registros calculados como parte del PSAH, estos últimos se encuentran sobre de los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2020; sin embargo los registros de invierno y verano 2021 se presentan en el rango mínimo de las superficies calculadas del índice NDWI, correspondiendo a valores promedio que bordean los 340.000 m<sup>2</sup> entre los meses de julio – diciembre 2021, por lo que representarían las superficies mínimas que la serie señala para el sector y que coinciden con los valores promedios señalados como parte del PSAH para los meses de agosto y diciembre. Para la serie Landsat/NDWI 2016- 2021, (Figura 6-7 del lado derecho), no se observa una tendencia clara para este período, en donde las superficies mínimas en verano 2016 y verano 2018 se presentan similares en magnitud a la superficie estimada para verano 2021. Las superficies máximas que se presentan son posteriores a eventos de precipitaciones.

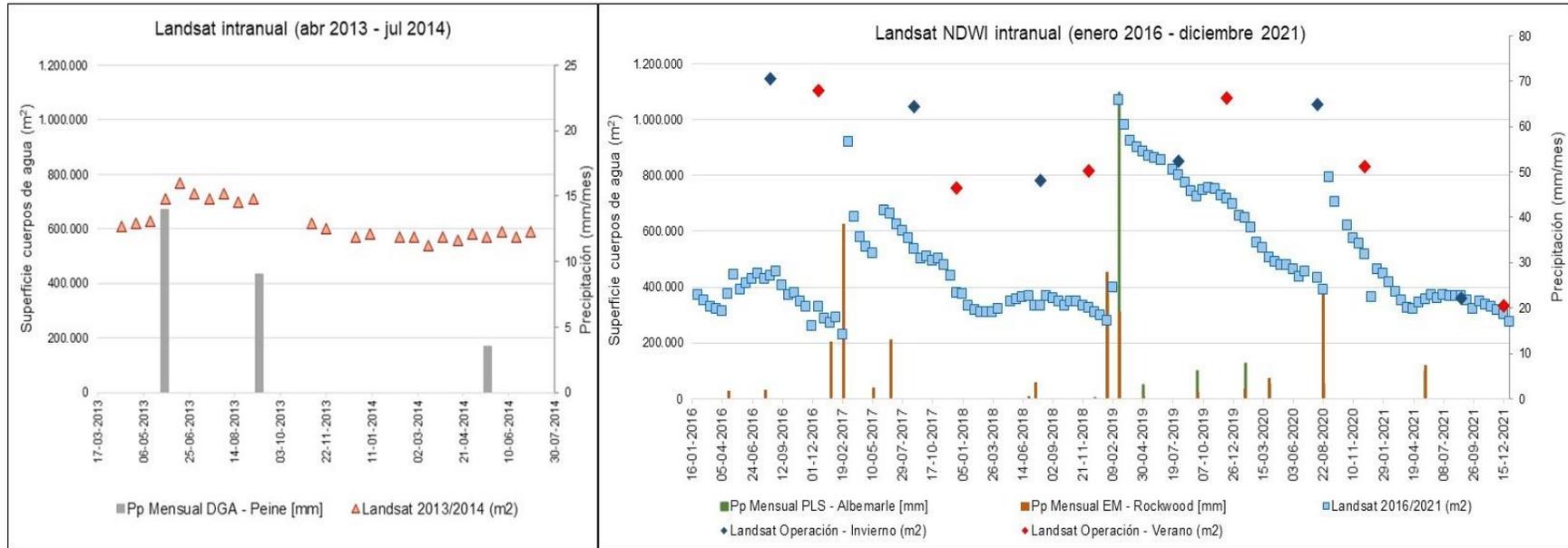
Sin perjuicio de lo anterior, así mismo como se han estudiado las lagunas La Punta-La Brava, con el objetivo de poder estudiar la evolución histórica que ha tenido el sistema Peine, es que durante el año 2021 Albemarle encomendó analizar las superficies lagunares de este sistema desde una ventana temporal más amplia, con el objetivo de poder estudiar la tendencia de largo plazo de los cuerpos lagunares a través del tiempo de mayor data. La Figura N° 6-9 presenta esta serie Landsat histórica período 1985-2021, estimada por IZUMI, 2021 para Informe<sup>17</sup> de Investigación N°1 Activación PAT Sector Alerta Acuífero de Albemarle (agosto 2021). Los registros se obtuvieron utilizando la misma técnica de clasificación de un índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), y considerando todo el sistema Peine en su conjunto, es decir, lagunas Salada, Saladita e Interna.

Al igual que para la serie 2016-2021, se utilizaron imágenes satelitales de libre disponibilidad LANDSAT y dado el período, 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 30m de píxel, y se filtraron de acuerdo a su nubosidad (condición despejada) y su calidad radiométrica (no saturada).

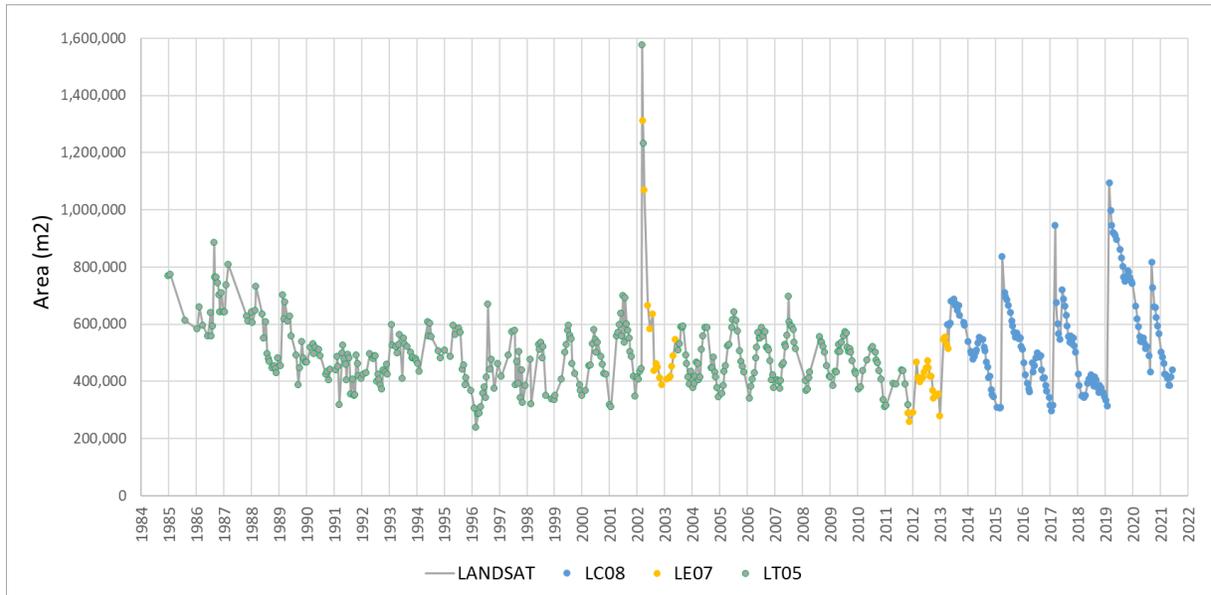
---

<sup>17</sup> Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI . Julio 2021. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del 09-08-2021, 2021 08 06 ALB-GMA-2021-SMA-046 Entrega Informe de Investigación.

**Figura N° 6-8. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 6-9. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2021)**

Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

Analizando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI (1985-2021), Figura N° 6-9, en general se observan tres periodos. El primer período entre 1985 a 1996, marcado por descensos y ascensos tanto de las superficies mínimas de verano como de las de invierno, llegando a un mínimo de casi 200.000 m<sup>2</sup> en el año 1996. El segundo período entre 1996 a 2013, caracterizado por una variabilidad estacional más o menos en rangos estables, entre 400.000 m<sup>2</sup> a 600.000 m<sup>2</sup> aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002. Finalmente, un tercer período el cual, a diferencia del anterior, presenta una variación no estacional y con aumentos abruptos de superficies en promedio cada 2 años aprox. Estos aumentos o peaks de áreas, han coincidido con las precipitaciones del último período (Ver Figura N° 6-8).

Como se puede observar, los valores registrados durante el seguimiento ambiental y en particular el año 2021, se encontraría dentro de los rangos de variabilidad natural del sistema Peine, el que ha fluctuado de manera dinámica y variable a través del tiempo. Las disminuciones de las superficies lagunares del último período, podrían estar condicionadas a la morfología de las tres lagunas que conforman el sistema Peine, en especial de la laguna Interna, dados sus desbordes y cambios en sus flujos, así como por las condiciones climatológicas del lugar.

En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar Peine, se puede observar una variabilidad histórica y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas, y que en el último período 2013- 2021 se ve relacionado con el aporte de precipitaciones.

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies semestrales del PSAH desde imágenes de alta resolución, para el sector Peine (Figura N° 6-10), se puede observar en los años 2016 y 2021 una cierta variabilidad estacional reflejada por una diferencia entre el área de invierno con la de verano, hasta el invierno 2021. Sin embargo, para el resto de los períodos, las áreas resultan ser muy similares, en donde incluso las áreas de verano resultaron ser superiores a las de invierno en el 2019 y 2020. Lo anterior, junto con los resultados de superficie desde imágenes Landsat, corrobora el modelo conceptual planteado durante la evaluación del proyecto, respecto a que en general no se observa una variación estacional de la superficie lagunar Peine por influencia de la evaporación.

En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales del PSAH, de invierno y verano 2021, se presentan bajo el mínimo históricos AR (489.000 m<sup>2</sup>), con una cobertura en agosto de 2021 menor en -31.881 m<sup>2</sup> (-6,5%) y en diciembre 2021 menor en -225.457 m<sup>2</sup> (-46,1%). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

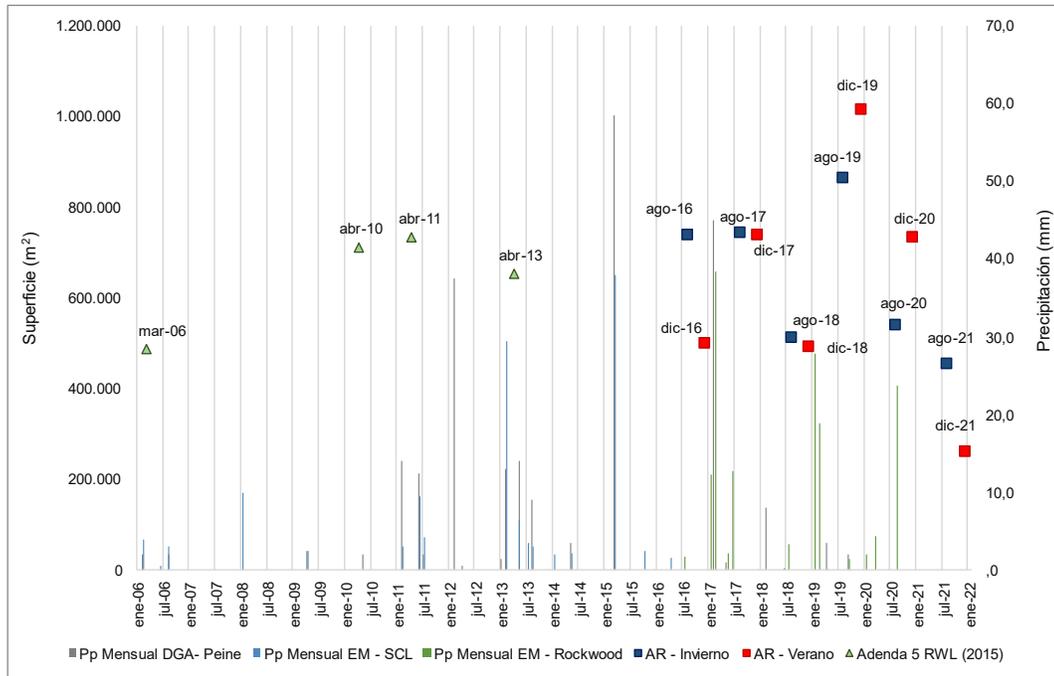
Con respecto a las precipitaciones para el sector<sup>18</sup>, y considerando las precipitaciones registradas por estación Peine y en los últimos años la estación de Albemarle, observando la Figura N° 6-10, se desprende que las de mayor aporte no siempre se relacionan temporalmente a superficies máximas o variaciones significativas en los cuerpos de agua del sector Peine, por lo que no puede relacionarse directamente el aporte de precipitaciones a la superficie lagunar.

Las precipitaciones reportadas por la estación meteorológica ubicada en la Planta Albemarle, muestra un aumento de las precipitaciones en los meses de enero a junio de 2017 con 65,7 mm acumulados para el periodo (la estación DGA – Peine reporta para febrero de 2017, 45 mm acumulados), que no tiene un efecto directo en las superficies de agosto y diciembre de 2017, que se presentan dentro del rango estimado para el sector. Por otro lado, las precipitaciones de enero a abril de 2019 con 46,8 mm acumulados (5,5 mm acumulados según DGA – Peine), podría relacionarse con un aumento de las superficies de los reportes semestrales de agosto y diciembre 2019; sin embargo el volumen es menor a otras cifras reportadas que no han resultado en un alza en las superficies de los cuerpos de agua del sector. Los reportes de agosto 2020 con 23,8 mm., pudieron significar un aumento de las superficies reportadas en diciembre 2020; para el periodo enero – diciembre 2021, solo se reportan precipitaciones en el mes de mayo 2021 (7,1 mm datos Planta Salar) que podría significar un leve aumento de las superficies en agosto 2021. Lo anterior, muestra diversas respuestas y variaciones puntuales de superficies asociadas en algunos casos a eventos de precipitaciones, pero no siempre, lo que indica una cierta relación de ambas variables pero si duda que existen otros factores que también inciden, como la evapotranspiración y los niveles subsuperficiales.

---

<sup>18</sup> La recopilación de información de precipitaciones anuales de la estación meteorológica DGA – Peine, actualizada en línea hasta mayo de 2020, posterior a esta fecha no existen datos en DGA (diciembre 2021); por lo tanto, se agregan datos de las estaciones meteorológicas Planta Albemarle para contextualización.

**Figura N° 6-10. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine.**



Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.3 Sistema Aguas de Quelana

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

Este sistema lagunar se sitúa sobre la Zona Marginal en el este del Salar de Atacama, y está conformado por un conjunto de lagunas de poca profundidad, situadas al pie de los depósitos aluviales que conectan con las Quebradas de Camar y El Toro. Su disposición es norte-sur, en paralelo al límite entre el Núcleo y la Zona Marginal, y también en paralelo a la posición de la interfase salina en esta zona.

De los datos históricos de superficie lagunar (Landsat 1972-2014) presentados en Adenda 5, “el complejo de Aguas de Quelana es el único que se ha llegado a observar prácticamente seco, sin apenas lámina libre de agua detectable por satélite con la resolución que permite el sensor montado sobre los satélites LANDSAT” [Ref.: línea de base Apéndice L: Monitoreo satelital Lagunas].

En este sistema las características de los cuerpos de agua provocan que el error al determinar la superficie inundada por esta metodología sea alto. Esto lleva a una subestimación de la superficie, especialmente en las mediciones de verano cuando los espejos de agua son más pequeños y dispersos. En este sistema presenta una fuerte estacionalidad con superficies en invierno significativamente mayores a las registradas en verano.

La entrada de agua a las lagunas del Sistema Aguas de Quelana, se produce a través de afloramientos situados al este de estas, en cuyos alrededores se desarrolla vegetación. En este sistema no se aprecia la presencia de canales que alimenten los cuerpos de agua, a diferencia de lo que sucede en los sistemas Peine y Soncor. Esto estaría indicando que las surgencias de agua subterránea se producen en las mismas lagunas o muy cerca de ellas. El flujo subterráneo que llega al sistema lagunar proviene de los acuíferos aluviales del este, que son alimentados por las quebradas de Camar, Cucala y El Toro. Los mayores aportes de agua a las lagunas se producen después de los períodos húmedos, sobre un cierto umbral de precipitaciones, como por ejemplo los años 2012 o 2017, que se traducen en un aumento de corto plazo de la superficie inundada de las lagunas.

El agua en las lagunas está sometida a procesos de evaporación. A la vista de las imágenes satelitales y de la geología descrita por Moraga *et al* (1974), se deduce que, durante estos eventos de precipitación, una parte del agua, que no puede evaporarse, discurre superficialmente a través de canales hacia el límite con la costra de cloruros del Núcleo, donde finalmente se incorpora al mismo ya convertida en salmuera. El hecho de que no se observen los denominados “open pools”, en el límite entre la costra de cloruros y la Zona Marginal, indica que estos flujos se producen únicamente tras eventos de gran precipitación.

- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria)

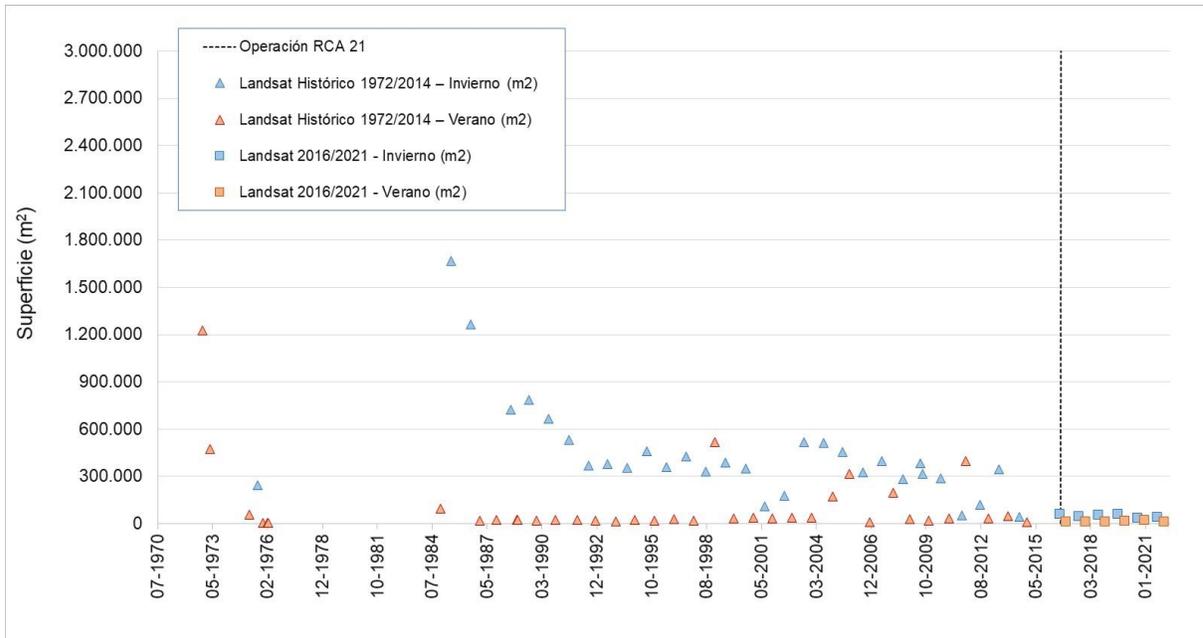
En la Figura N° 6-11 se presenta la serie histórica (1972 – 2020) de las superficies lagunares del sector Aguas de Quelana, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat asociadas al índice NDWI.

En la serie temporal histórica de NDWI, se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, indicados en colores celestes en la gráfica.

La superficie promedio en invierno es de 375.726 m<sup>2</sup>, con máximo de 1.665.409 m<sup>2</sup> y mínimo de 35.100 m<sup>2</sup> (agosto 2020); cabe destacar que los valores más bajos de la serie completa de inviernos desde 1975, se han concentrado desde julio de 2014 a la fecha. Para la condición de verano la superficie promedio alcanza los 96.745 m<sup>2</sup>, con una superficie máxima de 1.224.432 m<sup>2</sup> (octubre de 1972) y mínima de 2.469 m<sup>2</sup> (noviembre de 1975, febrero y marzo 1976). En este caso, se observa la mayor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, siendo en el periodo de verano donde se producen las mayores bajas del sistema, donde se observa que los cuerpos de agua pueden llegar a reducirse hasta en un 98%. Al igual que en la temporada de invierno, las menores superficies de los veranos de la serie completa se concentran desde 2014 a la fecha.

La tendencia histórica de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto) muestran un descenso entre 1985 a 1993 y que luego se estabiliza hasta julio 2013, con 2 temporadas de bajas en el 2001-2002 y 2011-2012. La serie histórica asociada a los veranos (noviembre, diciembre, marzo) muestra un descenso desde 1972 a 1975 con los mayores descensos en entre 1975 y 1976 luego se mantiene en el rango con algunas alzas y bajas puntuales, para presentar nuevamente un descenso de valores desde 2014 a la fecha.

**Figura N° 6-11. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PSAH) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

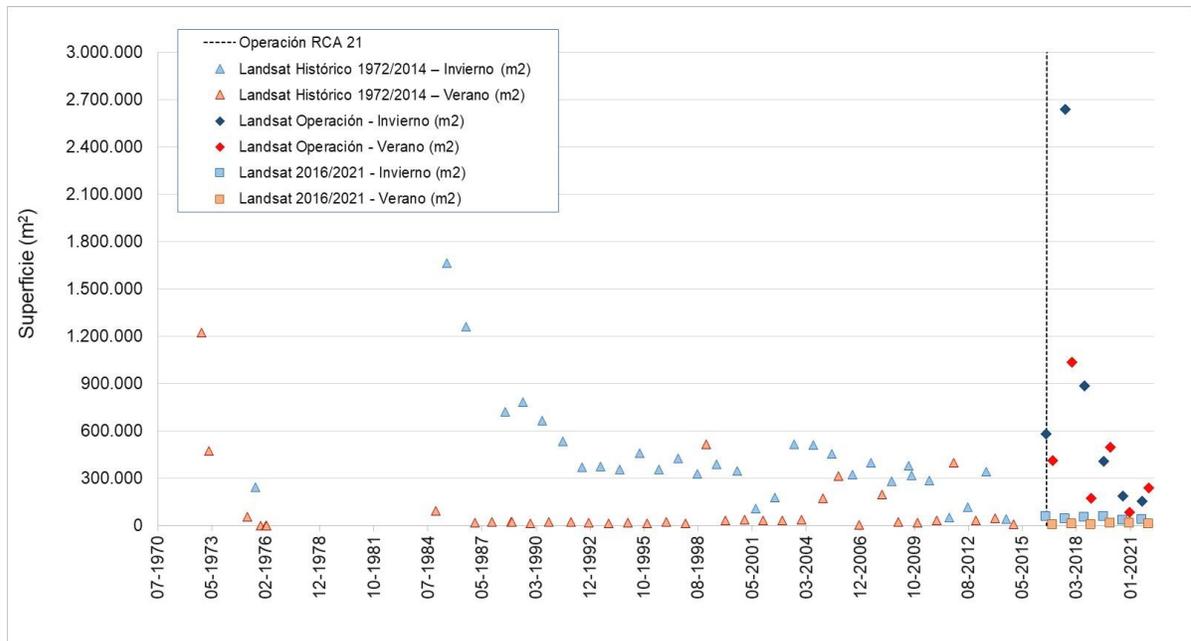
Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano.

Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se debe al robustecimiento de la metodología del procesamiento de las imágenes, el aporte de otros índices espectrales en la inclusión de zonas donde se presentan combinación de recubrimientos (ej. vegetación – agua), la validación en terreno y análisis visual fotointerpretativo, cuya contribución corresponde a la depuración de los límites de los cuerpos de agua y la calibración del modelo de clasificación en función de lo observado. Para el caso de Aguas de Quelana, la metodología aplicada en el marco del PSAH, permite la inclusión de áreas de vegetación inundada a la superficie total de ocupación de las lagunas, señalados en los índices NDVI y por la Banda NIR, lo que explica la inclusión de áreas de transición que no son detectadas por la metodología NDWI-Landsat, lo que se traduce en las diferencias en las superficies de ambos métodos.

En el caso particular de los resultados semestrales de agosto 2017 y diciembre 2017 con imágenes Pleiades, la existencia de extensas zonas inundadas y su interconexión, produjo un aumento

significativo de las áreas reportadas para ese periodo (Figura N° 6-12); la definición de esta área de ocupación incluyo zonas de transición entre recubrimientos (señalados por los diferentes índices espectrales) lo que otorga la diferencia a los resultados de la serie NDWI-Landsat histórica.

**Figura N° 6-12. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Aguas de Quelana.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

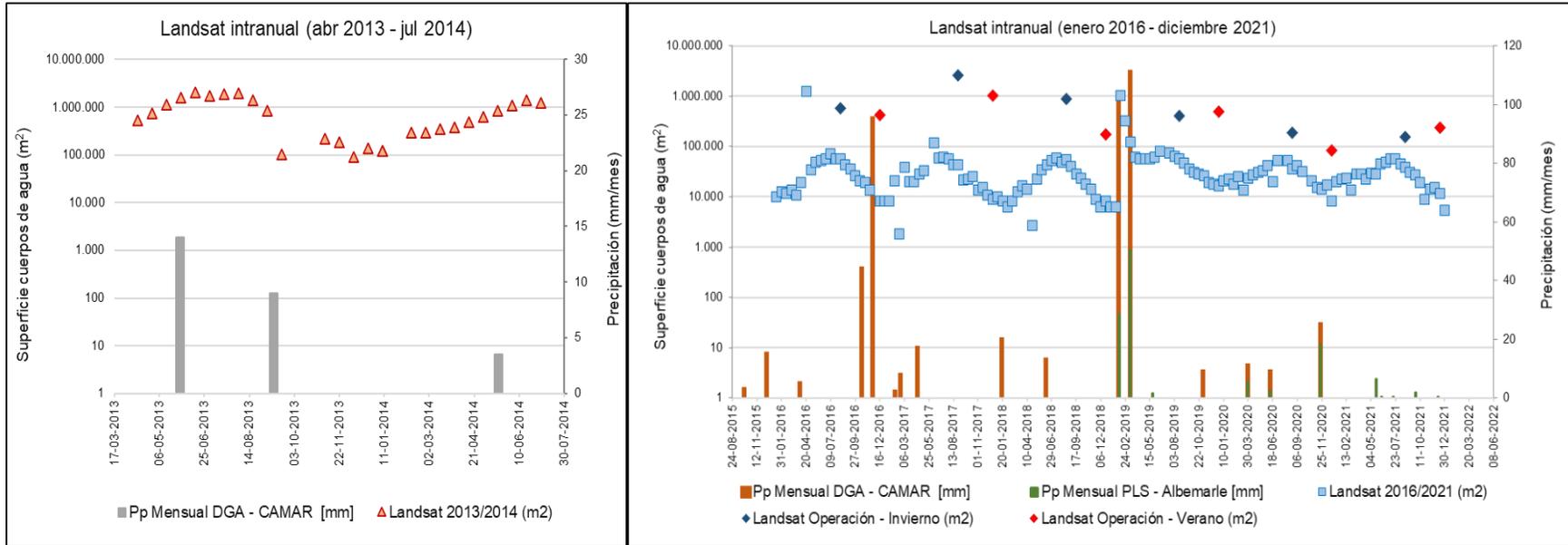
- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Aguas de Quelana, en la se presenta la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2013 – 2014 (datos presentados en proceso de evaluación del proyecto) y las estimadas para este informe, período 2016 – 2021, junto a las precipitaciones. De la variación intranual se puede apreciar que para los años 2013-2014 existe aumento de las superficies para la época de invierno, esto es desde fines de mayo de 2013 hasta agosto de 2013, y disminuciones de las superficies para la época de verano, con las menores superficies registradas entre septiembre de 2013 a enero de 2014, siendo este último registro donde no se observan cuerpos de agua. Por otro lado, los registros en la serie 2016 – 2021, muestran áreas mucho menores que las 2013-2014, pero también siguen mostrando un aumento de las superficies en inviernos (aproximadamente entre mayo y septiembre) y descensos en época de primavera-verano (aproximadamente entre octubre y fines de enero) que bordean en promedio entre los 20.000 m<sup>2</sup> y 10.000 m<sup>2</sup>, siendo los valores más bajo del periodo 2016 – 2021 los registrados en noviembre de 2016, febrero 2017, abril 2018 y diciembre 2021 donde se observan superficies que bordean o están bajo los 5.000 m<sup>2</sup>.

Del análisis intranual y en relación con las precipitaciones, tanto el período 2013-2014 como el 2016-2021, se observan aumentos y descensos de superficies de lagunas que no se relacionan directamente con los eventos de precipitación, lo que indicaría y reafirmaría el funcionamiento del modelo conceptual para este sistema, con que el agua en las lagunas está sometida a procesos de evaporación, y este sería el factor preponderante. Solo se observa correspondencia entre el aumento de precipitaciones y de superficies en los registros de febrero 2019, donde ambas variables presentan aumentos significativos.

Se observa que la ubicación de los principales cuerpos de agua se mantiene sin variaciones significativas en su tamaño y disposición en el área de estudio en los análisis de 2016 – 2021, manteniendo la fisonomía de cuerpos pequeños y dispersos asociados a vegetación ribereña; la tendencia general de estas superficies es la desaparición parcial en periodos extremos con la permanencia de cuerpos de agua consolidados de pequeño tamaño y la inundación de zonas colindantes.

**Figura N° 6-13. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana.**



Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

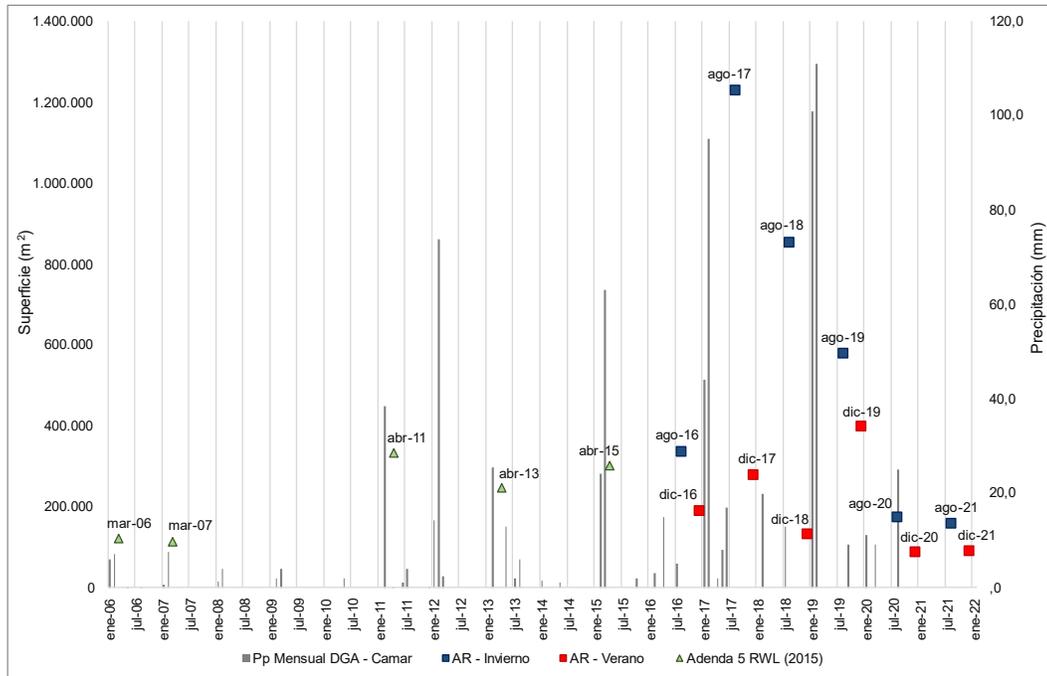
Con respecto a la variación de las superficies semestrales del PSAH desde imágenes de alta resolución, para el sector Aguas de Quelana (Figura N° 6-14) se puede observar una cierta variabilidad estacional, con meses de agosto con superficies promedio de 553.532 m<sup>2</sup>, con una superficie máxima de invierno en agosto de 2017 de 1.229.167 m<sup>2</sup>; mientras que en los meses de diciembre, la superficie promedio es de 194.663 m<sup>2</sup>, con una superficie mínima de 85.441 m<sup>2</sup> en diciembre de 2020 y 88.834 en diciembre 2021. En general, se observa una fluctuación de bajas y altas entre inviernos y veranos de diferente magnitud, tal como se aprecia en el comportamiento histórico. En relación con las superficies semestrales del PSAH y considerando el mínimo histórico AR (113.000 m<sup>2</sup>), se observó una cobertura en agosto de 2021 mayor en +43.479 m<sup>2</sup> (+38,5%) y la de diciembre 2021 es menor en -24.166 m<sup>2</sup> (-21,4%). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Con respecto a las precipitaciones para el sector<sup>19</sup>, para las superficies máximas más significativas de las superficies semestrales 2016 – 2021, el registro de agosto de 2017 esta precedido por 166,2 mm acumulados desde enero a junio de 2017, siendo estas precipitaciones las de mayor volumen desde enero – febrero de 2012; luego otro aporte importante de precipitaciones al sector se da en enero – febrero de 2019 con 212,0 mm acumulados, que da como resultado una superficie sobre el promedio de las semestrales en agosto 2019 y el registro más alto para los veranos en diciembre de 2019 (se agrega además una precipitación en septiembre de 2019 con 9.0 mm acumulados). Las superficies mínimas de agosto y diciembre de 2020 fueron precedidas por precipitaciones en donde desde marzo de 2019 a octubre 2020, se reportaron 54 mm acumulados; posterior a esa fecha no hay actualización de datos en la estación DGA- Camar, pero se registran datos pluviométricos en el sector de 0,3 mm (PLS-4) en julio de 2021 no habiendo precipitaciones posterior a esa fecha. Si bien se observa una sincronía entre el aumento de las superficies y mayor aporte de precipitación, éstas sólo se observan en fechas puntuales donde el aporte de precipitaciones excede el promedio para el sector (4,5 mm aprox.) y bordea las máximas (100 mm aprox.). Del análisis presentado intranual e interanual se considera que se verifica el modelo conceptual, en cuanto a que si bien el aporte de precipitaciones es importante, el factor principal que entrega la variabilidad estacional estaría dado por la evaporación del sistema.

---

<sup>19</sup> La recopilación de información de precipitaciones anuales de la estación meteorológica DGA – Camar, actualizada en línea hasta octubre de 2020, no disponibles actualizaciones después de esa fecha.

**Figura N° 6-14. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Aguas de Quelana.**



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.2.4 Sistema Soncor

- Funcionamiento del Sistema Lagunar

El Sistema Soncor se sitúa en el sector norte de la Zona Marginal del Salar de Atacama, al sureste del delta del río San Pedro. Se compone de las lagunas de Chaxa, Barros Negros y Puilar. La Laguna Chaxa se alimenta desde el norte a través del Canal del Burro Muerto y descarga hacia el sur por otro canal, hacia la Laguna de Barros Negros.

Las lagunas de Barros Negros y Chaxa se sitúan sobre el acuífero de salmuera, mientras que la Laguna Puilar está en las proximidades de la interfase salina, que en esta zona se dispone en dirección norte-sur, perpendicular a la dirección de los flujos de entrada de agua salobre desde los depósitos aluviales del borde este del Salar. La topografía en esta zona es relativamente plana, existiendo una ligera pendiente en dirección hacia el núcleo del salar.

La zona situada al sur de la Laguna Barros Negros representa una zona de acumulación por desbordamiento, y en cierto modo comunicada con el acuífero de salmuera, al encontrarse el nivel en la misma cota.

En resumen, se tiene que, las lagunas de este sistema Soncor son alimentadas por agua subterránea que ingresa al sistema proveniente de los acuíferos situados al norte y este. En la zona donde la interfase salina intercepta con el terreno se producen desbordamientos del agua que fluye hacia el oeste de manera superficial y subsuperficial. La mayor parte de estos flujos se concentra en el canal de Burro Muerto que acaba desembocando en la Laguna Chaxa, mientras otros desbordamientos alcanzan el canal que une la Laguna Chaxa con la Laguna Barros Negros y la propia Laguna de Barros Negros. Una vez que alcanza los canales mencionados, el agua fluye en dirección sur y comienza a sufrir proceso de evaporación, pasando primero por la Laguna Chaxa, después Barros Negros, y finalmente termina saliendo del sistema por la zona de desbordamiento “Cola de Pez” e infiltrándose en el Núcleo.

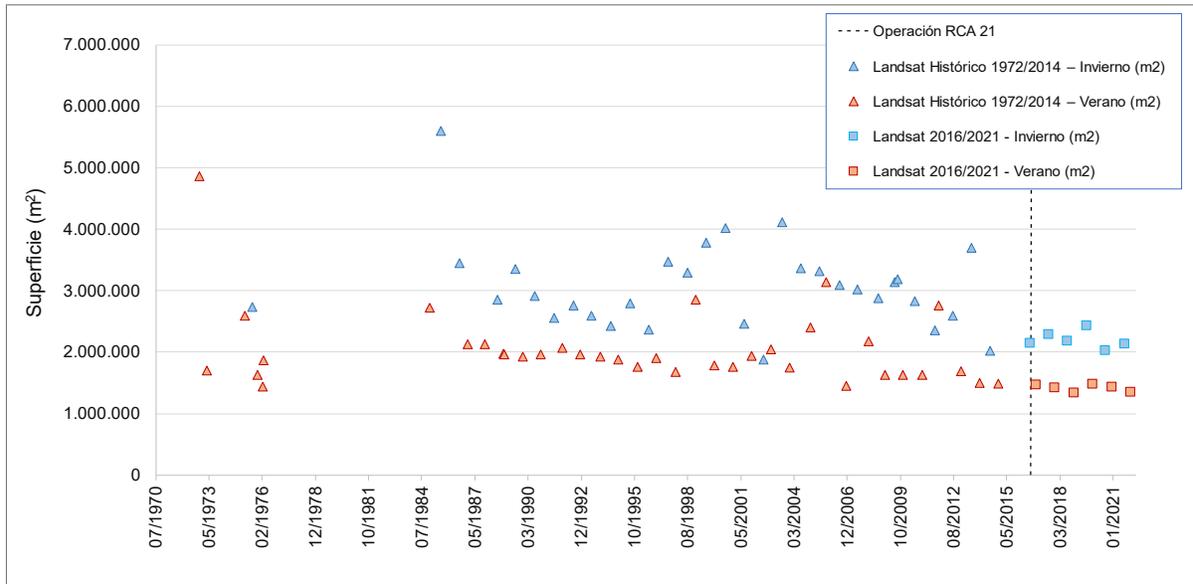
- Evolución histórica de superficie mediante imágenes Landsat (serie Adenda 5 y serie complementaria)

En la Figura N° 6-15, se presenta la serie histórica (1972 – 2020) de las superficies lagunares del sector Soncor, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, en base al índice NDWI. En la serie total, se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo los años con menor superficie 2002, 2014 y 2020. La superficie promedio en invierno es de 2.916.239 m<sup>2</sup>, con máximo de 5.594.631 m<sup>2</sup> (julio de 1985) y mínimo de 2.011.741 m<sup>2</sup> (julio de 2014), y para el verano la superficie promedio alcanza los 1.953.029 m<sup>2</sup>, con una superficie máxima de 4.856.771 m<sup>2</sup> y mínima de 1.329.300 m<sup>2</sup> (diciembre de 2018). En este caso, la diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano puede alcanzar aproximadamente el 60%.

La tendencia de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto) muestran un comportamiento variable de aumentos y descensos hasta 2014 (descenso 1986-1996; ascenso 1997-2003; descenso

2004-2014), para luego estabilizarse entre 2015 y 2021. Respecto a las superficies históricas medidas en verano, éstas se observan en general con tendencia al descenso, desde 1984 a la fecha.

**Figura N° 6-15. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor.**



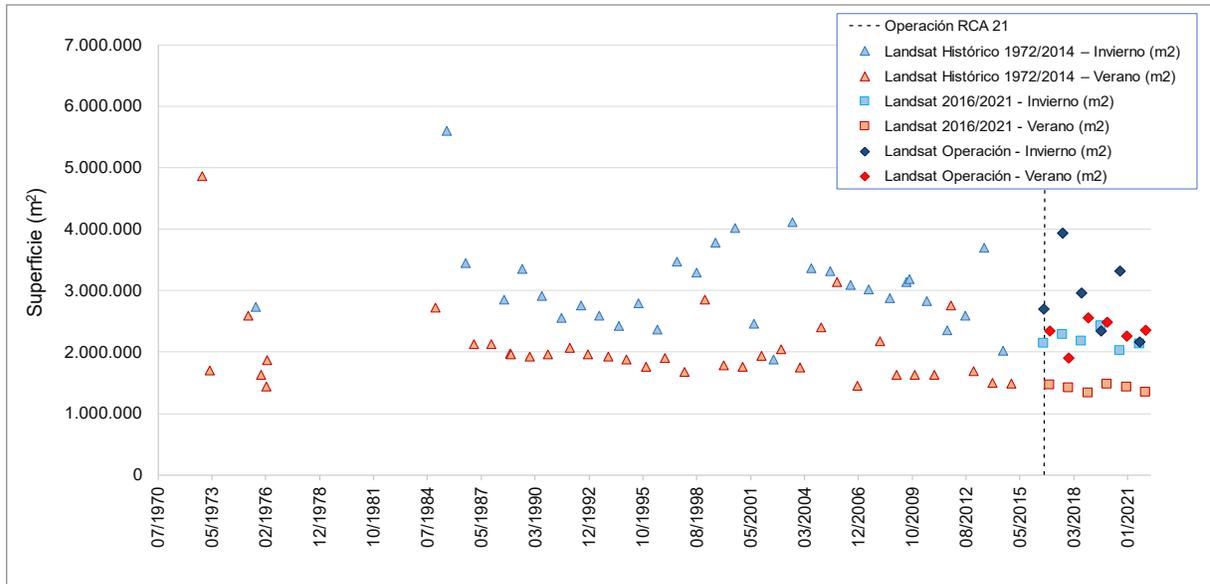
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PSAH) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

Los registros de superficies semestrales calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 – 2021 (Figura N° 6-16). Las principales diferencias entre la serie histórica NDWI - Landsat y los resultados de los reportes semestrales en el marco del PSAH, se pueden atribuir a varios factores, metodológicos ya mencionados. No obstante, estas diferencias resultan ser menores respecto a los sectores ya analizados, debido a la fisonomía de Soncor, lo cual ayuda en la definición de las lagunas y por ende la brecha entre ambos tipos de metodologías se reduce.

En general, las superficies semestrales presentan valores más cercanos a los máximos históricos de la serie NDWI – Landsat, tanto en invierno como en verano.

**Figura N° 6-16. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor.**



Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Soncor, en la Figura N° 6-17 se observa la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2013 – 2014 y 2016 – 2021 y su relación con las precipitaciones.

Del análisis intranual de superficies lagunares realizado en la Adenda 5 (año 2013-2014), se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno, tras el período de lluvias del primer semestre de 2013, por lo que se podría atribuir cierta relación entre ambas variables, sin embargo, tras registrarse la mínima extensión en el verano de 2014, la superficie lagunar vuelve a aumentar, sin estar este hecho precedido de eventos importantes de precipitación. Asimismo, los registros en la serie 2016 – 2021, también muestran un aumento de las superficies en invierno; mientras que los registros mínimos, se aprecian entre octubre y febrero - marzo, siendo los registros más bajos del periodo 2016 – 2021 el registrado en diciembre 2020 con 1.133.100 m<sup>2</sup> y el de noviembre 2016 con 1.162.800 m<sup>2</sup>. Por lo anterior, se tiene que la precipitación no sería el factor preponderante al cual atribuir la variabilidad estacional del sistema; a excepción de registros puntuales en febrero de 2017 y febrero de 2019, donde hay una correspondencia entre los registros de precipitaciones y el aumento de las superficies registradas.

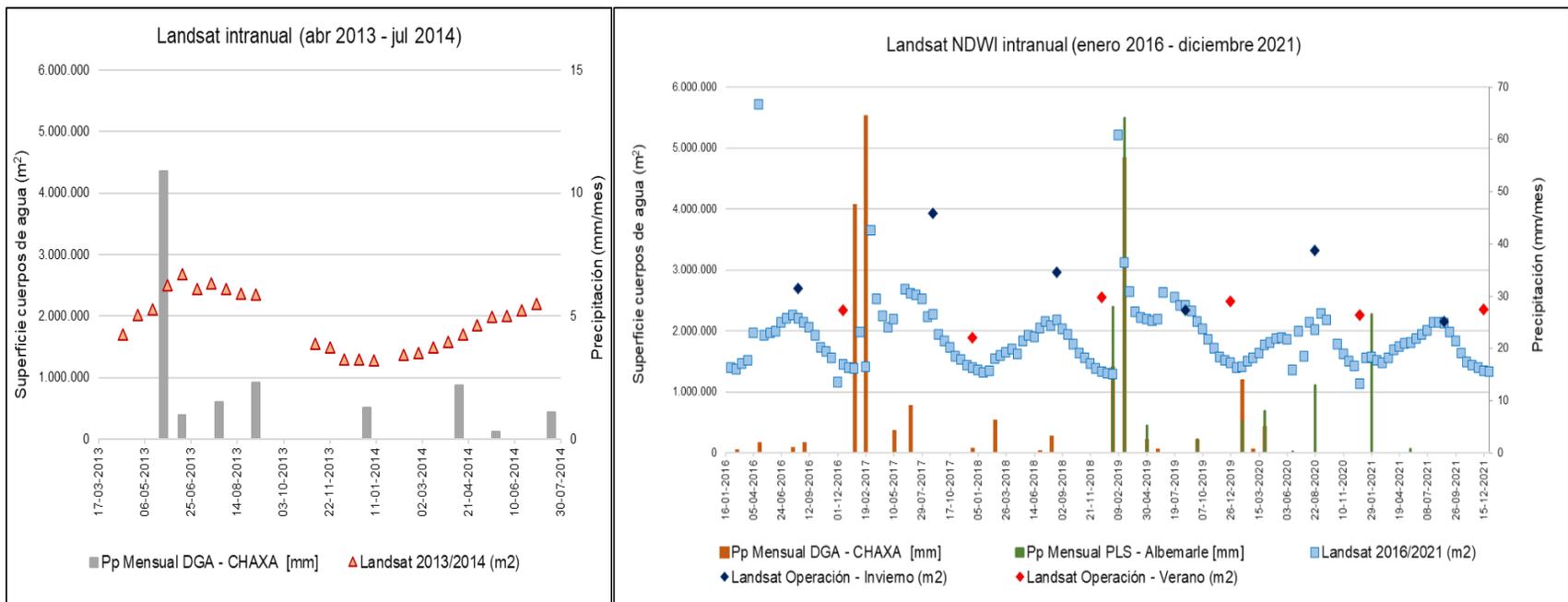
Con respecto a las variaciones de las superficies lagunares del índice Landsat/NDWI 2016- 2021 y los registros calculados como parte del PSAH para el sector Soncor, estos últimos se encuentran por sobre

---

los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2021, con agosto de 2019 y agosto de 2021 presentando valores similares a los observados en la serie NDWI. De la serie Landsat/NDWI 2016- 2021, se observa una leve tendencia a la baja en los valores a partir de 2019 en las superficies máximas de invierno, con estabilidad de las superficies mínimas.

Los resultados de la serie de imágenes Landsat/NDWI, muestran una fisonomía lagunar sin grandes variaciones, determinada por las características de los cuerpos de aguas confinados, con desbordes que aportan a la variación de la superficie lagunar centrados en las áreas sur al extremo del área de seguimiento.

**Figura N° 6-17. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor.**



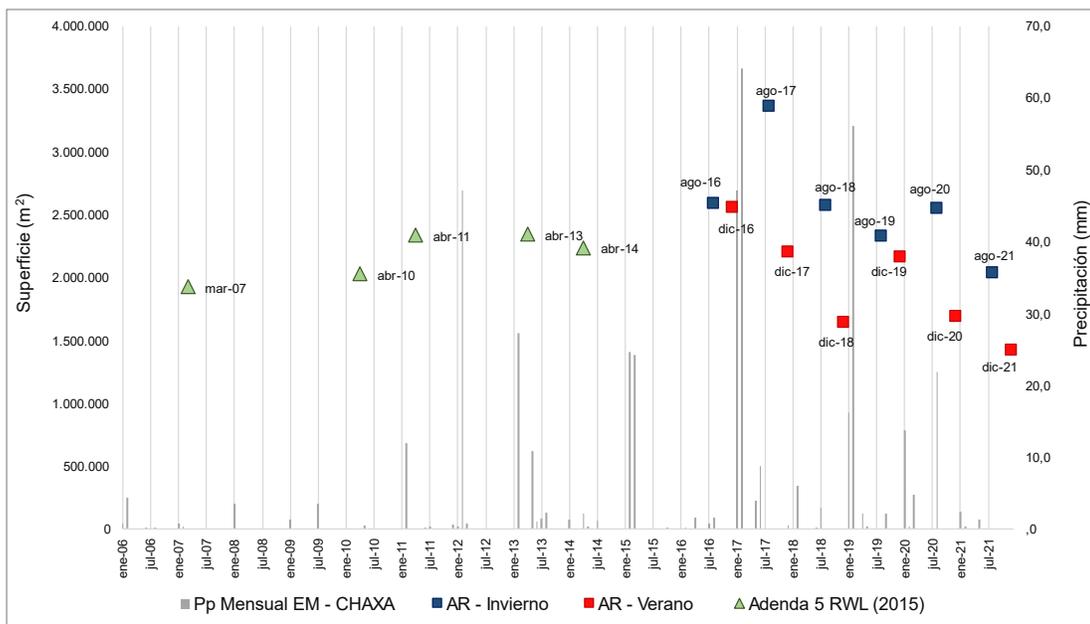
Fuente: Elaboración Propia

- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

Con respecto a la variación de las superficies semestrales del PSAH desde imágenes de alta resolución, para el sector Soncor (Figura N° 6-18) se puede observar variabilidad estacional, con meses de agosto con superficies mayores a las registradas en diciembre. En relación con las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales del PSAH se presentan por sobre y bajo el mínimo de Adenda 5 AR (1.924.000 m<sup>2</sup>). Las variaciones más destacadas son las de en agosto de 2021 donde la cobertura es mayor en +115.790 m<sup>2</sup> (+6,0%), diciembre 2021 con la cobertura menor en -500.926 m<sup>2</sup> (-26,0%) y diciembre de 2018 con la cobertura menor en -283.416 m<sup>2</sup> (-14,7%) respecto al mínimo reportado en la Adenda 5. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada anteriormente.

Con respecto a las precipitaciones para el sector<sup>20</sup>, para las superficies máximas del periodo 2016 – 2021, el registro de agosto de 2017 esta precedido por 124,1 mm acumulados desde enero a junio de 2017, lo cual repercutió en un aumento de superficie entre ambos meses. Una situación similar se observa en las siguientes temporadas invierno-verano del periodo en cuestión, en donde aumentó la superficie lagunar de invierno 2020 para luego bajar, en diciembre 2020. Para el periodo enero 2021 – diciembre 2021 solo se registró un acumulado de 4,0 mm, sin embargo, no es determinante esta variación en la baja de las superficies registradas en 2021.

**Figura N° 6-18. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Soncor.**



Fuente: Elaboración Propia

<sup>20</sup> La recopilación de información de precipitaciones anuales de la estación meteorológica EM – Chaxa, estación SQM, disponibles en línea en <https://www.sqmsenlinea.com/meteorology/231>.

## 7 CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados de las superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar, al contrastar los resultados anuales de los cuatro sistemas en 2021, se observa que de los 4 sistemas, la mayor cobertura son para el sector Soncor, desde imágenes Pleiades 1A, tanto en invierno 2021 como en verano 2021, con 2.039.790 m<sup>2</sup> y 1.423.074 m<sup>2</sup>, respectivamente. En tanto, las menores superficies se presentaron en el sector Aguas de Quelana, en verano 2021 con 88.834 m<sup>2</sup> y 156.479 m<sup>2</sup> en invierno 2021 (Tabla N°7-1).

El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el sexto año de monitoreo 2021 con respecto a los registros históricos se presenta en la Tabla N°7-1.

De los resultados de las campañas para el año 2021, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno 2021 se encuentran por sobre el mínimo histórico excepto Sistema Lagunar Peine; y para la estación de verano (diciembre 2021) todos los sistemas presentaron superficies bajo el mínimo histórico. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos (mar – abr) a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en la discusión de este informe.

**Tabla N°7-1. Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2021 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base e históricos (Adenda 5 RWL, 2015).**

Tipo de imagen	Sistema Lagunar	Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)			Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2021		
		Promedio (m <sup>2</sup> )	Máximo (m <sup>2</sup> )	Mínimo (m <sup>2</sup> )	Invierno 2021	Verano 2021	Promedio anual (2021)
					m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Superficies Pleiades 1A de alta resolución	PB	338.000	350.000	316.000	458.260	240.841	349.551
	PE	648.000	736.000	489.000	457.119	263.543	360.331
	AQ	222.000	331.000	113.000	156.479	88.834	122.657
	SO	2.174.000	2.342.000	1.924.000	2.039.790	1.423.074	1.731.432
Superficies Landsat 8 de media resolución	PB	-	-	-	399.632	355.026	377.329
	PE	-	-	-	359.677	333.610	346.643
	AQ	-	-	-	155.886	239.605	197.745
	SO	-	-	-	2.161.004	2.350.648	2.255.826

Dónde: AQ: Aguas de Quelana, LPLB: La Punta y La Brava, PE: Peine, SO: Soncor.

\*Los valores históricos se obtuvieron sólo a partir de imágenes de alta resolución.

Fuente: Cedrem Consultores

La validación del ajuste de las coberturas determinadas, en relación a los datos de terreno recabados y fotointerpretados, mediante el índice *Kappa*, tuvo una variación entre 0,92 y 0,69 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A y desde 0,93 y 0,75 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2021. Respecto de diciembre de 2021, este índice tuvo una variación entre 0,92 y 0,61 para imágenes de alta resolución Pleiades-1A y desde 0,87 a 0,50 para imágenes de resolución media Landsat 8.

Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a casi perfecta*<sup>21</sup>.

La correlación entre las superficies calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1A) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestran que para todos los sectores, las variables tienen una *relación positiva*, con una correlación entre *alta y moderada*; mientras que los valores *p* indican que existe *evidencia estadística* sobre la *significancia* de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat. Esto señala que para los sectores que existe una relación entre los resultados provenientes de AR y Landsat, y que las diferencias presentes son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes de media resolución, que entrega un modelo con bordes menos definidos en comparación al modelo de alta resolución que presenta una mayor definición de los bordes o contorno de los recubrimientos (por la mejora del contraste y respuesta espectral que otorga las imágenes de alta resolución), lo que produce diferencias en la magnitud de los valores, pero relacionándose en sentido directo (a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos).

- Sector La Punta-La Brava

Según el análisis de comparación con registros históricos de línea de base, y según la evolución de la superficie mediante imágenes NDWI-Landsat, para el sector de La Punta y La Brava se observa que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno y los registros más bajos en general se observan en verano. Se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), desde el año 1984, las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan estabilidad en sus valores a excepción de un evento de alza en enero del año 1999. En general, se observa que la diferencia entre superficies entre los inviernos y veranos se ha ido acortando desde el año 2008, mostrando un quiebre en la tendencia de las superficies de invierno a la fecha.

Las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2021, como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en las superficies de invierno y verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2021.

De las variaciones intranuales y su relación con las precipitaciones, para ambas series intranuales 2013/2014 y 2016/2021, se observa que para La Punta-La Brava, las superficies más altas se tienen en los meses de invierno, entre julio hasta mediados de septiembre y los valores más bajos en primavera – verano, entre noviembre – marzo. De lo anterior, se puede señalar que la variación intranual de las superficies lagunares del sector, tendría una relación más directa con la evapotranspiración, dejando la precipitación como un factor secundario, dado que esta produce variaciones significativas de la superficie, sólo para eventos de “alta precipitación”. En resumen, considerando el periodo de 1985 a 2021 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una variabilidad estacional, con

<sup>21</sup> Valores cercanos a 1,00 indican una mayor concordancia inter-observador. Los rangos de valores son: Pobre: 0,00; Leve: 0,01 – 0,20; Aceptable: 0,21 – 0,40; Moderada: 0,41 – 0,60; Considerable: 0,61 – 0,80; Casi perfecta: 0,81 – 1,00 (Landis y Koch, 1977).

una tendencia a la baja histórica y una cierta estabilización en el período 2013-2021, y que particularmente a escala más pequeña de tiempo (2016-2021) también presenta disminución en los últimos años.

La variación de las superficies semestrales de alta resolución del PSAH para el sector La Punta – La Brava en relación con las superficies históricas AR (Adenda 5 RWL, 2015), muestran que las superficies semestrales, se presentan sobre los históricos, a excepción del mes de diciembre de 2020 y diciembre de 2021. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada. En general, las variaciones estacionales con inviernos de mayor área de ocupación lagunar y veranos con menor superficie lagunar, puede observarse tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, pero en la serie de alta resolución no se observa una diferencia constante entre inviernos y veranos, a excepción de los años 2020 y 2021 donde se puede ver mayor diferencia entre temporadas.

- Sector Peine

Para el sector Peine, la serie histórica muestra que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo en el último tiempo (2016-2021) donde se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano, manteniéndose estable y por sobre los valores históricos. Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI-Landsat, tanto en invierno como en verano, y para las series 1972 – 2014 y 2016 – 2021.

Para la variabilidad intranual, en este sector se observa mayor variabilidad de las superficies en el periodo 2013 – 2014, con un periodo 2016 – 2021 que muestra una fuerte alza en septiembre de 2020, ligado eventualmente a un mayor aporte de precipitaciones en agosto 2020, pero de la cual la estación DGA - Peine no cuenta con registro. Desde marzo de 2021 hasta fines del mismo año, las superficies fluctúan en promedio en el rango de los 340.000 m<sup>2</sup>, muy similar a los presentado en el periodo de enero 2018 a enero 2019, sin presentarse aportes de precipitaciones ligados a las fluctuaciones mostradas. Este acontecimiento podría denotar una relación entre las precipitaciones y la variación de la superficie lagunar en este sector; sin embargo, no es concluyente al considerar otros datos, inter e intranuales, entregados por las estaciones meteorológicas y las variaciones de las superficies registradas en el sector.

Considerando la variación histórica de las superficies lagunares, a través de las imágenes Landsat NDWI en el periodo de 1985 a 2021, se puede observar diferencias de comportamientos en tres períodos, con descensos en los años 1985-1996, variación estacional entre los años 1996 a 2013 y una cierta dependencia de las condiciones locales físicas e hidrológicas en el último período 2013-2021, y en donde en este último se ve altamente relacionado con el aporte y flujo que provocarían las precipitaciones locales.

La variación de las superficies semestrales 2021 de alta resolución del PSAH para el sector Peine, se encuentran bajo los mínimos históricos de AR, con una variación estacional no influenciada por la evaporación, donde no se evidencia una correlación directa entre la precipitación registrada en la estación meteorológica DGA - Peine y Planta Albemarle, y las variaciones en el área de ocupación de los cuerpos de agua. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en este análisis.

- Sector Aguas de Quelana

Para el sector Aguas de Quelana, la serie temporal histórica de NDWI-Landsat muestra que la máxima extensión de las lagunas se produce principalmente durante los meses de invierno, siendo en el periodo de verano donde se producen las mayores bajas del sistema, donde se observa que los cuerpos de agua pueden llegar a reducirse hasta en un 98%. La serie histórica de verano se observa desde 1984 y durante todo resto del registro muy baja.

Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI-Landsat, tanto en invierno como en verano para las series 1972 – 2014 y complementaria 2016 – 2021,

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Aguas de Quelana, los registros en la serie 2016 – 2021, muestra áreas menores que las de 2013-2014, pero también siguen mostrando un aumento de las superficies en invierno, entre mayo y septiembre, y descensos en época de primavera-verano (aproximadamente entre octubre y fines de enero). Del análisis intranual y en relación con las precipitaciones, tanto el período 2013-2014 como el 2016-2021, se observan aumentos y descensos de superficies de lagunas que no se relacionan directamente con los eventos de precipitación, lo que indicaría y reafirmaría el funcionamiento del modelo conceptual para este sistema, con qué el agua en las lagunas está sometida a procesos de evaporación, y este sería el factor preponderante

En el sector las superficies en alta resolución del PSAH se encuentran bajo el mínimo histórico en diciembre 2021 y sobre el mínimo en el resto de los registros. En la variación de las superficies semestrales del PSAH desde imágenes de alta resolución, se observa una fluctuación de bajas y altas entre inviernos y veranos de diferente magnitud, tal como se aprecia en el comportamiento histórico interanual e intranual del NDWI-Landsat; y sólo se observan en fechas puntuales donde el aporte de precipitaciones excede el promedio para el sector (4,5 mm aprox.) y bordea las máximas (100 mm aprox.). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en el presente informe.

Del análisis presentado intranual e interanual se considera que, en cuanto a que, si bien el aporte de precipitaciones es importante, el factor principal que entrega la variabilidad estacional estaría dado por la evaporación del sistema.

- Sector Soncor

Para el sector Soncor, la serie histórica NDWI-Landsat, muestra que la máxima extensión de la superficie de los cuerpos de agua se presenta en los meses de invierno, con registros más bajos en verano. Las variaciones entre las superficies de inviernos y veranos son variables, donde el sector Soncor puede presentar diferencias entre las superficies de los periodos de invierno y verano que puede alcanzar hasta el 60%. En general, de la serie histórica, se observa una tendencia al descenso, desde 1984 a la fecha.

Los registros de superficies semestrales en el sector Soncor y calculadas con imágenes satelitales Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2021 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI-Landsat, tanto en invierno como en verano, considerando las superficies históricas 1972 – 2014 y 2016 - 2021.

Del análisis intranual de superficies lagunares realizados en las series 2013/2014 y 2016/2021, se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno; sin embargo, las diferentes variaciones no tendrían como factor preponderante a las precipitaciones.

En relación con las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales del PSAH se presentan sobre el mínimo de Adenda 5 AR (1.924.000 m<sup>2</sup>) en los registros 2016 – 2021, a excepción de diciembre 2020 y diciembre 2021 donde se presenta bajo el mínimo; con variabilidad estacional entre registros. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas en AR han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual mostrada en este informe.

## 8 REFERENCIAS

Anexo 1, Adenda 5 EIA, Apéndice I, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Funcionamiento Hidrogeológico de los Sistemas Lagunares La Punta – la Brava, Peine, Aguas de Quelana y Soncor. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.

Anexo 1, Adenda 5 EIA, Apéndice L, Proyecto Rockwood Lithium 2015. Monitoreo de dinámica espacio – temporal de lagunas de la Zona Marginal del Salar de Atacama a través de Imágenes Satelitales. Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico, Sector Sur del Salar de Atacama. Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Rockwood Lithium Limitada – SGA, Soluciones y Gestión ambiental. Región de Antofagasta, 246 pp.

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.

Albemarle- VAI, 2021. Informe Técnico de Investigación N°1 Activación PAT Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI . Julio 2021

IZUMI, 2021. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle. Anexo D, Albemarle-VAI, 2021.

CHANDER G., B. Markham, D. Helder, 2009. *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 5, 893-903 pp.

CHUVIECO, E. 2006. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Editorial Ariel, Barcelona, España.

- 
- CONGALTON, R. G., ODERWALD, R. G. & MEAD, R. A. 1983. *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 49: 1671-1678.
- CONGALTON, R. G. 1991. *A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment*, 37: 35-46.
- Cornellà, O., Salas, J., Aravena, R., Guzmán, E., Guimerá, J., Tore, C., Von Igel, W., Henríquez, A., Fock, A. Hidrogeología de los sistemas lagunares del margen E del Salar de Atacama. XII Congreso Geológico Chileno. Santiago, 22-26 de noviembre, 2009.
- CRIST, E. P. AND CICONE R.C. 1984. *Application of the Tasseled Cap concept to simulated Thematic Mapper data, Photogrammetric, Eng. Remote Sens Vol. 50(3), 343-352.*
- CRIST, E. P., LAURIN, R. AND CICONE, R.C. 1986. *Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data. In Proceedings of IGARSS' 86 Symposium, 1465- 70.*
- DGA, Dirección General de Aguas. 2014. División de Estudios y Planificación. Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. Santiago, 2014.
- FLORES CARTAGENA, D. 2002. Identificación y Análisis de Cambios en Bofedales de la Cordillera Occidental y del Altiplano de Bolivia. Tesis Maestría en Ciencias, Conservación de Cuencas.
- HERNÁNDEZ, H. J. Apuntes de clases de SIG y Percepción Remota. Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza. Universidad de Chile. 2005.
- HUDSON, W. D. & RAMM, C. W. 1987. *Correct formulation of the Kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53: 421-422.
- KAUTH, R. J., & THOMAS, G. S. (1976). *The tasseled cap a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen in Landsat. In Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data, LARS, Purdue University, West Lafayette, IN (pp. 441 - 451).*
- LANDIS J, KOCH G, 1977: *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics* 1977; 33:159-74.
- LAMOLDA H. Estudio de la influencia de las correcciones a imágenes Landsat ETM+ en la obtención de propiedades de cubiertas vegetales. Tesis de pregrado para optar a la titulación en ingeniero técnico en topografía. Universidad Politécnica de Madrid. 124 pp. 2008.

---

MMA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y Dirección General de Aguas (DGA). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Santiago, 2011.

ORTIZ, C., ARAVENA, R., BRIONES, E., SUAREZ, F., TORE, C. & MUÑOZ, J.F., 2014. *Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. Hydrological Sciences Journal*, 59 (2), 336 – 350.

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.

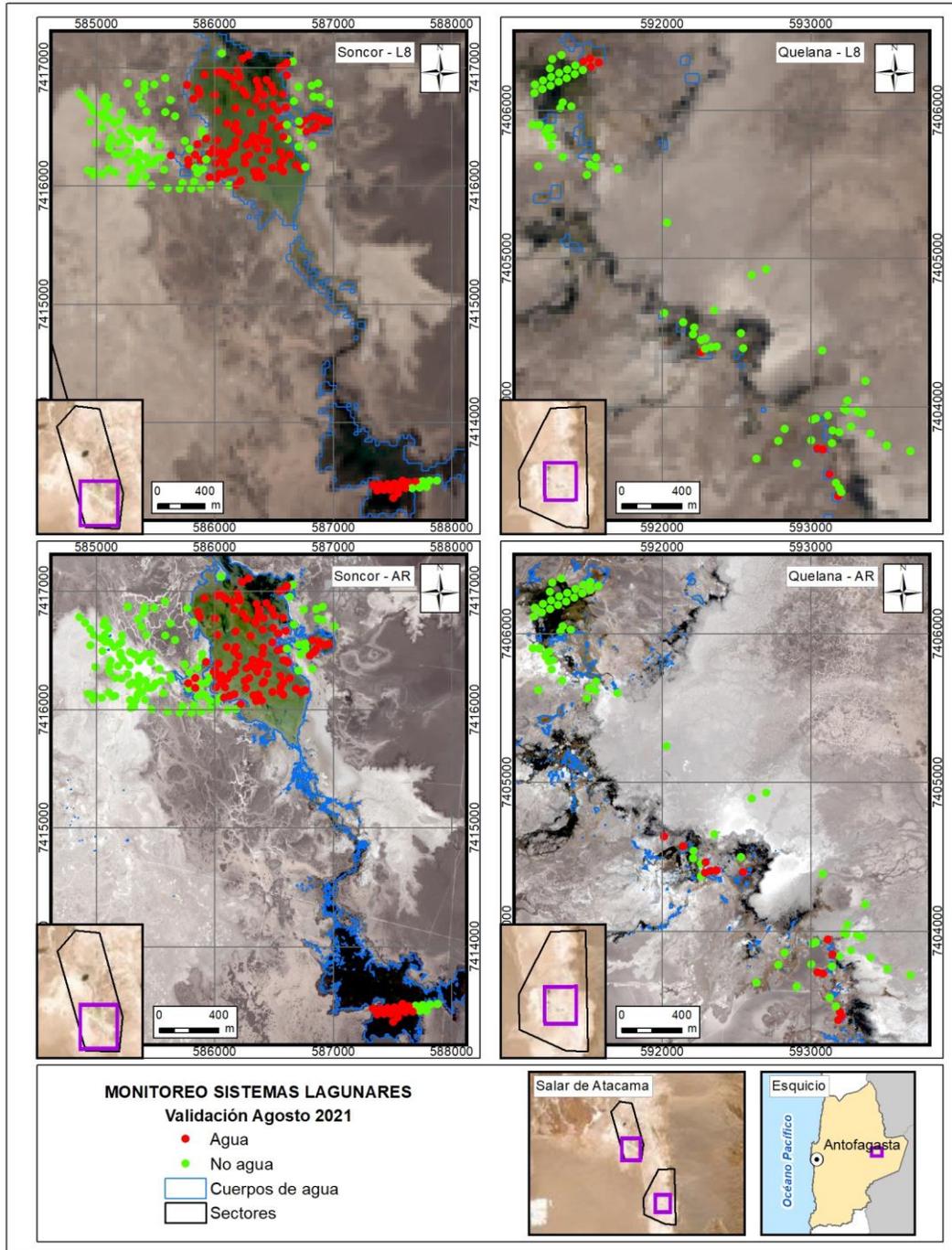
RWL, Rockwood Lithium. 2018a. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año III, agosto de 2018.

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.

- 
- RWL, 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.
- RWL, 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.
- RWL, Rockwood Lithium. 2021a. 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 VI, agosto de 2021.
- 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 VI, diciembre de 2021.
- WANG, Q., LI, P., CHEN, X., 2012. *Retrieval of soil salt content from an integrated approach of combining inversed reflectance model and regressions: an experimental study*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. 50, 3950–3957.
- XU, HANQIU, 2007. *Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*. International Journal of Remote Sensing, 27:14, 3025-3033.

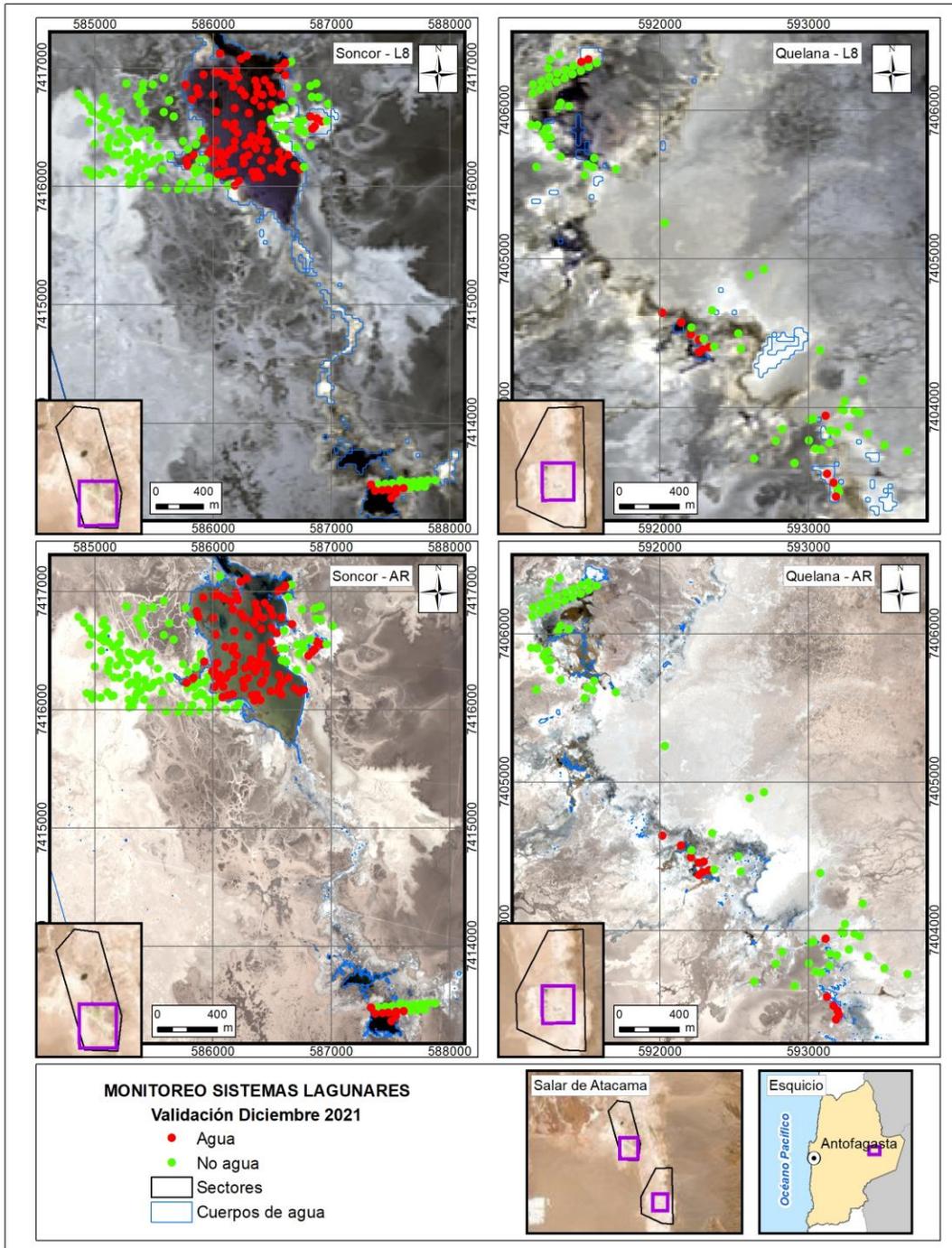
9 ANEXOS

ANEXO 9-1. Distribución de puntos de validación para imágenes LANDSAT 8 y PLEAIDES 1A, SECTOR NORTE. Agosto 2021.



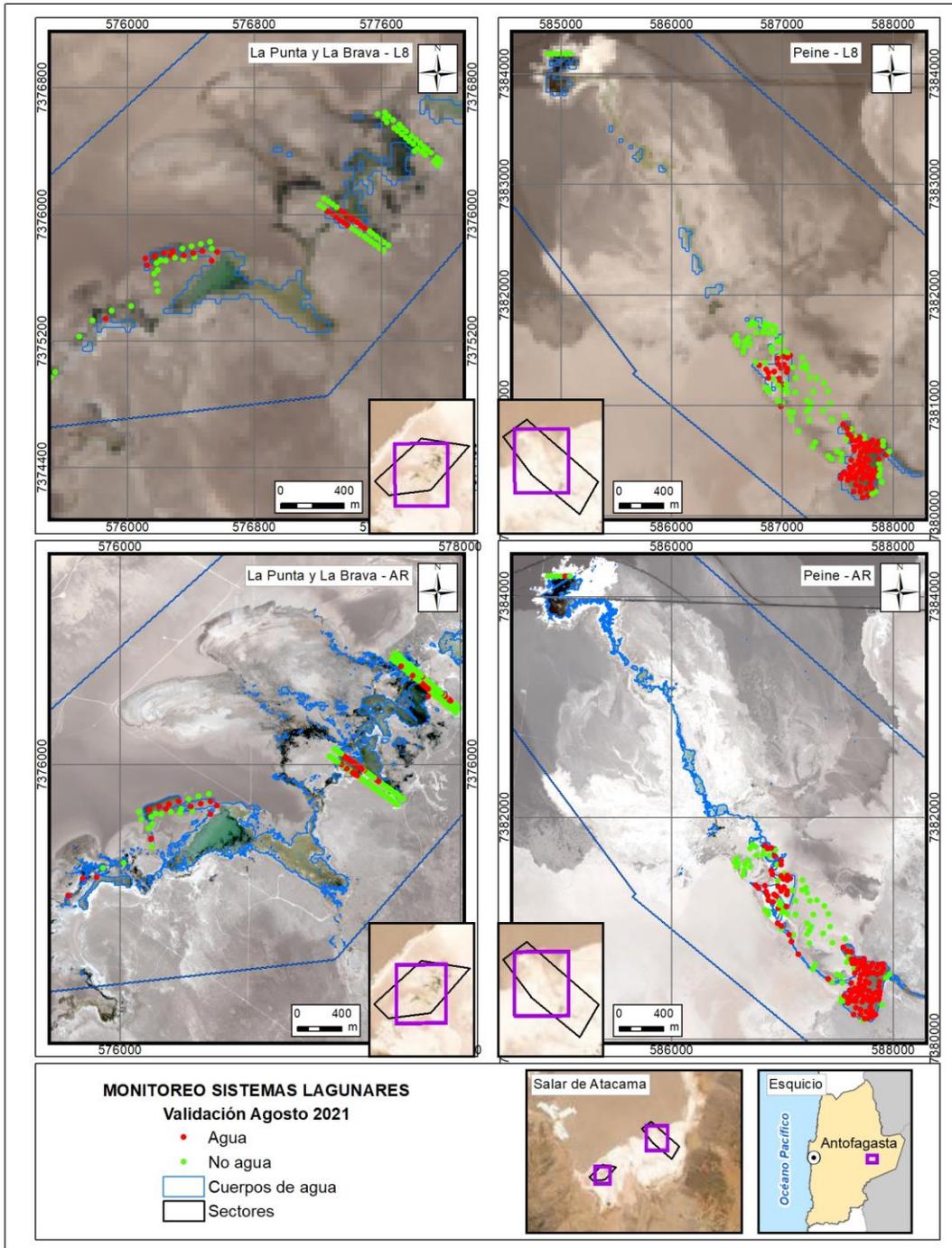
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-2. Distribución de puntos de validación para imágenes LANDSAT 8 y PLEIADES 1A, SECTOR NORTE. Diciembre 2021.**



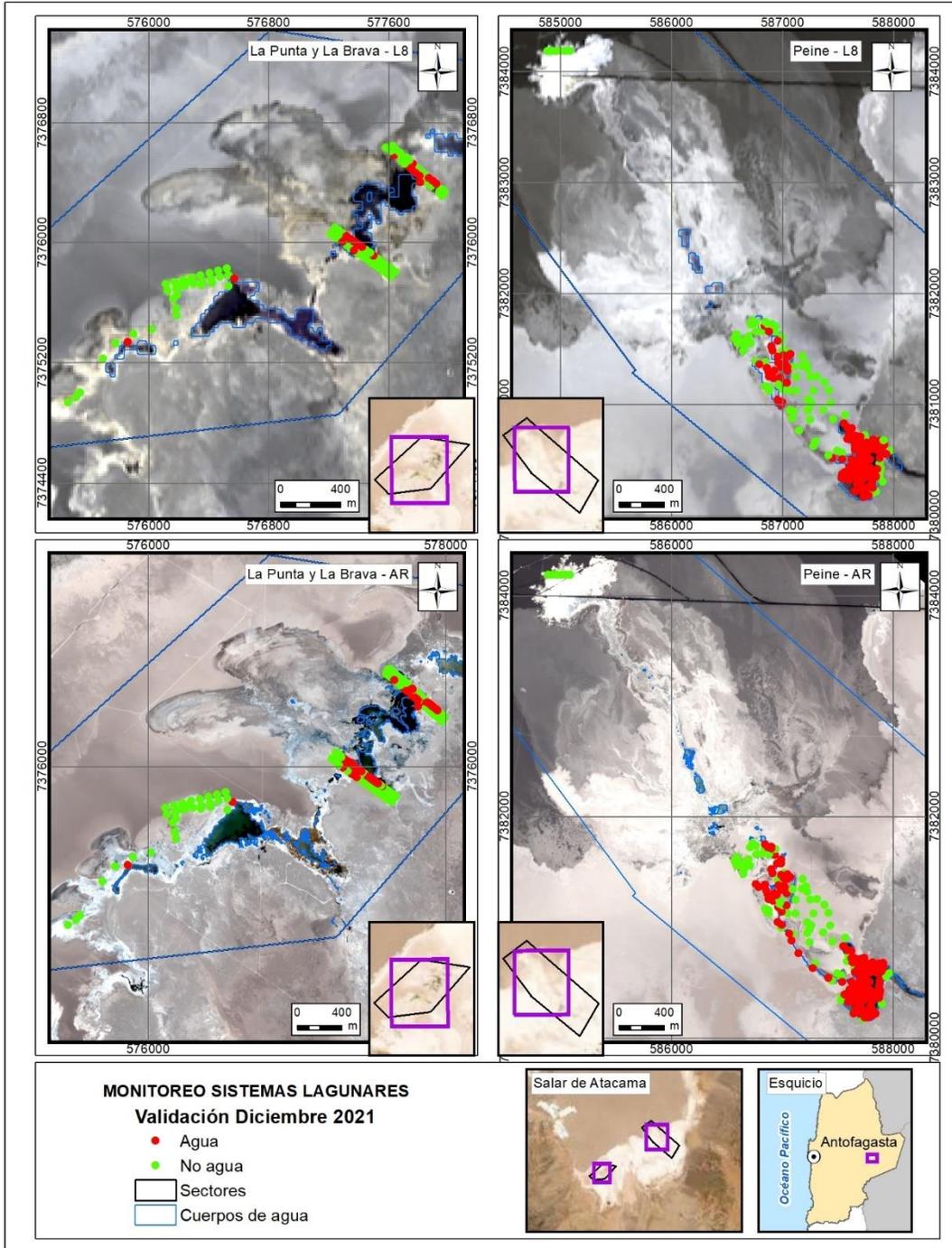
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-3. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes LANDSAT 8 y PLEAIDES 1A, SECTOR SUR. Agosto 2021.**



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-4. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes LANDSAT 8 y PLEAIDES 1A, SECTOR SUR. Diciembre 2021.**



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 9-5. Coordenadas de puntos de validación en terreno

Archivo adjunto en formato Excel:

**ALB\_AGUA\_PM\_VALID\_AR\_L8\_AGO21\_DIC21\_07022022.xlsx**

## ANEXO 9-6. Cuadro comparativo de diferencias implementadas en el estudio actual respecto a la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS CON MODIFICACIÓN	LÍNEA DE BASE (Adenda 5 RWL, 2015)	MONITOREO FASE DE OPERACIÓN (CEDREM Consultores)	DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIÓN APLICADA
<b>1. Imágenes satelitales de alta resolución</b>	Worldview 2, Geoeyes 1 y Quickbird 2.	Pleiades 1A	Cambio efectuado con el fin poder cubrir grandes superficies rápidamente, con poco tiempo de confirmación previa, y con un solo sensor que permite mayor homogeneidad de los datos. Asimismo, mejor coherencia de los datos entre sí (por menor rango temporal en completar la cobertura de cada polígono); en un mayor ancho de franja que permite menor cantidades de escenas a unir y un mayor grado de coregistro de las imágenes (importante para la detección de cambios en estudios multitemporales). Cabe destacar que son mínimas las diferencias de resolución - espectral y espacial-, entre estas imágenes; por lo mismo conducen a poca variación en los análisis realizados.
<b>2. Validación en terreno</b>	No especificado	Índice <i>Kappa</i> en base a diseño de muestreo estadístico aleatorio – estratificado, por sistema lagunar.	Contribuye a realizar una evaluación numérica, objetiva y con presencia de un indicador, de la certidumbre en el modelo y, por ende, conocer la bondad de ajuste en las coberturas obtenidas. La validación en terreno en categorías “agua”, “no agua” permite una evaluación binaria que da certidumbre al modelo.
<b>3. Procesamiento de imágenes satelitales – Corrección atmosférica</b>	IARR (por su sigla inglés, promedio interno de reflectancia relativa).	Proceso de remoción del error atmosférico proporcionado por el modelo de <i>Airbus</i> ~ ATCOR (por su sigla en inglés, Atmospheric & Topographic Correction)	Este modelo propende la remoción del efecto atmosférico, mientras que IARR lo estandariza sobre la imagen. Por lo mismo, genera una respuesta espectral –corregida- más clara en los objetos de clasificación. La corrección utilizada (con mejor efecto de remoción del error atmosférico), conllevó a que tanto los parámetros espectrales, como el modelo de

MATERIALES Y MÉTODOS CON MODIFICACIÓN	LÍNEA DE BASE (Adenda 5 RWL, 2015)	MONITOREO FASE DE OPERACIÓN (CEDREM Consultores)	DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIÓN APLICADA
			clasificación, fueran más sensibles a la detección de cuerpos de agua.
<b>4. Parámetros espectrales del modelo de clasificación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NDWI,</li> <li>• Reflectancia NIR y</li> <li>• Reclasificación de bandas espectrales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NDWI,</li> <li>• Reflectancia NIR,</li> <li>• Reclasificación de bandas espectrales (en Pleiades 1A),</li> <li>• NDVI,</li> <li>• Transformada <i>Tasseled Cap</i> "Wetness" (en Landsat 8)</li> </ul>	Esta modificación, se realizó con el <b>fin de robustecer el modelo ya desarrollado</b> y en consideración que los suelos salinos afectan la reflectancia del suelo y puede conducir a errores significativos durante interpretaciones espectrales. En el modelo de clasificación, la incorporación de más parámetros espectrales condujo principalmente a una mayor sensibilidad en la detección de cuerpos de agua.
<b>5. Umbrales de clasificación</b>	Clasificación asistida (procedimiento no especificado)	Mejor respuesta entre métodos de clasificación de datos por cuantiles, intervalos equivalentes y quiebres naturales. Además, clasificación asistida en base al patrón de coberturas de línea de base.	Esta modificación, se basó en establecer <i>métricas estadísticas</i> que podrán ser replicables en los monitoreos posteriores, más allá del valor número del umbral, el cual puede estar sujeto a variaciones multitemporales y entre imágenes satelitales.
<b>6. Regla de clasificación de píxeles en cuerpo de agua</b>	Cumplía con los umbrales de corte de los <b>tres parámetros</b> espectrales de clasificación.	Cumplía con los umbrales de corte en <b>tres de los cuatro parámetros</b> espectrales de clasificación.	Esta modificación, se realizó con el <b>fin de robustecer el modelo ya desarrollado y en consideración de evitar errores significativos durante interpretaciones espectrales</b> . Por lo mismo, se clasificaron en cuerpos de agua a los píxeles que tuvieran una alta probabilidad de pertenecer a este tipo de recubrimiento.
<b>7. Fechas de medición</b>	Durante invierno altioplánico: enero-abril.	Durante invierno y verano ~ agosto y diciembre del 2016 al 2021.	Corresponde con lo establecido por el Plan de Manejo Biótico. Esta modificación, influye sobre las coberturas lagunares, según variaciones estacionales intranuales propias de los sistemas en el área de estudio.

#### ANEXO 9-7. Metadata de Imágenes de alta resolución – Pleiades 1A

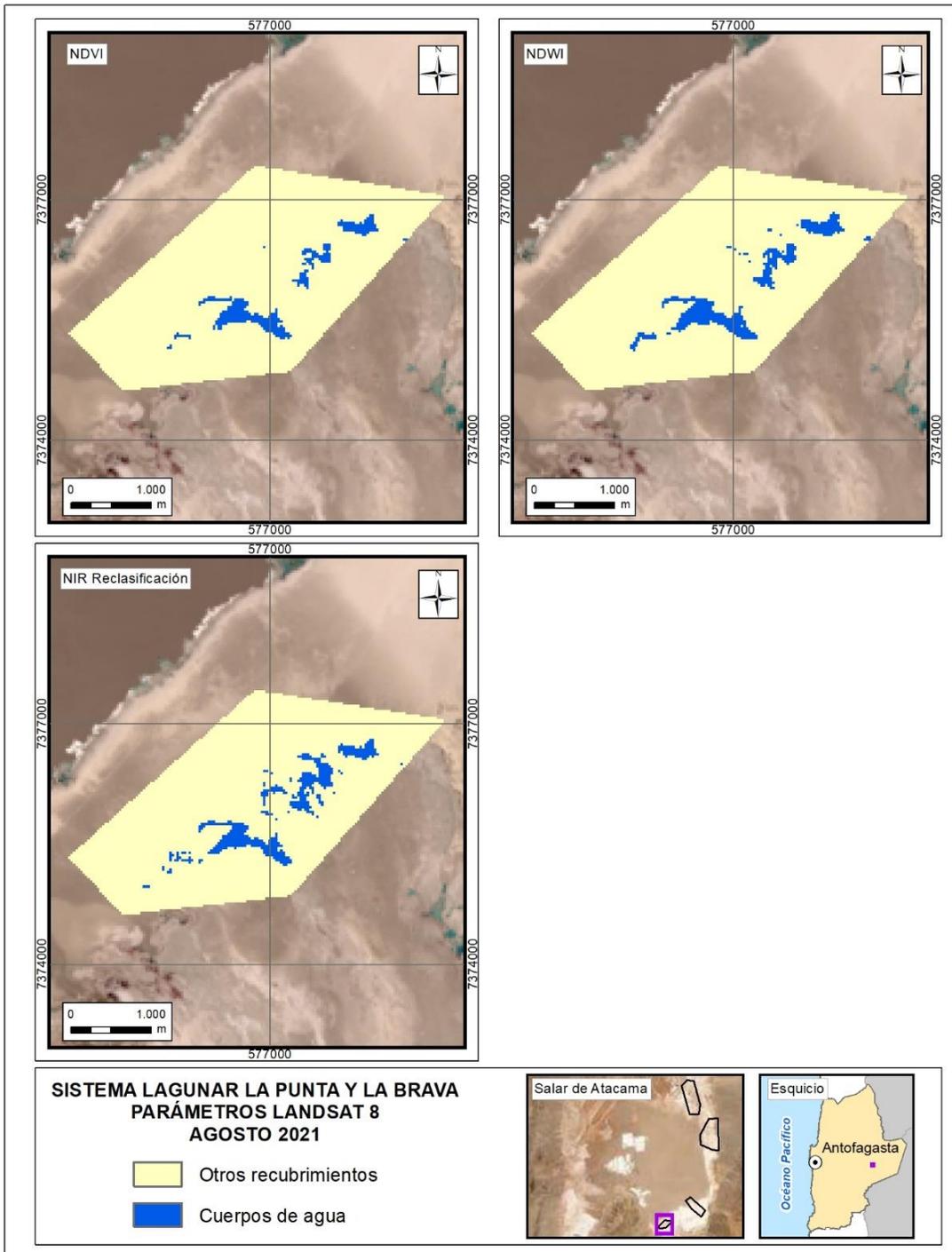
Archivos adjuntos de imágenes de alta resolución según sus características en la carpeta adjunta:

**Metadata\_IMA\_Pleiades\_AGO21 / Metadata\_IMA\_Pleiades\_DIC21**

#### ANEXO 9-8. Metadata de Imágenes de media resolución – Landsat

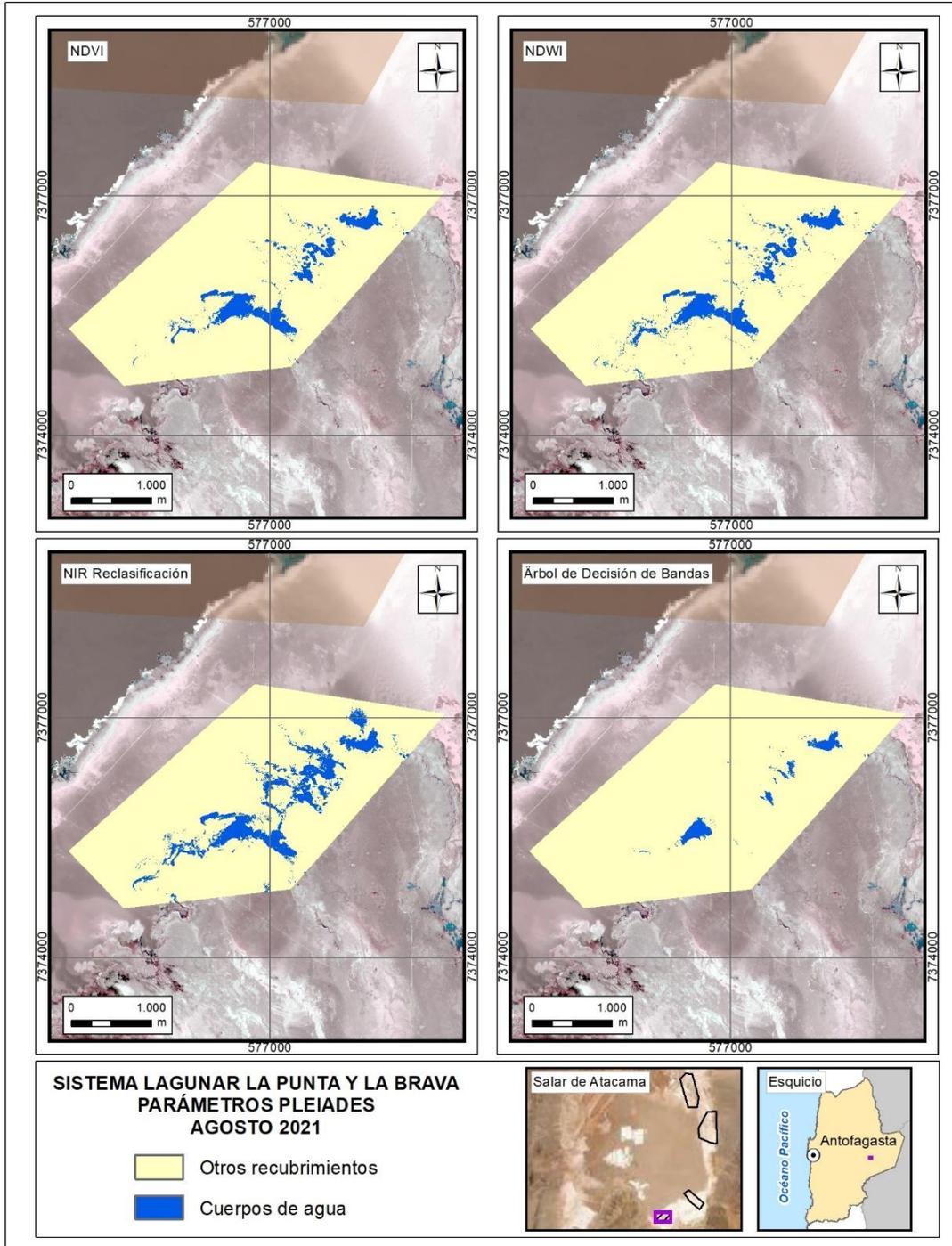
Archivo adjunto en formato pdf. / **Metadata\_AGO21\_Landsat 8.pdf / Metadata\_DIC21\_Landsat 8.pdf**

**ANEXO 9-9. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.**



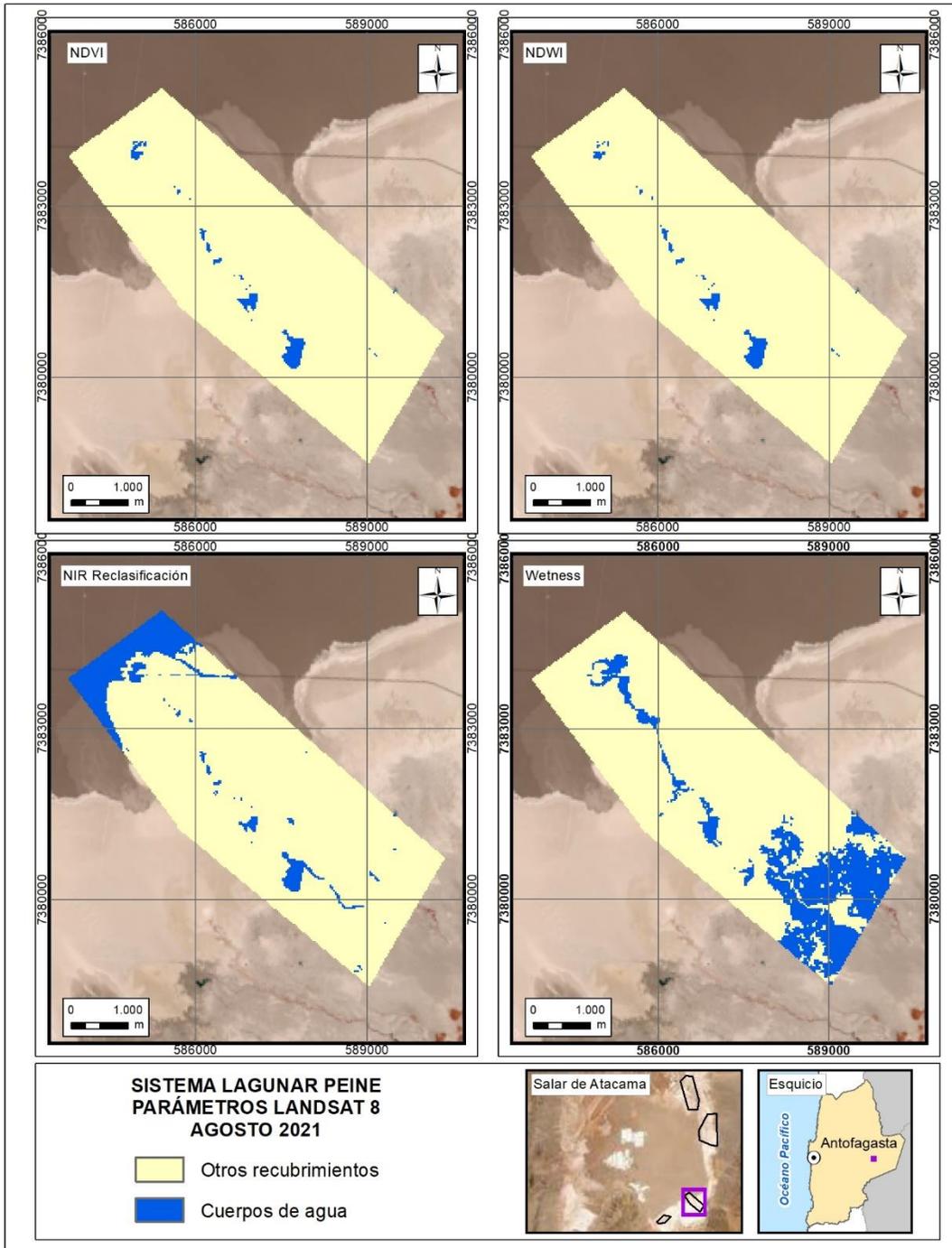
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-10. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021.**



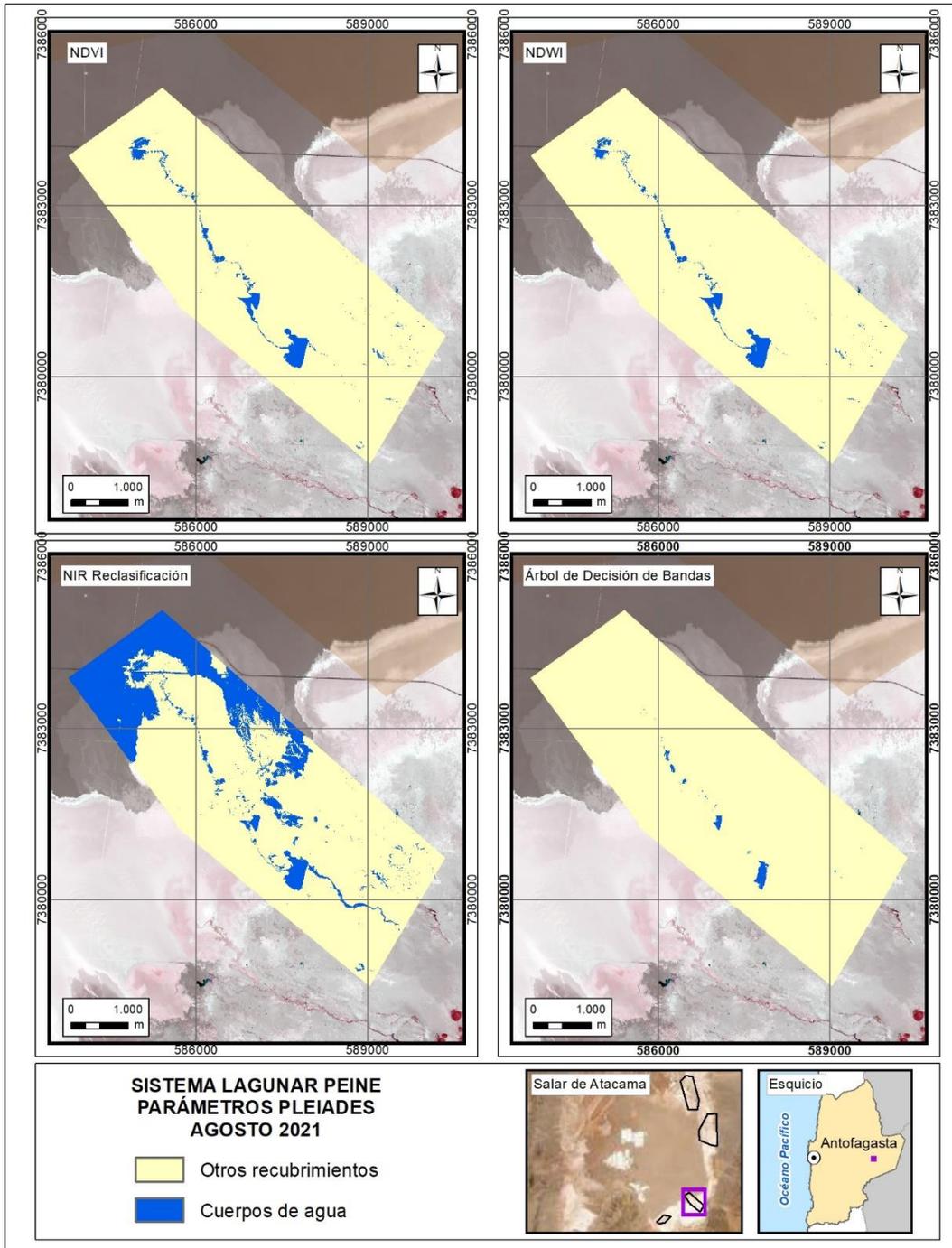
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-11. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.**



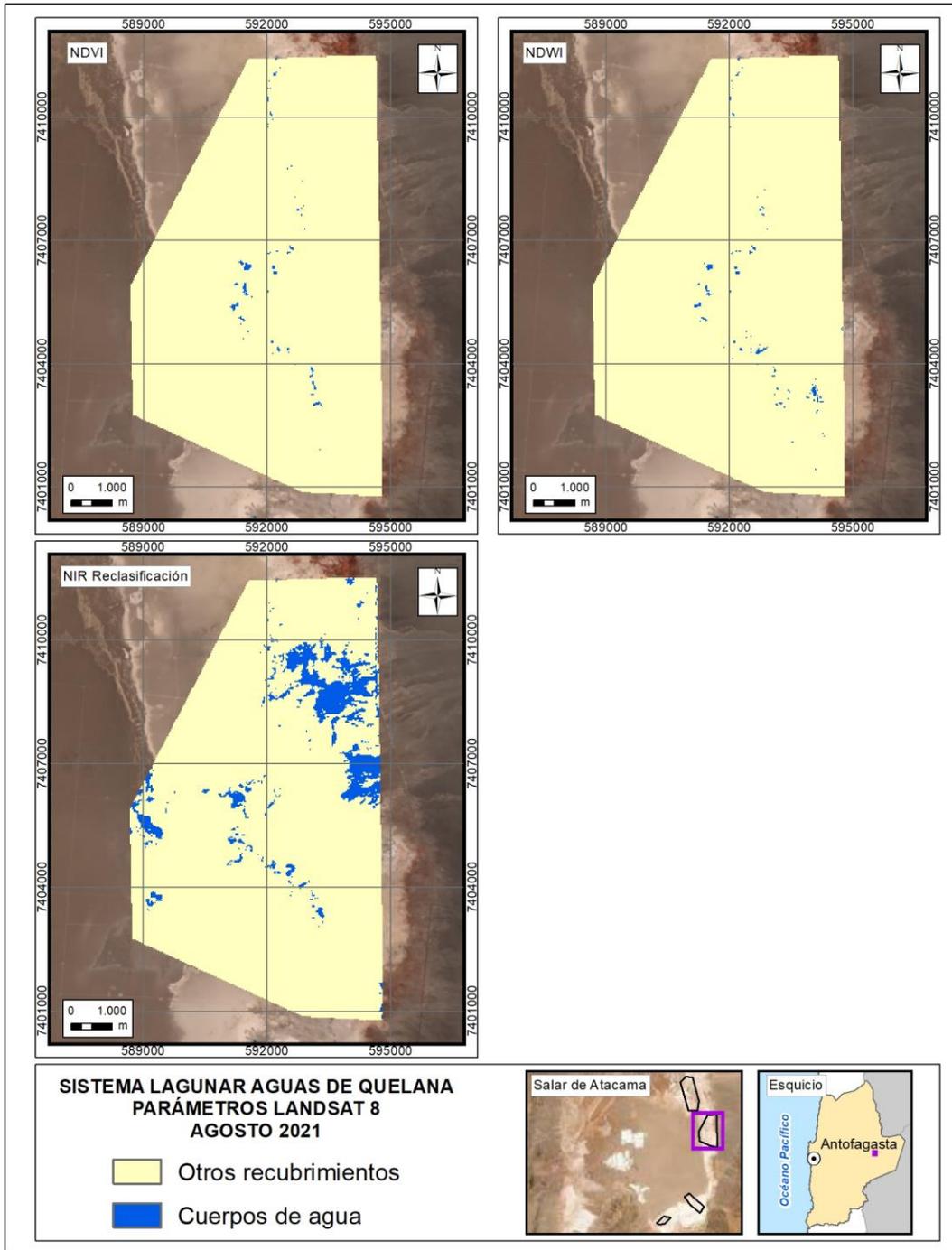
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-12. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021.**



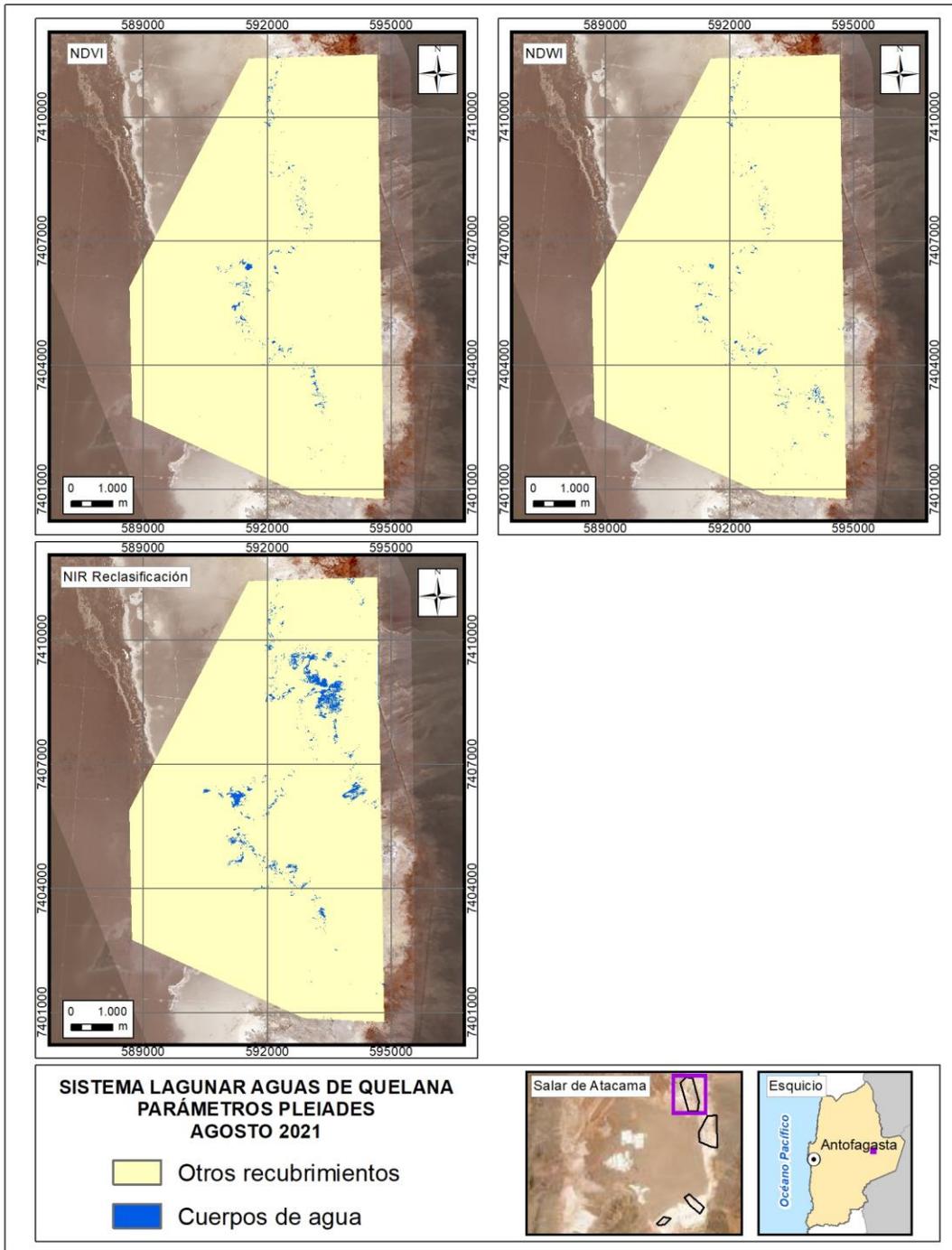
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-13. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.**



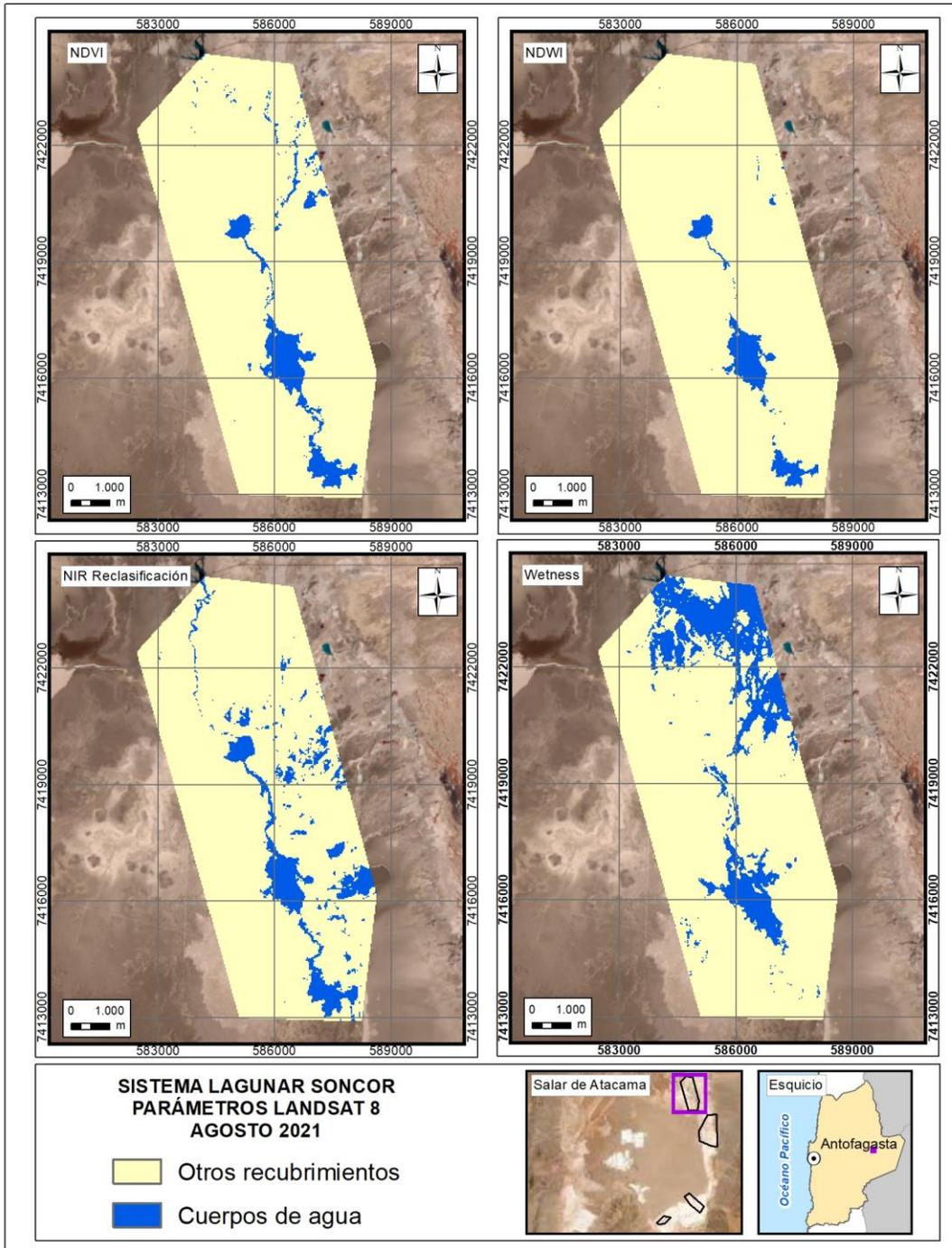
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-14. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021.**



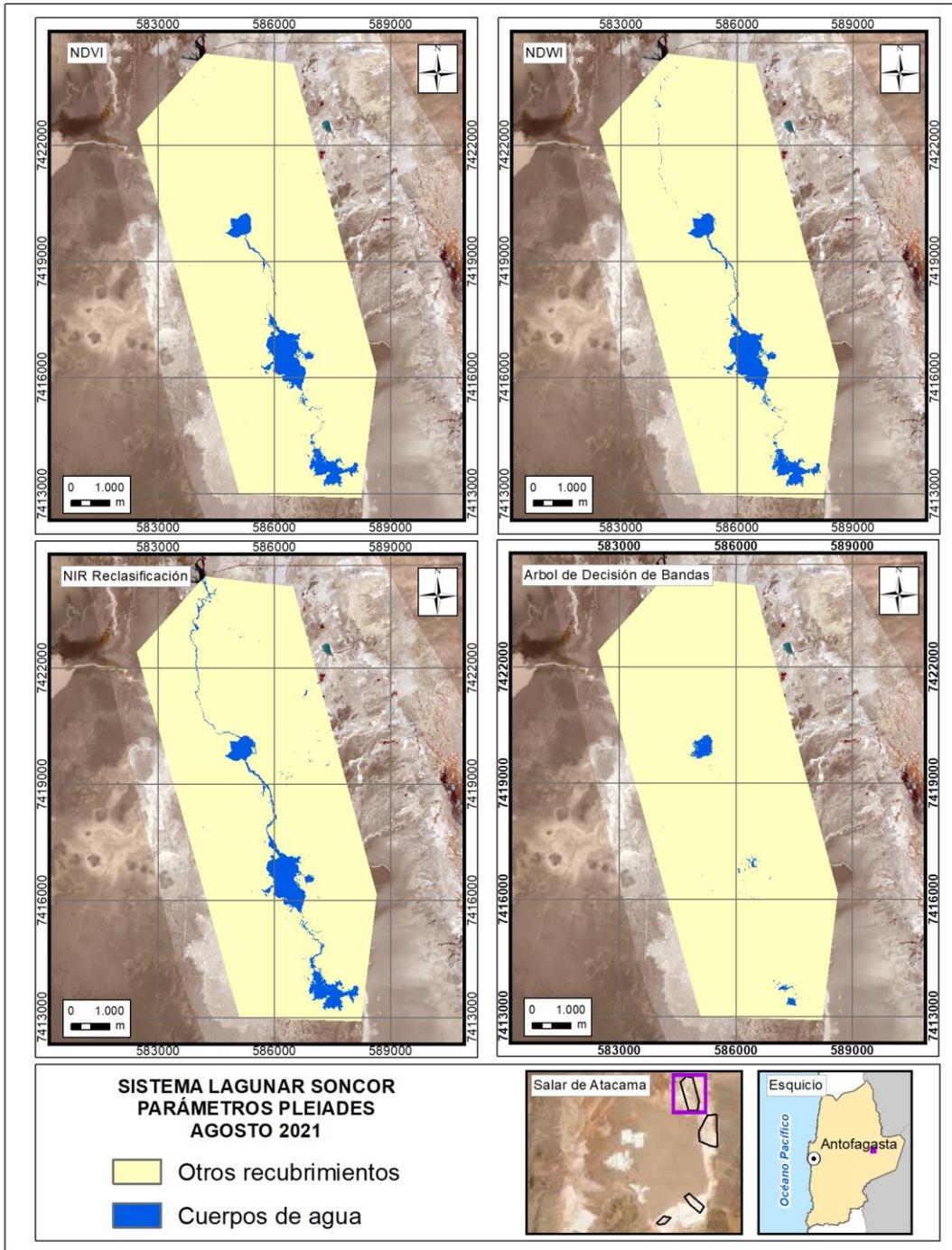
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-15. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes LANDSAT 8, invierno 2021.**



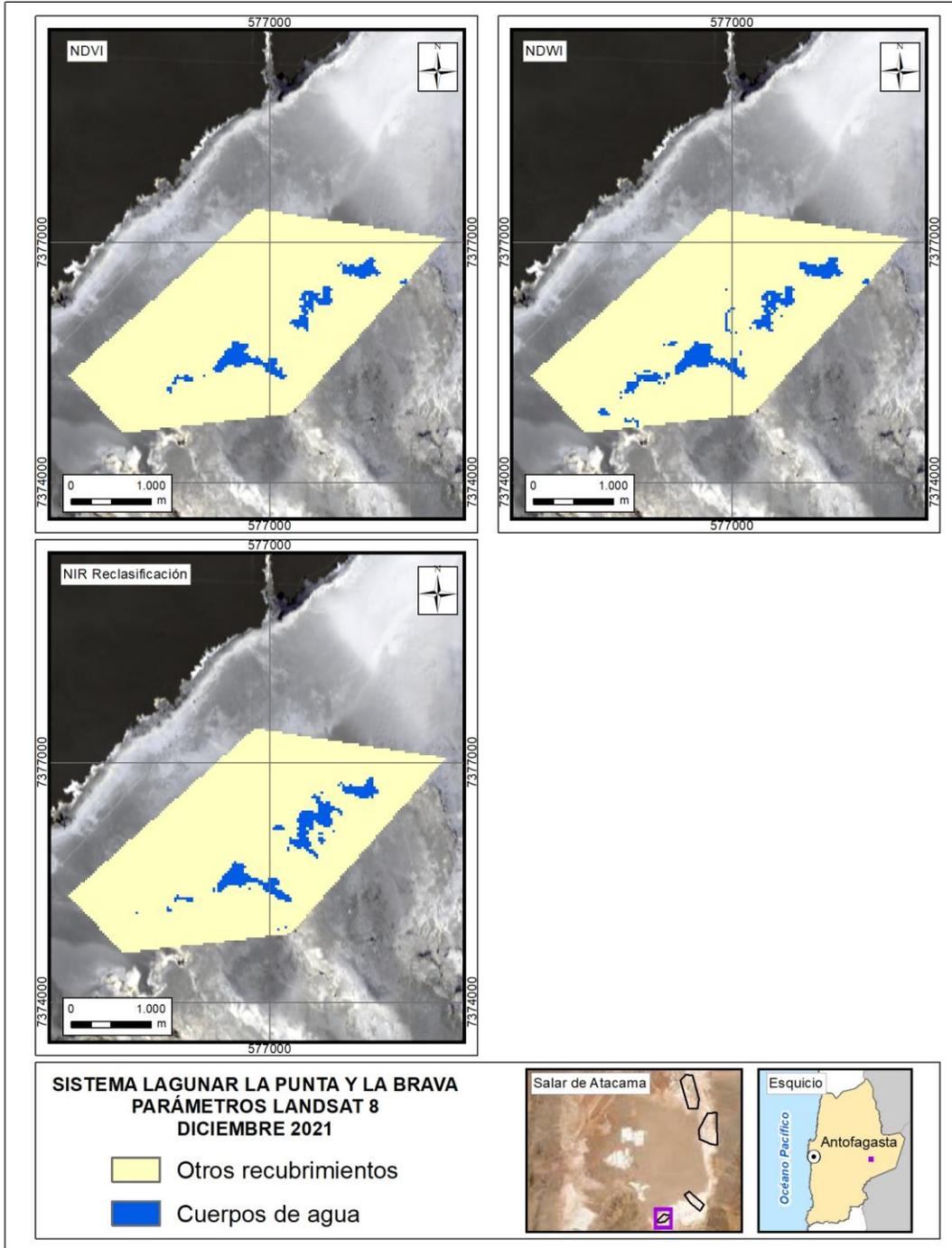
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-16. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes PLEIADES 1A, invierno 2021.**



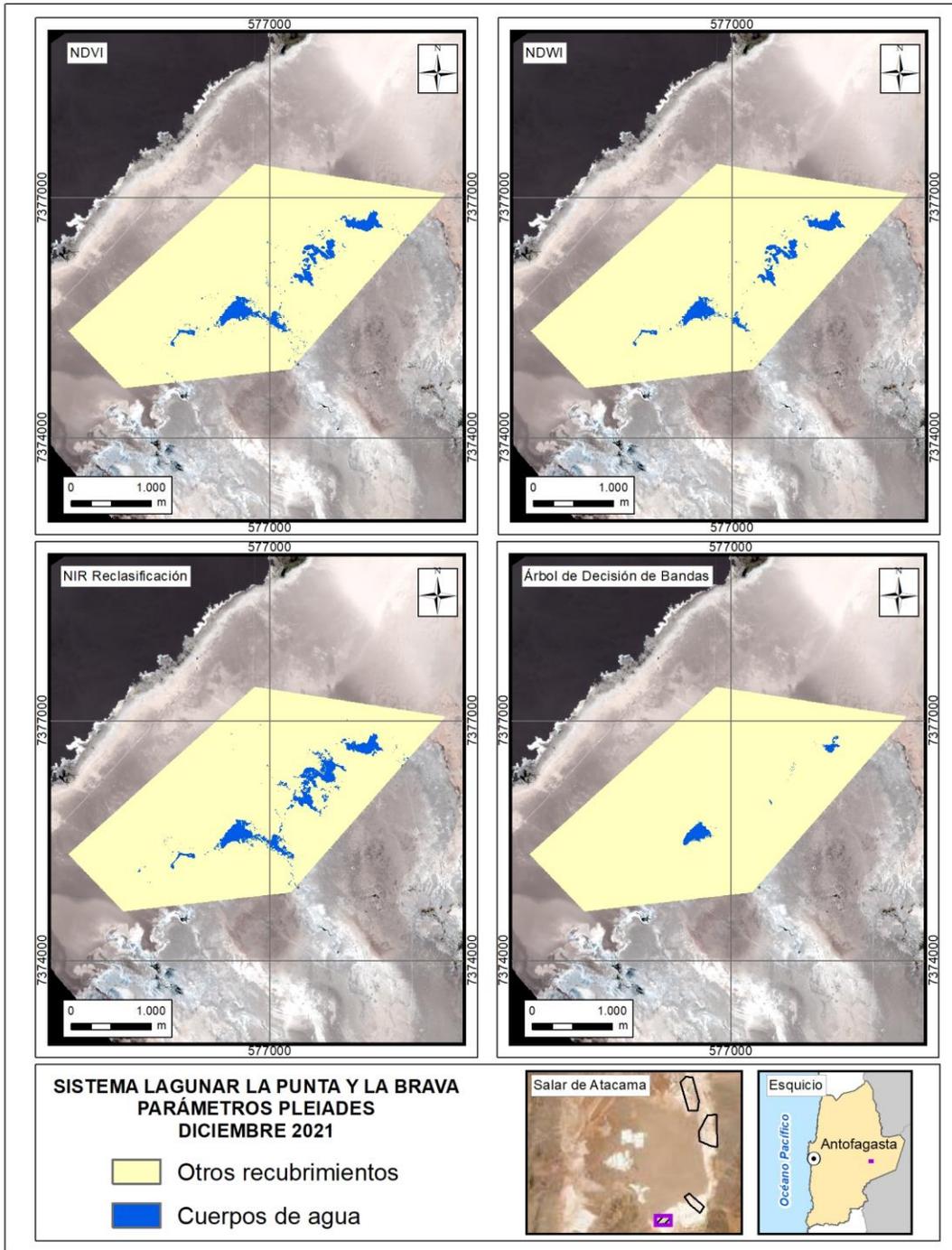
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-17. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.**



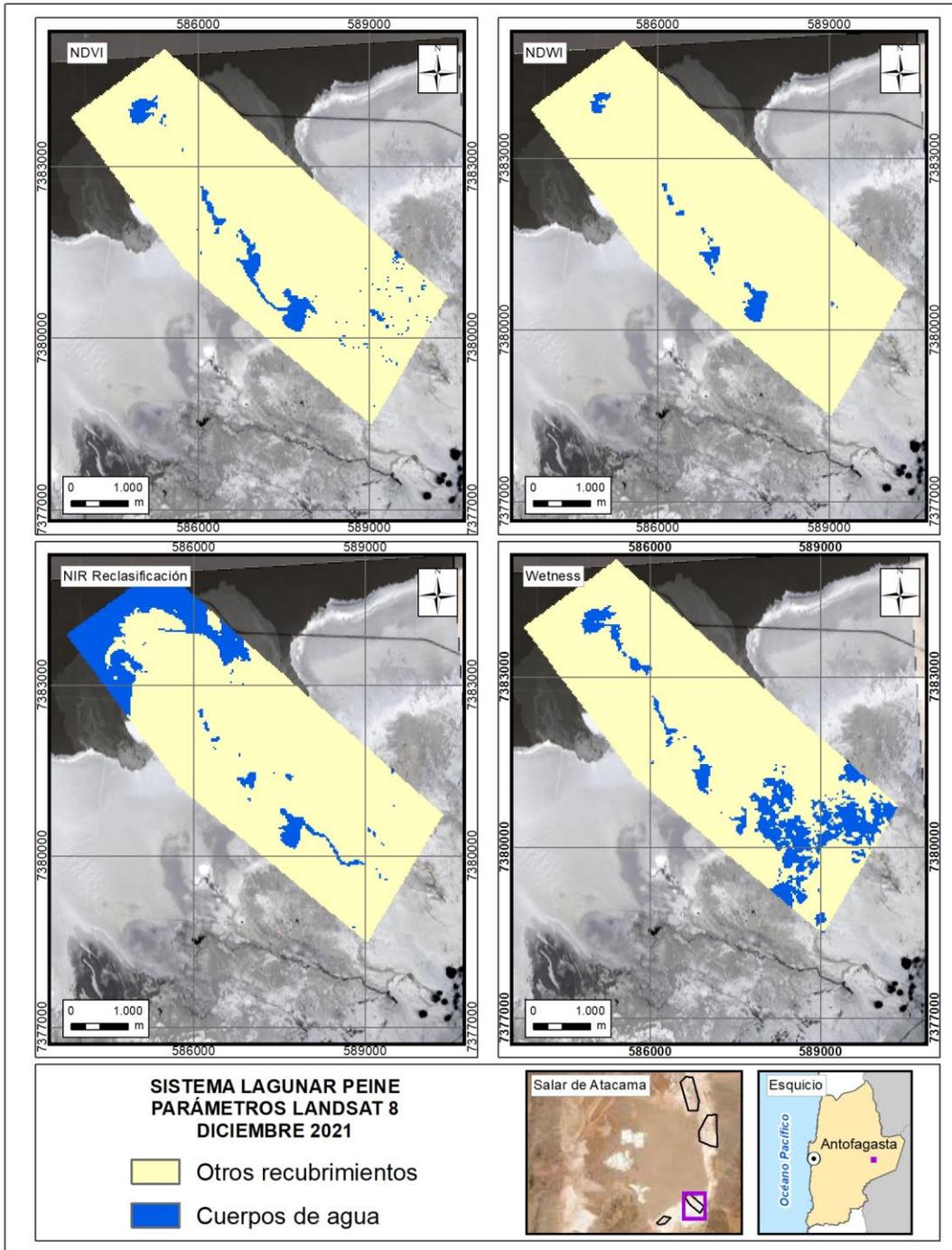
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-18. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta y La Brava, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.**



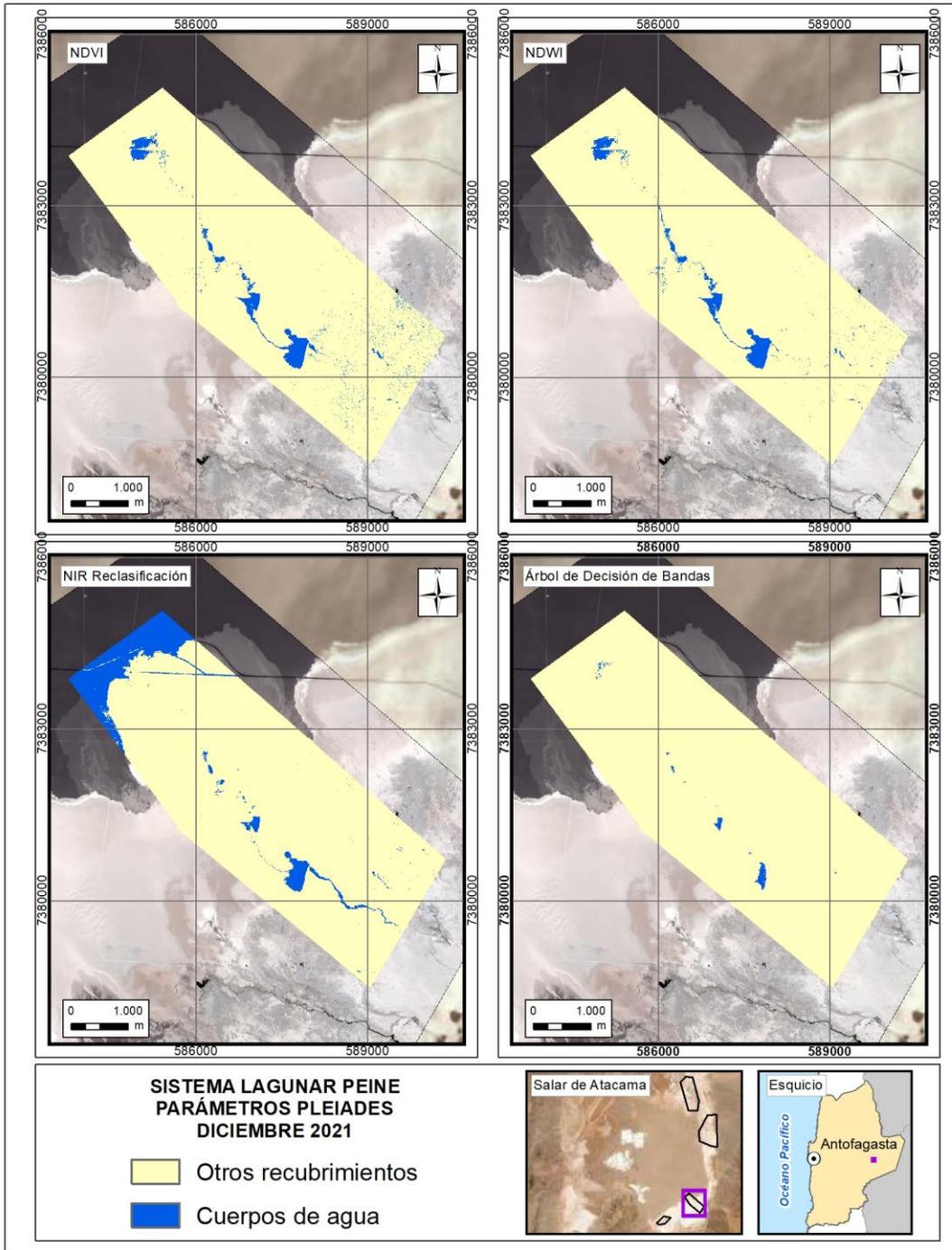
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-19. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.**



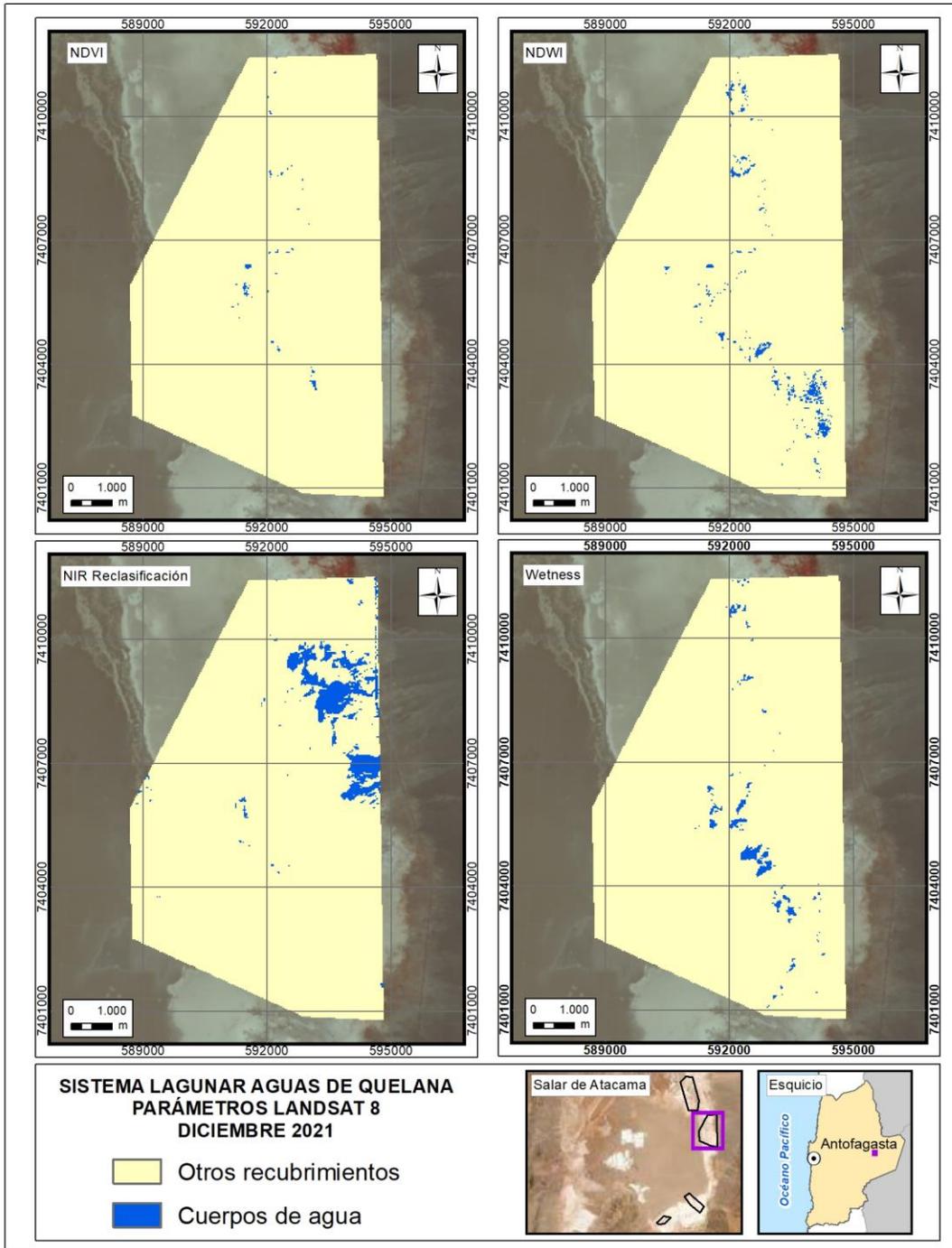
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-20. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.**



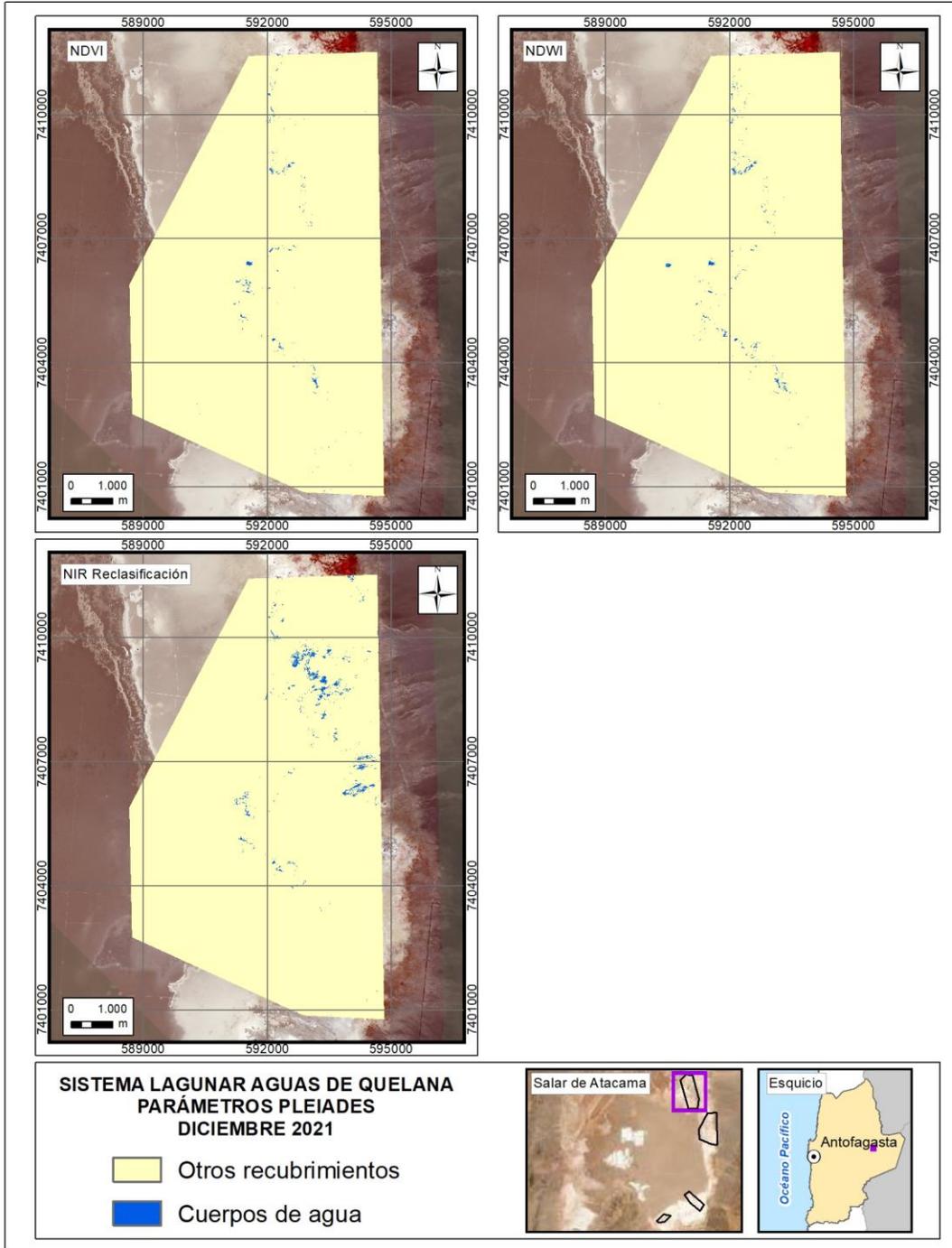
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-21. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.**



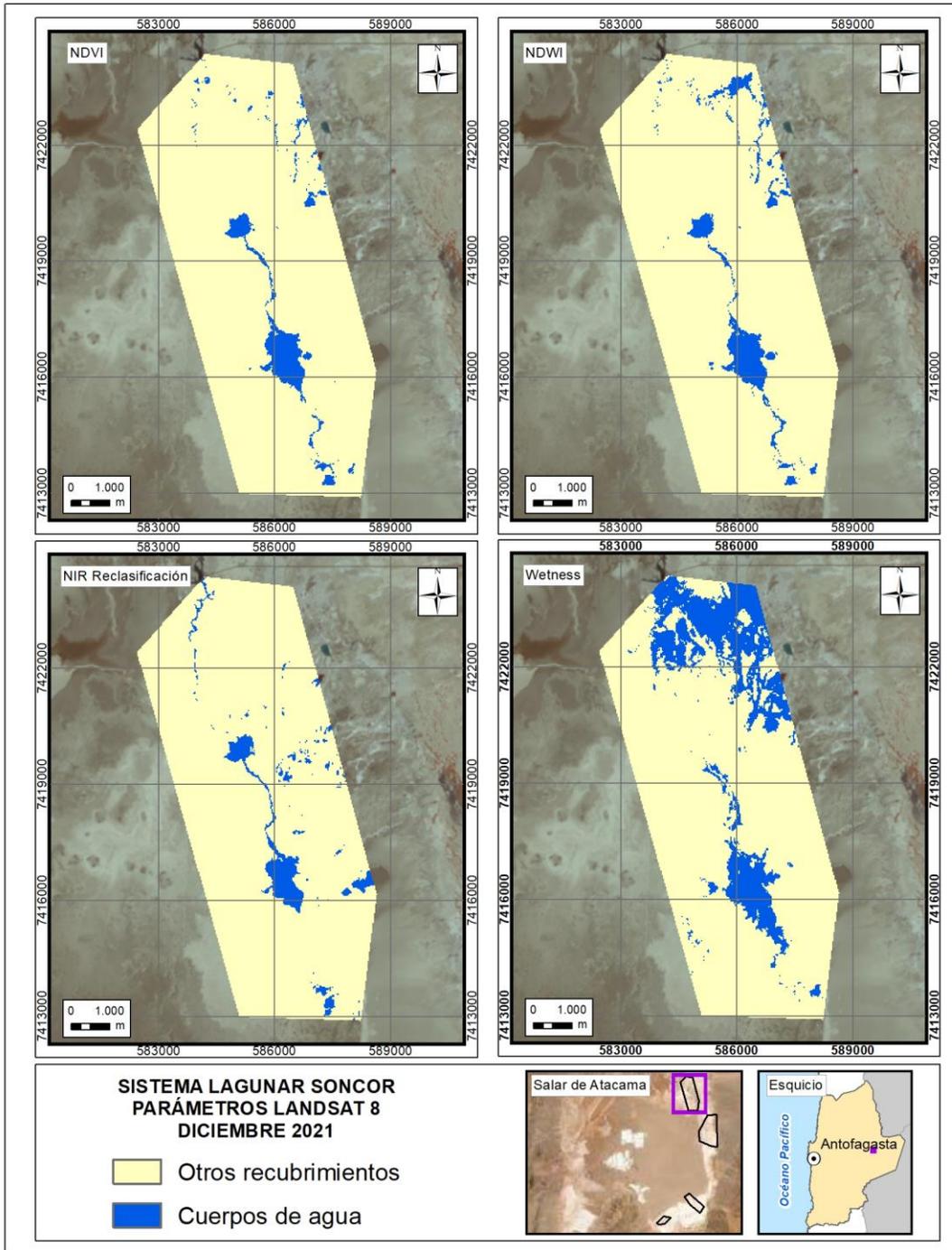
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-22. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.**



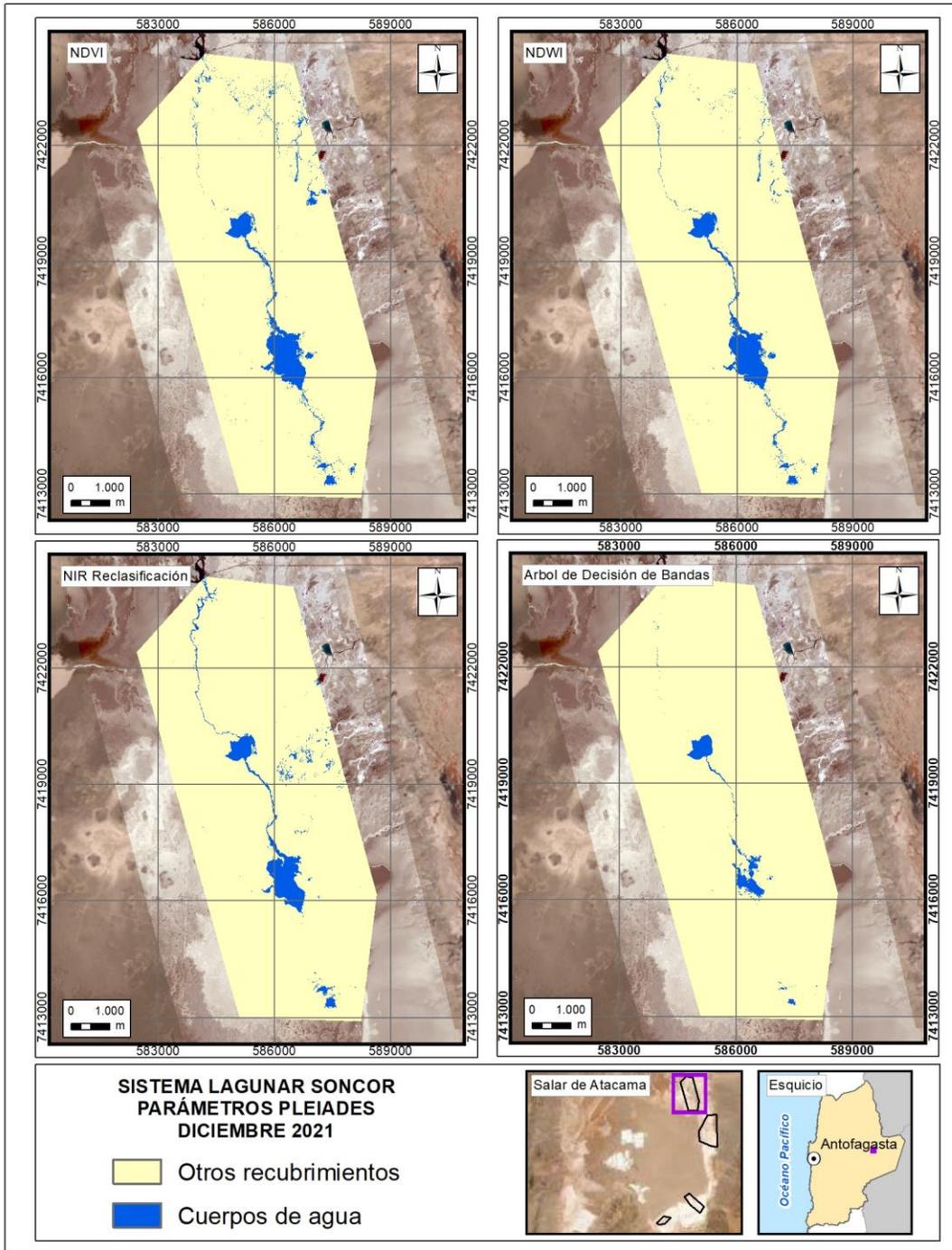
Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-23. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes LANDSAT 8, verano 2021.**



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-24. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes PLEIADES 1A, verano 2021.**



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9-25. ALB-GMA-2021-SMA-047. Informa suspensión de actividad de monitoreo,  
Plan de Seguimiento RCA N°21.**



**Albemarle Limitada**  
Isidora Goyenechea 3162, Oficina 202, Las Condes  
Santiago, Chile

Teléfono: 56-55-2351013  
www.albemarlelitio.cl

**ALB-GMA-2021-SMA-047**

**Mat.: Informa suspensión de actividad de  
monitoreo, Plan de Seguimiento RCA  
N°21**

miércoles, 18 de agosto de 2021

Señores  
**SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE**  
Oficina Regional  
Washington 2369  
**ANTOFAGASTA**

Estimados Señores,

Ignacio Toro Labbé, en representación de Albemarle Limitada, Rol Único Tributario N° 85.066.600- 8 (en adelante, "Albemarle"), ambos domiciliados para estos efectos en Isidora Goyenechea 3162, piso 2, Las Condes, Región Metropolitana, a Ud. respetuosamente digo:

Por medio de la presente vengo a informar a usted, que nos hemos visto en la necesidad de suspender las actividades de monitoreo, incluidas en los planes de seguimiento comprometidos en la RCA N°21/2021 del "Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación en el Salar de Atacama". Lo anterior se debe a razones absolutamente ajenas a nuestra voluntad e imposibles de resistir, toda vez que producto de una huelga asociada a uno de nuestros sindicatos se han producido hechos violentos e ilegales incluyendo corte de caminos con barricadas, amedrantamiento a trabajadores no plegados a la paralización, ocasionando consiguientemente dificultades de traslado, accesos y movimientos. Todo lo anterior a implicado que personal de Albemarle, contratistas y consultores vea imposibilitado el ingreso a la Planta, lo que además hace imposible retirar el equipamiento, vehículos, combustible, llaves, entre otros, que son indispensables para la labor de monitoreo.

De acuerdo con lo anterior, y conforme a nuestros valores corporativos de Cuidado e Integridad, por el bienestar y seguridad del personal, es que nos hemos visto obligados suspender en forma indefinida la realización de los monitoreos ambientales en el territorio, hasta que existan las condiciones para retomar dichas acciones. Nos encontramos ejerciendo todas las acciones jurídicamente procedentes para restablecer nuestro derecho a operar normalmente y poder cumplir con nuestras obligaciones ambientales y sectoriales.

Finalmente, manifiesto a usted nuestra total disposición a resolver sus inquietudes y/o comentarios en el marco de la presente comunicación.

Sin otro particular, saluda atentamente,



Digitally signed by Ignacio  
Toro  
Date: 2021.08.18 16:08:00  
-04'00'

Ignacio Toro  
Gerente Medio Ambiente  
Albemarle Limitada

**ANEXO 9-26. Carta N°YYY/2021. Suspensión de actividades Lagunas de Peine, Peine 28-10-2021.**

Carta N°YYY/2021  
Peine, 28 de Octubre del 2021

Unidad de Control Ambiental

Sr. Manuel Zamora Pizarro

Subgerente de Relaciones Comunitarias

Albemarle

Presente.

Junto con saludar, nos dirigimos a ustedes mediante la presente misiva para informar que a partir del día 1 de noviembre del año en curso, se cerrarán los accesos al sistema lagunar Peine para efectos de monitoreo ambiental, campañas de levantamiento de información para líneas base, programas de cumplimiento y otras acciones en este sector sensible del territorio peineño.

La decisión se toma luego de visitar en terreno con personal especialista de CONAF y al evidenciar por parte de los veedores, disminución en actividad de marchas de flamencos desde el mes de agosto, disminución en la cantidad de flamencos y menor actividad reproductiva en general. Desde ya agradeceremos la comprensión y respeto de esta acción, que tiene como objetivo único el mejorar las tasas de reproducción de flamencos en territorio peineño.

Sin otro particular, reciba usted mi cordial saludo.

Amanda Barrera Conzú

Comunidad Atacameña de Peine

Presidenta



DTR/FLR/dtr

UNIDAD DE CONTROL AMBIENTAL

### ANEXO 9-27. Imágenes Landsat 2019 – 2021 – Análisis NDWI.

N°	Producto/Sensor	Año	Fecha de adquisición*	ID - LANDSAT	Cobertura nubosa**	Archivo de Parámetros de calibración	Var. Año 5***
1	OLI_TIRS_L1TP	2016	15-01-2016	LC08_L1TP_233076_20160115_20180528_01_T1	0,43	LC08CPF_20160101_20160331_01.01	-
2	OLI_TIRS_L1TP	2016	31-01-2016	LC08_L1TP_233076_20160131_20170330_01_T1	2,32	LC08CPF_20160101_20160331_01.01	-
3	OLI_TIRS_L1TP	2016	16-02-2016	LC08_L1TP_233076_20160216_20170329_01_T1	19,56	LC08CPF_20160101_20160331_01.01	-
4	OLI_TIRS_L1TP	2016	03-03-2016	LC08_L1TP_233076_20160303_20180528_01_T1	0,39	LC08CPF_20160101_20160331_01.01	-
5	OLI_TIRS_L1TP	2016	19-03-2016	LC08_L1TP_233076_20160319_20170328_01_T1	0,53	LC08CPF_20160101_20160331_01.01	-
6	OLI_TIRS_L1TP	2016	04-04-2016	LC08_L1TP_233076_20160404_20170327_01_T1	5,38	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
7	OLI_TIRS_L1TP	2016	20-04-2016	LC08_L1TP_233076_20160420_20170326_01_T1	35,03	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
8	OLI_TIRS_L1TP	2016	06-05-2016	LC08_L1TP_233076_20160506_20170325_01_T1	8,72	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
9	OLI_TIRS_L1TP	2016	22-05-2016	LC08_L1TP_233076_20160522_20170324_01_T1	1,06	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
10	OLI_TIRS_L1TP	2016	07-06-2016	LC08_L1TP_233076_20160607_20170324_01_T1	0,96	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
11	OLI_TIRS_L1TP	2016	23-06-2016	LC08_L1TP_233076_20160623_20170323_01_T1	0,92	LC08CPF_20160401_20160630_01.01	-
12	OLI_TIRS_L1TP	2016	09-07-2016	LC08_L1TP_233076_20160709_20170323_01_T1	8,66	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	-
13	OLI_TIRS_L1TP	2016	25-07-2016	LC08_L1TP_233076_20160725_20170322_01_T1	2,81	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	-
14	OLI_TIRS_L1TP	2016	10-08-2016	LC08_L1TP_233076_20160810_20170322_01_T1	1,15	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	Variación archivo en origen; fuente metadato
15	OLI_TIRS_L1TP	2016	26-08-2016	LC08_L1TP_233076_20160826_20170322_01_T1	1,47	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	-
16	OLI_TIRS_L1TP	2016	11-09-2016	LC08_L1TP_233076_20160911_20170321_01_T1	1,10	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	-
17	OLI_TIRS_L1TP	2016	27-09-2016	LC08_L1TP_233076_20160927_20170319_01_T1	0,89	LC08CPF_20160701_20160930_01.01	-
18	OLI_TIRS_L1TP	2016	13-10-2016	LC08_L1TP_233076_20161013_20170319_01_T1	1,03	LC08CPF_20161001_20161231_01.01	-
19	OLI_TIRS_L1TP	2016	29-10-2016	LC08_L1TP_233076_20161029_20170319_01_T1	1,90	LC08CPF_20161001_20161231_01.01	-
20	OLI_TIRS_L1TP	2016	14-11-2016	LC08_L1TP_233076_20161114_20170318_01_T1	0,82	LC08CPF_20161001_20161231_01.01	-
21	OLI_TIRS_L1TP	2016	30-11-2016	LC08_L1TP_233076_20161130_20180528_01_T1	54,44	LC08CPF_20161001_20161231_01.01	-
22	OLI_TIRS_L1TP	2016	16-12-2016	LC08_L1TP_233076_20161216_20170316_01_T1	9,39	LC08CPF_20161001_20161231_01.01	Variación archivo en origen; fuente metadato
23	OLI_TIRS_L1TP	2017	01-01-2017	LC08_L1TP_233076_20170101_20170312_01_T1	0,60	LC08CPF_20170101_20170331_01.02	-
24	OLI_TIRS_L1TP	2017	17-01-2017	LC08_L1TP_233076_20170117_20170311_01_T1	9,70	LC08CPF_20170101_20170331_01.02	-
25	OLI_TIRS_L1TP	2017	02-02-2017	LC08_L1TP_233076_20170202_20170215_01_T1	0,51	LC08CPF_20170101_20170331_01.01	-
26	OLI_TIRS_L1TP	2017	18-02-2017	LC08_L1TP_233076_20170218_20170228_01_T1	25,81	LC08CPF_20170101_20170331_01.02	-
27	OLI_TIRS_L1TP	2017	06-03-2017	LC08_L1TP_233076_20170306_20170316_01_T1	2,33	LC08CPF_20170101_20170331_01.02	-
28	OLI_TIRS_L1TP	2017	22-03-2017	LC08_L1TP_233076_20170322_20170329_01_T1	0,80	LC08CPF_20170101_20170331_01.02	-
29	OLI_TIRS_L1TP	2017	07-04-2017	LC08_L1TP_233076_20170407_20170414_01_T1	2,73	LC08CPF_20170401_20170630_01.02	-
30	OLI_TIRS_L1TP	2017	23-04-2017	LC08_L1TP_233076_20170423_20170502_01_T1	1,51	LC08CPF_20170401_20170630_01.02	-
31	OLI_TIRS_L1TP	2017	09-05-2017	LC08_L1TP_233076_20170509_20170516_01_T1	1,18	LC08CPF_20170401_20170630_01.02	-
32	OLI_TIRS_L1TP	2017	25-05-2017	LC08_L1TP_233076_20170525_20170614_01_T1	81,52**	LC08CPF_20170401_20170630_01.03	-
33	OLI_TIRS_L1TP	2017	10-06-2017	LC08_L1TP_233076_20170610_20170627_01_T1	2,72	LC08CPF_20170401_20170630_01.03	-

N°	Producto/Sensor	Año	Fecha de adquisición*	ID - LANDSAT	Cobertura nubosa**	Archivo de Parámetros de calibración	Var. Año 5***
34	OLI_TIRS_L1TP	2017	26-06-2017	LC08_L1TP_233076_20170626_20170714_01_T1	9,28	LC08CPF_20170401_20170630_01.04	-
35	OLI_TIRS_L1TP	2017	12-07-2017	LC08_L1TP_233076_20170712_20170726_01_T1	3,40	LC08CPF_20170701_20170930_01.01	-
36	OLI_TIRS_L1TP	2017	28-07-2017	LC08_L1TP_233076_20170728_20170810_01_T1	3,50	LC08CPF_20170701_20170930_01.01	-
37	OLI_TIRS_L1TP	2017	13-08-2017	LC08_L1TP_233076_20170813_20170825_01_T1	2,71	LC08CPF_20170701_20170930_01.02	-
38	OLI_TIRS_L1TP	2017	29-08-2017	LC08_L1TP_233076_20170829_20180301_01_T1	2,40	LC08CPF_20170701_20170930_01.03	Variación archivo en origen; fuente metadato
39	OLI_TIRS_L1TP	2017	14-09-2017	LC08_L1TP_233076_20170914_20170928_01_T1	1,65	LC08CPF_20170701_20170930_01.02	-
40	OLI_TIRS_L1TP	2017	30-09-2017	LC08_L1TP_233076_20170930_20171013_01_T1	1,72	LC08CPF_20170701_20170930_01.03	-
41	OLI_TIRS_L1TP	2017	16-10-2017	LC08_L1TP_233076_20171016_20171024_01_T1	4,24	LC08CPF_20171001_20171231_01.01	-
42	OLI_TIRS_L1TP	2017	01-11-2017	LC08_L1TP_233076_20171101_20171109_01_T1	1,57	LC08CPF_20171001_20171231_01.02	-
43	OLI_TIRS_L1TP	2017	17-11-2017	LC08_L1TP_233076_20171117_20171122_01_T1	1,38	LC08CPF_20171001_20171231_01.02	-
44	OLI_TIRS_L1TP	2017	03-12-2017	LC08_L1TP_233076_20171203_20171207_01_T1	3,60	LC08CPF_20171001_20171231_01.02	-
45	OLI_TIRS_L1TP	2017	19-12-2017	LC08_L1TP_233076_20171219_20171224_01_T1	15,63	LC08CPF_20171001_20171231_01.02	Ajuste en corrección, método automatizado
46	OLI_TIRS_L1TP	2018	04-01-2018	LC08_L1TP_233076_20180104_20180118_01_T1	0,89	LC08CPF_20180101_20180331_01.01	-
47	OLI_TIRS_L1TP	2018	20-01-2018	LC08_L1TP_233076_20180120_20180206_01_T1	4,26	LC08CPF_20180101_20180331_01.01	-
48	OLI_TIRS_L1TP	2018	05-02-2018	LC08_L1TP_233076_20180205_20180221_01_T1	21,42	LC08CPF_20180101_20180331_01.02	-
49	OLI_TIRS_L1TP	2018	21-02-2018	LC08_L1TP_233076_20180221_20180308_01_T1	0,77	LC08CPF_20180101_20180331_01.02	-
50	OLI_TIRS_L1TP	2018	09-03-2018	LC08_L1TP_233076_20180309_20180320_01_T1	0,77	LC08CPF_20180101_20180331_01.02	-
51	OLI_TIRS_L1TP	2018	25-03-2018	LC08_L1TP_233076_20180325_20180404_01_T1	3,02	LC08CPF_20180101_20180331_01.03	-
52	OLI_TIRS_L1TP	2018	10-04-2018	LC08_L1TP_233076_20180410_20180417_01_T1	1,33	LC08CPF_20180401_20180630_01.01	-
53	OLI_TIRS_L1TP	2018	26-04-2018	LC08_L1TP_233076_20180426_20180502_01_T1	42,69	LC08CPF_20180401_20180630_01.01	-
54	OLI_TIRS_L1TP	2018	12-05-2018	LC08_L1TP_233076_20180512_20180517_01_T1	1,09	LC08CPF_20180401_20180630_01.01	-
55	OLI_TIRS_L1TP	2018	28-05-2018	LC08_L1TP_233076_20180528_20180605_01_T1	0,90	LC08CPF_20180401_20180630_01.02	-
56	OLI_TIRS_L1TP	2018	13-06-2018	LC08_L1TP_233076_20180613_20180703_01_T1	4,85	LC08CPF_20180401_20180630_01.02	-
57	OLI_TIRS_L1TP	2018	29-06-2018	LC08_L1TP_233076_20180629_20180716_01_T1	2,63	LC08CPF_20180401_20180630_01.03	-
58	OLI_TIRS_L1TP	2018	15-07-2018	LC08_L1TP_233076_20180715_20180730_01_T1	2,80	LC08CPF_20180701_20180930_01.01	-
59	OLI_TIRS_L1TP	2018	31-07-2018	LC08_L1TP_233076_20180731_20180814_01_T1	3,60	LC08CPF_20180701_20180930_01.01	-
60	OLI_TIRS_L1TP	2018	16-08-2018	LC08_L1TP_233076_20180816_20180829_01_T1	3,68	LC08CPF_20180701_20180930_01.02	Variación archivo en origen; fuente metadato
61	OLI_TIRS_L1TP	2018	01-09-2018	LC08_L1TP_233076_20180901_20180912_01_T1	2,50	LC08CPF_20180701_20180930_01.02	-
62	OLI_TIRS_L1TP	2018	17-09-2018	LC08_L1TP_233076_20180917_20180928_01_T1	1,70	LC08CPF_20180701_20180930_01.02	-
63	OLI_TIRS_L1TP	2018	03-10-2018	LC08_L1TP_233076_20181003_20181010_01_T1	2,49	LC08CPF_20181001_20181231_01.01	-
64	OLI_TIRS_L1TP	2018	19-10-2018	LC08_L1TP_233076_20181019_20181031_01_T1	0,88	LC08CPF_20181001_20181231_01.01	-
65	OLI_TIRS_L1TP	2018	04-11-2018	LC08_L1TP_233076_20181104_20181115_01_T1	0,62	LC08CPF_20181001_20181231_01.02	-
66	OLI_TIRS_L1TP	2018	20-11-2018	LC08_L1TP_233076_20181120_20181129_01_T1	1,31	LC08CPF_20181001_20181231_01.02	-
67	OLI_TIRS_L1TP	2018	06-12-2018	LC08_L1TP_233076_20181206_20181211_01_T1	0,97	LC08CPF_20181001_20181231_01.02	-
68	OLI_TIRS_L1TP	2018	22-12-2018	LC08_L1TP_233076_20181222_20181227_01_T1	0,99	LC08CPF_20181001_20181231_01.02	Ajuste en corrección, método automatizado

N°	Producto/Sensor	Año	Fecha de adquisición*	ID - LANDSAT	Cobertura nubosa**	Archivo de Parámetros de calibración	Var. Año 5***
69	OLI_TIRS_L1TP	2019	07-01-2019	LC08_L1TP_233076_20190107_20190130_01_T1	0,60	LC08CPF_20190101_20190331_01.01	-
70	OLI_TIRS_L1TP	2019	23-01-2019	LC08_L1TP_233076_20190123_20190205_01_T1	0,24	LC08CPF_20190101_20190331_01.01	-
71	OLI_TIRS_L1TP	2019	08-02-2019	LC08_L1TP_233076_20190208_20190221_01_T1	36,87	LC08CPF_20190101_20190331_01.02	-
72	OLI_TIRS_L1TP	2019	24-02-2019	LC08_L1TP_233076_20190224_20190309_01_T1	0,67	LC08CPF_20190101_20190331_01.02	-
73	OLI_TIRS_L1TP	2019	12-03-2019	LC08_L1TP_233076_20190312_20190325_01_T1	0,99	LC08CPF_20190101_20190331_01.02	-
74	OLI_TIRS_L1TP	2019	28-03-2019	LC08_L1TP_233076_20190328_20190404_01_T1	1,18	LC08CPF_20190101_20190331_01.03	-
75	OLI_TIRS_L1TP	2019	13-04-2019	LC08_L1TP_233076_20190413_20190422_01_T1	1,00	LC08CPF_20190401_20190630_01.01	-
76	OLI_TIRS_L1TP	2019	29-04-2019	LC08_L1TP_233076_20190429_20190508_01_T1	1,25	LC08CPF_20190401_20190630_01.01	-
77	OLI_TIRS_L1TP	2019	15-05-2019	LC08_L1TP_233076_20190515_20190521_01_T1	1,03	LC08CPF_20190401_20190630_01.02	-
78	OLI_TIRS_L1TP	2019	31-05-2019	LC08_L1TP_233076_20190531_20190605_01_T1	0,96	LC08CPF_20190401_20190630_01.02	-
79	OLI_TIRS_L1TP	2019	16-06-2019	LC08_L1TP_233076_20190616_20190620_01_T1	31,30	LC08CPF_20190401_20190630_01.02	-
80	OLI_TIRS_L1TP	2019	02-07-2019	LC08_L1TP_233076_20190702_20190718_01_T1	38,81	LC08CPF_20190701_20190930_01.01	-
81	OLI_TIRS_L1TP	2019	18-07-2019	LC08_L1TP_233076_20190718_20190731_01_T1	1,25	LC08CPF_20190701_20190930_01.01	-
82	OLI_TIRS_L1TP	2019	03-08-2019	LC08_L1TP_233076_20190803_20190819_01_T1	1,25	LC08CPF_20190701_20190930_01.02	-
83	OLI_TIRS_L1TP	2019	19-08-2019	LC08_L1TP_233076_20190819_20190902_01_T1	1,09	LC08CPF_20190701_20190930_01.02	-
84	OLI_TIRS_L1TP	2019	04-09-2019	LC08_L1TP_233076_20190904_20190917_01_T1	8,14	LC08CPF_20190701_20190930_01.02	-
85	OLI_TIRS_L1TP	2019	20-09-2019	LC08_L1TP_233076_20190920_20190926_01_T1	2,11	LC08CPF_20190701_20190930_01.02	-
86	OLI_TIRS_L1TP	2019	06-10-2019	LC08_L1TP_233076_20191006_20191018_01_T1	1,44	LC08CPF_20191001_20191231_01.01	-
87	OLI_TIRS_L1TP	2019	22-10-2019	LC08_L1TP_233076_20191022_20191030_01_T1	1,01	LC08CPF_20191001_20191231_01.01	-
88	OLI_TIRS_L1TP	2019	07-11-2019	LC08_L1TP_233076_20191107_20191115_01_T1	0,40	LC08CPF_20191001_20191231_01.01	-
89	OLI_TIRS_L1TP	2019	23-11-2019	LC08_L1TP_233076_20191123_20191203_01_T1	2,98	LC08CPF_20191001_20191231_01.02	-
90	OLI_TIRS_L1TP	2019	09-12-2019	LC08_L1TP_233076_20191209_20191217_01_T1	0,84	LC08CPF_20191001_20191231_01.02	-
91	OLI_TIRS_L1TP	2019	25-12-2019	LC08_L1TP_233076_20191225_20200110_01_T1	2,11	LC08CPF_20191220_20191231_01.03	-
92	OLI_TIRS_L1TP	2020	10-01-2020	LC08_L1TP_233076_20200110_20200114_01_T1	16,81	LC08CPF_20200101_20200331_01.03	-
93	OLI_TIRS_L1TP	2020	26-01-2020	LC08_L1TP_233076_20200126_20200210_01_T1	13,69	LC08CPF_20200101_20200331_01.03	-
94	OLI_TIRS_L1TP	2020	11-02-2020	LC08_L1TP_233076_20200211_20200225_01_T1	2,08	LC08CPF_20200101_20200331_01.04	-
95	OLI_TIRS_L1TP	2020	27-02-2020	LC08_L1TP_233076_20200227_20200313_01_T1	0,34	LC08CPF_20200101_20200331_01.04	-
96	OLI_TIRS_L1TP	2020	14-03-2020	LC08_L1TP_233076_20200314_20200325_01_T1	5,49	LC08CPF_20200101_20200331_01.04	-
97	OLI_TIRS_L1TP	2020	30-03-2020	LC08_L1TP_233076_20200330_20200410_01_T1	0,71	LC08CPF_20200101_20200331_01.04	-
98	OLI_TIRS_L1TP	2020	15-04-2020	LC08_L1TP_233076_20200415_20200423_01_T1	0,58	LC08CPF_20200401_20200630_01.01	-
99	OLI_TIRS_L1TP	2020	01-05-2020	LC08_L1TP_233076_20200501_20200509_01_T1	0,9	LC08CPF_20200401_20200630_01.01	-
100	OLI_TIRS_L1TP	2020	17-05-2020	LC08_L1TP_233076_20200517_20200527_01_T1	0,85	LC08CPF_20200401_20200630_01.02	-
101	OLI_TIRS_L1TP	2020	02-06-2020	LC08_L1TP_233076_20200602_20200608_01_T1	3,88	LC08CPF_20200401_20200630_01.02	-
102	OLI_TIRS_L1TP	2020	18-06-2020	LC08_L1TP_233076_20200618_20200625_01_T1	1,06	LC08CPF_20200401_20200630_01.02	-
103	OLI_TIRS_L1TP	2020	04-07-2020	LC08_L1TP_233076_20200704_20200708_01_T1	0,75	LC08CPF_20200701_20200930_01.01	-
104	OLI_TIRS_L1TP	2020	20-07-2020	LC08_L1TP_233076_20200720_20200807_01_T1	68,38**	LC08CPF_20200701_20200930_01.01	-
105	OLI_TIRS_L1TP	2020	05-08-2020	LC08_L1TP_233076_20200805_20200821_01_T1	1,36	LC08CPF_20200701_20200930_01.02	-
106	OLI_TIRS_L1TP	2020	21-08-2020	LC08_L1TP_233076_20200821_20200905_01_T1	2,06	LC08CPF_20200701_20200930_01.02	-

N°	Producto/Sensor	Año	Fecha de adquisición*	ID - LANDSAT	Cobertura nubosa**	Archivo de Parámetros de calibración	Var. Año 5***
107	OLI_TIRS_L1TP	2020	06-09-2020	LC08_L1TP_233076_20200906_20200918_01_T1	4,2	LC08CPF_20200701_20200930_01.02	-
108	OLI_TIRS_L1TP	2020	22-09-2020	LC08_L1TP_233076_20200922_20201006_01_T1	3,59	LC08CPF_20200701_20200930_01.02	-
109	OLI_TIRS_L1TP	2020	08-10-2020*	LC08_L1TP_233076_20201008_20201016_01_T1	1,45	LC08CPF_20201001_20201231_01.01	-
110	OLI_TIRS_L1TP	2020	24-10-2020	LC08_L1TP_233076_20201024_20201105_01_T1	1,13	LC08CPF_20201001_20201231_01.01	-
111	OLI_TIRS_L1TP	2020	09-11-2020	LC08_L1TP_233076_20201109_20210317_01_T1	0,96	LC08CPF_20201102_20201112_01.07	-
112	OLI_TIRS_L1TP	2020	25-11-2020	LC08_L1TP_233076_20201125_20210315_01_T1	0,4	LC08CPF_20201121_20201128_01.07	-
113	OLI_TIRS_L1TP	2020	11-12-2020	LC08_L1TP_233076_20201211_20210313_01_T1	0,37	LC08CPF_20201129_20201211_01.07	-
114	OLI_TIRS_L1TP	2020	27-12-2020	LC08_L1TP_233076_20201227_20210311_01_T1	18,55	LC08CPF_20201212_20201231_01.07	-
115	OLI_TIRS_L1TP	2021	12-01-2021	LC08_L1TP_233076_20210112_20210307_01_T1	3,2	LC08CPF_20210101_20210131_01.03	-
116	OLI_TIRS_L1TP	2021	28-01-2021	LC08_L1TP_233076_20210128_20210305_01_T1	0,53	LC08CPF_20210101_20210131_01.03	-
117	OLI_TIRS_L1TP	2021	13-02-2021	LC08_L1TP_233076_20210213_20210304_01_T1	0,58	LC08CPF_20210201_20210228_01.03	-
118	OLI_TIRS_L1TP	2021	01-03-2021	LC08_L1TP_233076_20210301_20210311_01_T1	1,57	LC08CPF_20210301_20210331_01.03	-
119	OLI_TIRS_L1TP	2021	17-03-2021	LC08_L1TP_233076_20210317_20210328_01_T1	0,64	LC08CPF_20210301_20210331_01.03	-
120	OLI_TIRS_L1TP	2021	02-04-2021	LC08_L1TP_233076_20210402_20210409_01_T1	0,79	LC08CPF_20210401_20210630_01.01	Variación archivo en origen; fuente metadato
121	OLI_TIRS_L1TP	2021	18-04-2021	LC08_L1TP_233076_20210418_20210424_01_T1	0,86	LC08CPF_20210401_20210630_01.01	-
122	OLI_TIRS_L1TP	2021	04-05-2021	LC08_L1TP_233076_20210504_20210517_01_T1	0,74	LC08CPF_20210501_20210630_01.02	-
123	OLI_TIRS_L1TP	2021	20-05-2021	LC08_L1TP_233076_20210520_20210528_01_T1	5,01	LC08CPF_20210501_20210630_01.02	-
124	OLI_TIRS_L1TP	2021	05-06-2021	LC08_L1TP_233076_20210605_20210614_01_T1	4,41	LC08CPF_20210601_20210630_01.03	-
125	OLI_TIRS_L1TP	2021	21-06-2021	LC08_L1TP_233076_20210621_20210629_01_T1	18,57	LC08CPF_20210601_20210630_01.03	-
126	OLI_TIRS_L1TP	2021	07-07-2021	LC08_L1TP_233076_20210707_20210713_01_T1	2,37	LC08CPF_20210701_20210930_01.01	-
127	OLI_TIRS_L1TP	2021	23-07-2021	LC08_L1TP_233076_20210723_20210729_01_T1	1,51	LC08CPF_20210701_20210930_01.01	-
128	OLI_TIRS_L1TP	2021	08-08-2021	LC08_L1TP_233076_20210808_20210818_01_T1	2,09	LC08CPF_20210801_20210930_01.02	-
129	OLI_TIRS_L1TP	2021	24-08-2021	LC08_L1TP_233076_20210824_20210831_01_T1	1,22	LC08CPF_20210801_20210930_01.02	-
130	OLI_TIRS_L1TP	2021	09-09-2021	LC08_L1TP_233076_20210909_20210916_01_T1	3,8	LC08CPF_20210901_20210930_01.03	-
131	OLI_TIRS_L1TP	2021	25-09-2021	LC08_L1TP_233076_20210925_20211001_01_T1	1,01	LC08CPF_20210901_20210930_01.03	-
132	OLI_TIRS_L1TP	2021	11-10-2021	LC08_L1TP_233076_20211011_20211019_01_T1	0,94	LC08CPF_20211001_20211231_01.01	-
133	OLI_TIRS_L1TP	2021	27-10-2021	LC08_L1TP_233076_20211027_20211104_01_T1	0,89	LC08CPF_20211001_20211031_01.02	-
134	OLI_TIRS_L1TP	2021	12-11-2021	LC08_L1TP_233076_20211112_20211124_01_T1	0,59	LC08CPF_20211101_20211231_01.02	-
135	OLI_TIRS_L1TP	2021	28-11-2021	LC08_L1TP_233076_20211128_20211208_01_T1	0,4	LC08CPF_20211101_20211130_01.03	-
136	OLI_TIRS_L1TP	2021	14-12-2021	LC08_L1TP_233076_20211214_20211223_01_T1	3,44	LC08CPF_20211201_20211231_01.03	-
137	OLI_TIRS_L1TP	2021	30-12-2021	LC08_L1TP_233076_20211230_20220106_01_T1	0,46	LC08CPF_20211201_20211231_01.03	-

\* Imagen con problemas de descarga desde origen

\*\*Las coberturas nubosas mayores al 10% fueron analizadas según el área de corte, y consideradas en la medida que no afectaran la metodología de análisis; sólo para el sector Soncor se considera la imagen con fecha 20-07-2020; las demás fueron descartadas.

\*\*\*Las variaciones en los resultados de las superficies observadas se deben a variaciones de los archivos desde la fuente de origen, que van desde actualización de parámetros para correcciones, variación en la cobertura nubosa, entre otros (detectado por comparación de metadatos). Las imágenes recogidas para este análisis cuentan con las características de versiones finales entregadas por la fuente de origen (USGS). Otras variaciones (un caso) considera una corrección en la proyección, en un error del procedimiento automático.

# Anexo C-2

## Registro Superficie cubierta por Lagunas (1985-2021)

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

Nombre	Fecha	Superficie (m2)	Imagen Satelital	Fuente
Lag Aguas de Quelana	01-03-2006	120.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.10), Anexo 2 Adenda5
Lag Aguas de Quelana	01-03-2007	113.000	Minima Historica) Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.10), Anexo 2 Adenda5
Lag Aguas de Quelana	01-04-2011	331.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.10), Anexo 2 Adenda5
Lag Aguas de Quelana	01-04-2013	246.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.10), Anexo 2 Adenda5
Lag Aguas de Quelana	12-04-2013	524.700	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	28-04-2013	748.800	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	14-05-2013	1.115.100	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	30-05-2013	1.602.900	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	15-06-2013	2.032.200	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	01-07-2013	1.748.700	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	17-07-2013	1.909.800	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	02-08-2013	1.944.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	18-08-2013	1.429.200	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	03-09-2013	835.200	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	19-09-2013	102.600	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	06-11-2013	216.900	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	22-11-2013	183.600	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	08-12-2013	89.100	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	24-12-2013	140.400	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	09-01-2014	120.600	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	25-01-2014	0	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	10-02-2014	291.600	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	26-02-2014	294.300	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	14-03-2014	351.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	30-03-2014	379.800	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	15-04-2014	488.700	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	01-05-2014	641.700	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	17-05-2014	855.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	02-06-2014	1.087.200	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	18-06-2014	1.387.800	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	04-07-2014	1.260.900	LANDSAT 8	GSAM 2014
Lag Aguas de Quelana	01-04-2015	301.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.10), Anexo 2 Adenda5
Lag Aguas de Quelana	01-07-2016	334.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-07-2016	582.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	15-12-2016	188.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	15-12-2016	416.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	22-08-2017	1.229.000	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	29-08-2017	2.637.745	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	24-12-2017	1.036.933	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	30-12-2017	277.849	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	16-08-2018	885.805	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	17-08-2018	851.600	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	21-12-2018	129.619	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	22-12-2018	173.508	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-08-2019	577.948	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-08-2019	408.779	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-12-2019	398.028	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-12-2019	499.378	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-08-2020	187.457	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-08-2020	171.739	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-12-2020	85.441	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-12-2020	84.780	LANDSAT 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
Lag Aguas de Quelana	01-08-2021	156.479	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
Lag Aguas de Quelana	01-08-2021	155.886	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
Lag Aguas de Quelana	01-12-2021	88.834	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
Lag Aguas de Quelana	01-12-2021	239.605	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
LAGUNAS PEINE	01-03-2006	489.000	Minima Historica) Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.8), Anexo 2 Adenda5
LAGUNAS PEINE	01-04-2010	712.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.8), Anexo 2 Adenda5
LAGUNAS PEINE	01-04-2011	736.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.8), Anexo 2 Adenda5
LAGUNAS PEINE	01-04-2013	655.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.8), Anexo 2 Adenda5
LAGUNAS PEINE	12-04-2013	610.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	28-04-2013	620.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	14-05-2013	630.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	30-05-2013	710.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	15-06-2013	770.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	01-07-2013	730.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	17-07-2013	710.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	02-08-2013	730.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	18-08-2013	700.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	03-09-2013	710.000	LANDSAT 8	GSAM 2014

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

Nombre	Fecha	Superficie (m2)	Imagen Satelital	Fuente
LAGUNAS PEINE	06-11-2013	620.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	22-11-2013	600.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	24-12-2013	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	09-01-2014	580.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	10-02-2014	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	26-02-2014	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	14-03-2014	540.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	30-03-2014	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	15-04-2014	560.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	01-05-2014	580.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	17-05-2014	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	02-06-2014	590.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	18-06-2014	570.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	04-07-2014	590.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
LAGUNAS PEINE	01-07-2016	741.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-07-2016	1.147.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	15-12-2016	502.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	15-12-2016	1.103.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	22-08-2017	746.230	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	29-08-2017	1.045.919	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	24-12-2017	753.464	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	30-12-2017	740.682	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	16-08-2018	783.552	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	17-08-2018	514.826	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	21-12-2018	493.949	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	22-12-2018	817.110	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-08-2019	866.637	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-08-2019	851.021	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-12-2019	1.016.804	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-12-2019	1.078.117	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-08-2020	542.094	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-08-2020	1.054.403	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-12-2020	734.638	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-12-2020	830.122	LANDSAT 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
LAGUNAS PEINE	01-08-2021	457.119	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
LAGUNAS PEINE	01-08-2021	359.677	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
LAGUNAS PEINE	01-12-2021	263.543	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
LAGUNAS PEINE	01-12-2021	333.610	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
PUNTA BRAVA	30-03-1985	1.566.500	LANDSAT 5 TM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	24-02-1990	766.000	LANDSAT 5 TM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	02-05-1997	4.556.400	LANDSAT 5 TM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	31-03-2000	953.700	LANDSAT 7 + ETM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	21-03-2002	1.485.000	LANDSAT 7 + ETM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	01-01-2007	342.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.7), Anexo 2 Adenda5
PUNTA BRAVA	01-04-2008	350.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.7), Anexo 2 Adenda5
PUNTA BRAVA	14-04-2008	998.700	LANDSAT 7 + ETM	EIA ROCKWOOD 2009 ADENDA 2
PUNTA BRAVA	01-01-2010	342.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.7), Anexo 2 Adenda5
PUNTA BRAVA	01-01-2012	341.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.7), Anexo 2 Adenda5
PUNTA BRAVA	12-04-2013	450.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	28-04-2013	500.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	14-05-2013	670.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	30-05-2013	970.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	15-06-2013	1.390.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	01-07-2013	1.130.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	17-07-2013	1.270.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	02-08-2013	1.260.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	18-08-2013	1.100.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	03-09-2013	880.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	06-11-2013	350.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	22-11-2013	330.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	08-12-2013	320.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	24-12-2013	280.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	09-01-2014	280.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	01-02-2014	316.000	Minima Historica) Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.7), Anexo 2 Adenda5
PUNTA BRAVA	10-02-2014	310.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	26-02-2014	330.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	14-03-2014	370.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	30-03-2014	430.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	15-04-2014	450.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	01-05-2014	510.000	LANDSAT 8	GSAM 2014

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

Nombre	Fecha	Superficie (m2)	Imagen Satelital	Fuente
PUNTA BRAVA	17-05-2014	650.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	02-06-2014	910.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	18-06-2014	1.000.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	04-07-2014	1.030.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
PUNTA BRAVA	01-07-2016	474.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-07-2016	626.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	15-12-2016	409.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	15-12-2016	550.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	22-08-2017	481.107	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	29-08-2017	381.695	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	24-12-2017	393.277	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	30-12-2017	486.229	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	16-08-2018	637.302	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	17-08-2018	619.321	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	21-12-2018	358.729	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	22-12-2018	443.993	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-08-2019	528.462	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-08-2019	537.733	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-12-2019	627.220	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-12-2019	576.515	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-08-2020	514.418	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-08-2020	600.191	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-12-2020	284.173	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-12-2020	360.958	LANDSAT 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
PUNTA BRAVA	01-08-2021	458.260	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
PUNTA BRAVA	01-08-2021	399.632	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
PUNTA BRAVA	01-12-2021	240.841	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
PUNTA BRAVA	01-12-2021	355.026	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
SONCOR	01-03-2007	1.924.000	Minima Historica) Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5
SONCOR	01-04-2010	2.028.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5
SONCOR	01-04-2011	2.339.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5
SONCOR	01-04-2013	2.342.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5
SONCOR	12-04-2013	1.710.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	28-04-2013	2.020.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	14-05-2013	2.110.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	30-05-2013	2.500.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	15-06-2013	2.680.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	01-07-2013	2.440.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	17-07-2013	2.540.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	02-08-2013	2.440.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	18-08-2013	2.370.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	03-09-2013	2.360.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	06-11-2013	1.550.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	22-11-2013	1.490.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	08-12-2013	1.300.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	24-12-2013	1.300.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	09-01-2014	1.280.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	10-02-2014	1.370.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	26-02-2014	1.400.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	14-03-2014	1.490.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	30-03-2014	1.580.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	01-04-2014	2.238.000	Satélite alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye)	CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5
SONCOR	15-04-2014	1.710.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	01-05-2014	1.860.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	17-05-2014	1.990.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	02-06-2014	2.000.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	18-06-2014	2.100.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	04-07-2014	2.200.000	LANDSAT 8	GSAM 2014
SONCOR	01-07-2016	2.589.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
SONCOR	01-07-2016	2.699.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
SONCOR	15-12-2016	2.556.000	Pleiades 1A AR 1	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
SONCOR	15-12-2016	2.338.000	Landsat 8 MR 2	Geosoluciones Ltda. y Reporte CEDREM
SONCOR	22-08-2017	3.363.000	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	29-08-2017	3.932.980	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	24-12-2017	1.896.512	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	30-12-2017	2.202.981	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	16-08-2018	2.960.945	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	17-08-2018	2.576.415	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	21-12-2018	1.640.584	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	22-12-2018	2.552.764	Landsat 8 MR 2	Apogeos y Reporte CEDREM

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

Nombre	Fecha	Superficie (m2)	Imagen Satéltal	Fuente
SONCOR	01-08-2019	2.328.853	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-08-2019	2.343.328	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-12-2019	2.164.604	Pleiades 1A AR 1	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-12-2019	2.481.803	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-08-2020	2.552.516	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-08-2020	3.315.701	Landsat 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-12-2020	1.689.478	Pleiades 1A AR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-12-2020	2.255.468	LANDSAT 8 MR	Apogeos y Reporte CEDREM
SONCOR	01-08-2021	2.039.790	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
SONCOR	01-08-2021	2.161.004	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
SONCOR	01-12-2021	1.423.074	PLEIADES 1A	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)
SONCOR	01-12-2021	2.350.648	LANDSAT 8	Apogeos y Reporte CEDREM (2021)