

Anexo C

Superficie Cubierta por Lagunas

Anexo C-1

Informe “Superficie Cubierta por Lagunas, Invierno 2022 – Verano 2022”



INFORME ANUAL N°7

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 2022 - Verano 2022



Región de Antofagasta

Marzo de 2023

ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | RESUMEN | 8 |
| 2 | INTRODUCCIÓN | 11 |
| 3 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 4 | MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |
| 4.1 | Descripción del área de estudio | 14 |
| 4.2 | Parámetros utilizados para caracterizar el estado y seguimiento de los cuerpos de agua | 16 |
| 4.3 | Ubicación de los puntos de muestreo para validación de cuerpos de agua | 16 |
| 4.4 | Materiales y equipos utilizados..... | 18 |
| 4.5 | Metodología de muestreo y/o medición..... | 18 |
| 4.6 | Metodología de análisis de las imágenes satelitales para delimitación de cuerpos de agua | 19 |
| 4.6.1 | Imágenes de alta resolución – Pleiades 1-A | 19 |
| 4.6.2 | Imagen de resolución media – LANDSAT 8..... | 22 |
| 4.6.3 | Procesamiento de las imágenes satelitales | 23 |
| 4.6.4 | Descripción del Modelo de Clasificación Supervisada de cuerpos de agua | 24 |
| 4.6.5 | Parámetros espectrales del modelo de clasificación..... | 25 |
| 4.6.6 | Umrales y validación del modelo de clasificación | 27 |
| 4.6.7 | Depuración cartográfica de cuerpos de agua..... | 29 |
| 4.7 | Análisis comparativo para seguimiento de la cobertura de cuerpos de agua | 30 |
| 4.8 | Fechas de medición..... | 31 |
| 5 | RESULTADOS | 31 |
| 5.1 | Validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua | 31 |
| 5.2 | Resultados Superficies de cuerpos de agua por sistema lagunar | 37 |
| 5.2.1 | La Punta - La Brava | 38 |
| 5.2.2 | Peine..... | 43 |
| 5.2.3 | Aguas de Quelana | 48 |
| 5.2.4 | Soncor..... | 53 |
| 5.3 | Límites considerados en el seguimiento de los cuerpos de agua | 58 |
| 6 | DISCUSION | 58 |
| 6.1 | Análisis de la validación del modelo de clasificación de la cobertura de cuerpos de agua | 58 |
| 6.2 | Análisis de comparación con registros históricos de línea de base | 60 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.2.1 | Sistema Lagunas La Punta - La Brava | 63 |
| 6.2.2 | Sistema Lagunas Peine | 70 |
| 6.2.3 | Sistema Aguas de Quelana | 78 |
| 6.2.4 | Sistema Soncor..... | 85 |
| 7 | CONCLUSIONES | 91 |
| 8 | REFERENCIAS | 95 |
| 9 | ANEXOS | 100 |
| | ANEXO 9-1. Distribución de puntos de validación para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, agosto 2022. | 100 |
| | ANEXO 9-2. Distribución de puntos de validación para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, diciembre 2022. | 101 |
| | ANEXO 9-3. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector sur, agosto 2022..... | 102 |
| | ANEXO 9-4. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, diciembre 2022..... | 103 |
| | ANEXO 9-5. Coordenadas de puntos de validación en terreno | 104 |
| | ANEXO 9-6. Cuadro comparativo de diferencias implementadas en el estudio actual respecto a la línea de base (Adenda 5 RWL, 2015)..... | 104 |
| | ANEXO 9-7. Metadata de Imágenes de alta resolución – Pleiades 1-A | 105 |
| | ANEXO 9-8. Metadata de Imágenes de media resolución – Landsat | 105 |
| | ANEXO 9-9. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Landsat 8, invierno 2022. | 106 |
| | ANEXO 9-10. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022. | 107 |
| | ANEXO 9-11. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Landsat 8, invierno 2022. | 108 |
| | ANEXO 9-12. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022. | 109 |
| | ANEXO 9-13. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Landsat 8, invierno 2022. | 110 |
| | ANEXO 9-14. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022..... | 111 |
| | ANEXO 9-15. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Landsat 8, invierno 2022. | 112 |
| | ANEXO 9-16. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022. | 113 |
| | ANEXO 9-17. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Landsat 8, verano 2022. | 114 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO 9-18. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022. | 115 |
| ANEXO 9-19. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Landsat 8, verano 2022. | 116 |
| ANEXO 9-20. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022. | 117 |
| ANEXO 9-21. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Landsat 8, verano 2022. | 118 |
| ANEXO 9-22. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022. | 119 |
| ANEXO 9-23. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Landsat 8, verano 2022. | 120 |
| ANEXO 9-24. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022. | 121 |
| ANEXO 9-25. Imágenes Landsat 2016 – 2022 – Análisis NDWI. | 122 |

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. | 15 |
| Figura N°4-2. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2022. | 20 |
| Figura N°4-3. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2022. | 21 |
| Figura N°4-4. Imagen Landsat 8 correspondiente al cuadrante que incluye el área de estudio en invierno 2022 (izquierda – RGB) y verano 2022 (derecha - RGB). | 22 |
| Figura N°4-5. Modelo conceptual de árbol de decisiones usado para la clasificación supervisada de cuerpos de agua a través de imágenes satelitales. | 24 |
| 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>). | 30 |
| Figura N°5-1. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar La Punta - La Brava. | 38 |
| Figura N°5-2. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2022 – diciembre 2022. | 40 |
| Figura N°5-3. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. | 41 |
| Figura N°5-4. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8. | 41 |
| Figura N°5-5. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A. | 42 |

| | |
|---|----|
| Figura N°5-6. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8..... | 42 |
| Figura N°5-7. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Peine..... | 43 |
| Figura N°5-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2022. | 45 |
| Figura N°5-9. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A..... | 46 |
| Figura N°5-10. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8..... | 46 |
| Figura N°5-11. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A..... | 47 |
| Figura N°5-12. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8..... | 47 |
| Figura N°5-13. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua sistema lagunar Aguas de Quelana..... | 48 |
| Figura N°5-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2022. | 50 |
| Figura N°5-15. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, a partir de Pleiades 1-A..... | 51 |
| Figura N°5-16. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8..... | 51 |
| Figura N°5-17. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A..... | 52 |
| Figura N°5-18. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, Landsat 8..... | 52 |
| Figura N°5-19. Registros históricos y superficie de los cuerpos de agua, sistema lagunar Soncor. | 53 |
| Figura N°5-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2022..... | 55 |
| Figura N°5-21. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1-A..... | 56 |
| Figura N°5-22. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8..... | 56 |
| Figura N°5-23. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1-A..... | 57 |
| Figura N°5-24. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8..... | 57 |
| Figura N° 6-1. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava..... | 64 |
| 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 - La Brava..... | 65 |
| Figura N° 6-3. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - La Brava..... | 66 |
| Figura N° 6-4. Variación histórica Sistema Lagunar La Punta-La Brava, Landsat NDWI (1985-2021). 68 | |

| | |
|--|----|
| Figura N° 6-5. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - La Brava..... | 69 |
| Figura N° 6-6. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine..... | 71 |
| Figura N° 6-7. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Peine..... | 73 |
| Figura N° 6-8. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Peine..... | 75 |
| Figura N° 6-9. Variación histórica Sistema Lagunar Peine, Landsat NDWI (1985-2021) | 76 |
| Figura N° 6-10. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Peine..... | 78 |
| Figura N° 6-11. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana..... | 80 |
| 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..... | 81 |
| Figura N° 6-13. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Aguas de Quelana..... | 83 |
| Figura N° 6-14. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Aguas de Quelana..... | 85 |
| Figura N° 6-15. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor..... | 86 |
| Figura N° 6-16. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat reportadas en el PSAH e históricas, Sector Soncor..... | 87 |
| Figura N° 6-17. Variación intranual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector Soncor..... | 89 |
| Figura N° 6-18. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar Soncor..... | 90 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N°2-1. Resumen de Componentes y Variables | 11 |
| Tabla N°2-2. Identificación de Instituciones y/o equipos de trabajo encargada de realizar el muestreo, medición, análisis y/o control..... | 12 |
| Tabla N°4-1. Número de puntos de monitoreo catastrados en la campaña de invierno 2022, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama..... | 17 |
| Tabla N°4-2. Número de puntos de muestreo catastrados en la campaña de verano 2022, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama..... | 18 |
| Tabla N°4-3. Características técnicas del sensor Pleiades 1-A..... | 19 |
| Tabla N°4-4. Características técnicas de las bandas espectrales de la imagen Landsat 8..... | 22 |

| | |
|--|----|
| Tabla N°4-5. Valores de los umbrales de clasificación de los parámetros espectrales usados, según Pleiades 1-A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2022. | 27 |
| Tabla N°5-1. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1-A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Agosto, 2022. | 33 |
| 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, 2022. | 34 |
| Tabla N°5-3. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1-A: Matriz de confusión y el índice <i>Kappa</i> por sistema lagunar. Diciembre de 2022. | 35 |
| 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 2022. | 36 |
| Tabla N°5-5. Comparación de superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). | 37 |
| 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 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015). | 37 |
| Tabla N°6-1. Consolidado de índices <i>Kappa</i> de validación del modelo de clasificación para imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8. | 59 |
| Tabla N°7-1. Superficies de cuerpos de agua estimadas a través de imágenes satelitales (Pleiades 1-A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base e históricos (Adenda 5 RWL, 2015). | 91 |

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 - La Brava, (2) Peine, (3) Aguas de Quelana y (4) Soncor. Para tal fin, se utilizan imágenes de alta resolución del sensor Pleiades 1-A y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8, obtenidas en invierno y verano de 2022.

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 2022 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 2022 y verano 2022 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los sectores Soncor y Aguas de Quelana, por lo que los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación). Para los sistemas La Punta – La Brava y Peine, fue posible el levantamiento en los puntos de validación asignados para cada sector, complementando la información pedestre con imágenes de vuelo dron. Para ambas campañas se realiza obtención de imágenes satelitales de alta y media resolución en forma paralela a los trabajos en terreno.

Los valores de ajuste se obtuvieron mediante el índice Kappa¹, este índice tuvo una variación entre 0,95 - 0,57 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,94 - 0,52 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, este índice tuvo una variación entre 0,87 - 0,41 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,81 - 0,46 para imágenes de resolución media Landsat 8. Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión

¹ 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).

del modelo de clasificación supervisada aplicado, que según el índice *Kappa* muestra un nivel de concordancia *moderado a casi perfecta*².

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de alta resolución, en invierno de 2022 correspondieron a: (1) 45,1 ha en La Punta - La Brava, (2) 50,5 ha en Peine, (3) 18,3 ha en Aguas de Quelana, y (4) 190,1 ha Soncor; y para verano de 2022 las superficies son: (1) 25,3 ha en La Punta - La Brava, (2) 24,2 ha en Peine, (3) 6,2 ha en Aguas de Quelana y (4) 135,5 ha Soncor.

Las superficies lagunares estimadas en este monitoreo desde imágenes de media resolución, en invierno de 2022 correspondieron a: (1) 56,9 ha en La Punta - La Brava, (2) 62,8 ha en Peine, (3) 36,0 ha en Aguas de Quelana, y (4) 196,3 ha Soncor; y para verano de 2022 las superficies son: (1) 26,9 ha en La Punta - La Brava, (2) 27,7 ha en Peine, (3) 17,8 ha en Aguas de Quelana y (4) 184,8 ha Soncor.

En relación al análisis comparativo entre las imágenes satelitales, la correlación entre las superficies calculadas desde alta resolución (Pleiades 1-A) 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 directo (a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos).

En relación con la evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie semestral PSAH), superficies históricas serie Adenda 5 (1972 – 2014) y serie complementaria 2016 – 2022), se tiene que las superficies calculadas con imágenes de media resolución Landsat (de frecuencia semestral) durante el monitoreo 2016 a 2022, 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. 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, las que pueden alcanzar una reducción de un 98%. En general, se observa una tendencia al descenso de las superficies en la condición de invierno, donde por ejemplo en Sistema La Punta – La Brava, las diferencias entre superficies de inviernos y veranos ha disminuido y se ven acortadas hasta la fecha actual.

² 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).

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.

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 los sectores La Punta – La Brava y Aguas de Quelana, y en relación con las superficies AR de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015), se observa que las superficies se presentan en general sobre dichos registros, a excepción de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022. Para el sector Peine, la comparativa muestra que las superficies semestrales de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, se presentan bajo el mínimo de línea de base. Finalmente, el sector Soncor muestra registros de superficies semestrales en alta resolución sobre mínimo de línea de base, a excepción de los registros de diciembre 2020, diciembre 2021 y diciembre 2022, con variabilidad estacional entre registros. Dentro de la comparativa anterior, es importante destacar que las superficies en AR (de la línea base) fueron en meses distintos a los comprometidos a reportar semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre), aspecto importante a considerar, dada la variabilidad intranual observada en los sectores en seguimiento.

En general, se observa una variación estacional en inviernos de mayor área de ocupación lagunar y en veranos con menor superficie lagunar, tanto en las series de las imágenes de alta resolución como las de media resolución, en donde estas últimas han sido consideradas para evaluar tendencias.

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 - 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 1-A (2 m) y de mediana resolución de acceso público del sensor Landsat 8 (30 m), obtenidas en **agosto y diciembre de 2022**.

Este informe corresponde al monitoreo y seguimiento ambiental de las “Superficies cubierta por lagunas”, mediciones de invierno y verano de 2022, 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 (m²), 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)³”, 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 ²) | 3.2.6 Superficie Cubierta por Lagunas , pág. 22. Adenda 5 RWL, (2015). Análisis de imágenes satelitales de alta resolución, multiespectrales con un píxel |

³ 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.

| Componente Ambiental | Monitoreo | Variable o Parámetro | Metodología |
|----------------------|-----------|----------------------|--|
| | | | <p>máx. de 4 metros, que incluirán los cuatro sistemas lagunares. Metodología Índice Normalizado de diferencias de agua (NDWI). Anexo 3 PSAH.</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> |

Fuente: Elaboración propia en base a lo especificado en el Anexo 2, Adenda 5 EIA, Apéndice B. Determinación espacio temporal de la vegetación azonal y cuerpos de agua; RWL, 2015.

Para el logro del objetivo propuesto 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 | <p><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.</p> | <p><u>Especialista:</u> Jessica Labarca (Fotointerpretación) Tomás Lizama (Especialista en Terreno; UVA/Dron - GNSS) David Avaca (Especialista en Terreno; UVA/Dron) Pedro Pablo Barahona (Apoyo en Terreno) Anyola Vega (Apoyo en Terreno)</p> |
| | <p><u>Trabajo en gabinete:</u> Aplicación del modelo de clasificación supervisada y análisis de resultados.</p> | <p><u>Jefe de Proyecto:</u> Jorge Ramos <u>Especialistas en gabinete:</u> Jessica Labarca Tomás Lizama</p> |
| Apogeos | <p><u>Trabajo en gabinete:</u> Correcciones y adquisición de imágenes satelitales de alta resolución.</p> | <p>Lorena Bustamante (Especialista)</p> |

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 1-A, y de media resolución, Landsat 8, obtenidas durante agosto y diciembre de 2022. 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 2022 y verano 2022, con los resultados obtenidos desde el primer año de monitoreo (2016) y con los históricos de línea de base.

En las campañas de invierno (agosto) 2022 y verano (diciembre) 2022 fue posible realizar de manera completa la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los sectores La Punta - La Brava y Peine. 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, no se realizó vuelo UVA/dron y trabajo de validación en terreno, reemplazándose por identificación de recubrimientos mediante el proceso fotointerpretativo.

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 su superficie de ocupación.

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 fotointerpretativas⁴) 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 - 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.

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

- 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.
- Comparar y correlacionar⁵ 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 8⁶.

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):

- i) *La Punta - La Brava*; se ubica en el sector sur del salar y abarca una superficie de 726,0 ha (5,9%).
- ii) *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%).
- iii) *Aguas de Quelana*, se localiza en el centro-este del salar y abarca una superficie de 5.220,9 ha (42,3%).
- iv) *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%).

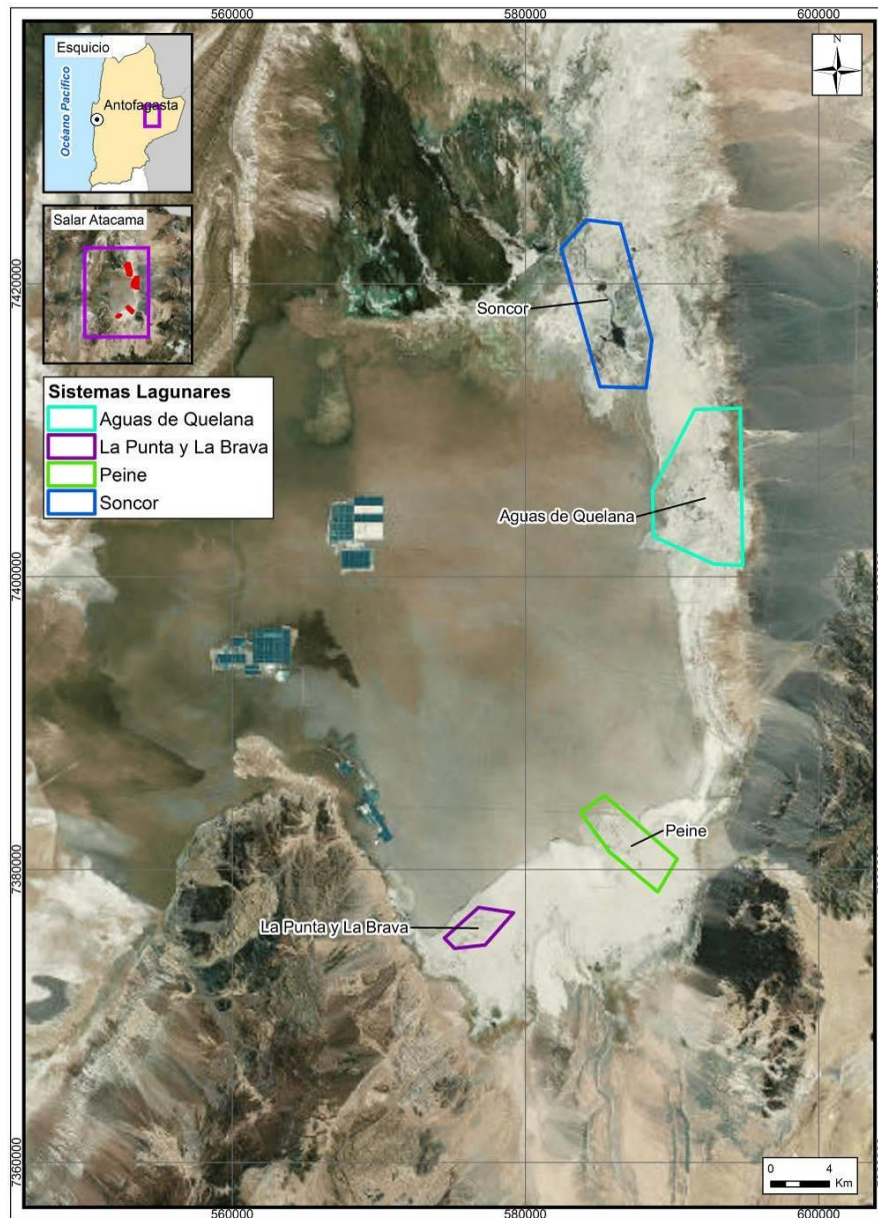
Los cuatro sistemas lagunares se ubican específicamente en la interfase salina al sur de la cuenca endorreica del Salar de Atacama. Esta zona de interfase supone una separación hidráulica subterránea, de tal manera que el flujo procedente de los acuíferos y, por tanto, desde las subcuencas aportantes, 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

⁵ 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.

⁶ 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.

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 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 1-A 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 1-A, 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 2022 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 2021, 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.

La captura de las imágenes satelitales de alta resolución para todos los sectores (Pleiades 1-A) 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 2022.

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 presentan 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 1-A 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 2022, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades 1-A 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 1-A | | LANDSAT 8 | | PLEIADES 1-A | LANDSAT 8 |
| | | TERRENO** | FOTOINT* | TERRENO** | FOTOINT* | | |
| La Punta - La Brava | Otros recubrimientos | 166 | - | 55 | - | 208 | 68 |
| | Cuerpos de agua | 139 | - | 42 | - | 97 | 29 |
| | Total sistema lagunar | 305 | - | 97 | - | 305 | 97 |
| Peine | Otros recubrimientos | 67 | - | 65 | - | 68 | 57 |
| | Cuerpos de agua | 124 | - | 117 | - | 123 | 125 |
| | Total sistema lagunar | 191 | - | 182 | - | 191 | 182 |
| Aguas de Quelana | Otros recubrimientos | - | 43 | - | 42 | 59 | 60 |
| | Cuerpos de agua | - | 41 | - | 42 | 25 | 24 |
| | Total sistema lagunar | - | 84 | - | 84 | 84 | 84 |
| Soncor | Otros recubrimientos | - | 130 | - | 118 | 134 | 117 |
| | Cuerpos de agua | - | 126 | - | 115 | 122 | 116 |
| | Total sistema lagunar | - | 256 | - | 233 | 256 | 233 |
| TOTAL GENERAL | | | 836 | | 596 | 836 | 596 |

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 2022, para validación del modelo de clasificación de cobertura de cuerpos de agua a partir de imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8 en los sistemas lagunares del Salar de Atacama.

| SISTEMA LAGUNAR | RECUBRIMIENTO | PUNTOS DE VALIDACIÓN | | | | PUNTOS DE VALIDACIÓN MODELO | |
|----------------------|------------------------------|----------------------|------------|------------|------------|-----------------------------|------------|
| | | PLEIADES 1-A | | LANDSAT 8 | | PLEIADES 1-A | LANDSAT 8 |
| | | TERRENO** | FOTOINT* | TERRENO** | FOTOINT* | | |
| La Punta - La Brava | Otros recubrimientos | 215 | - | 77 | - | 272 | 90 |
| | Cuerpos de agua | 90 | - | 20 | - | 33 | 7 |
| | Total sistema lagunar | 305 | - | 97 | - | 305 | 97 |
| Peine | Otros recubrimientos | 74 | - | 72 | - | 102 | 89 |
| | Cuerpos de agua | 117 | - | 110 | - | 89 | 93 |
| | Total sistema lagunar | 191 | - | 182 | - | 191 | 182 |
| Aguas de Quelana | Otros recubrimientos | - | 64 | - | 67 | 73 | 75 |
| | Cuerpos de agua | - | 20 | - | 17 | 11 | 9 |
| | Total sistema lagunar | - | 84 | - | 84 | 84 | 84 |
| Soncor | Otros recubrimientos | - | 146 | - | 137 | 162 | 129 |
| | Cuerpos de agua | - | 110 | - | 96 | 94 | 104 |
| | Total sistema lagunar | - | 256 | - | 233 | 256 | 233 |
| TOTAL GENERAL | | | 836 | | 596 | 836 | 596 |

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

El equipo utilizado en ambas campañas para el levantamiento de puntos de información en los 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 los sistemas lagunares La Punta - La Brava y Peine. En la campaña invierno 2022 y verano 2022 no fue posible realizar la validación en terreno y vuelo dron - UVA en los sectores Soncor y Aguas de Quelana, por lo que los análisis de validación supervisada se basan en la imagen satelital de base (fotointerpretación).

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 en 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 1-A, 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 2022, este muestreo se implementó en los puntos de réplicas estacionales de las campañas de invierno y verano de 2016 a 2021, 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 1-A

Las imágenes multiespectrales de alta resolución usadas en el presente estudio provienen del sensor Pleiades 1-A, y en su conjunto conforman dos mosaicos, el primero en el sector sur que corresponde a los sistemas de Peine y La Punta - La Brava; y el segundo en el sector norte, que comprende los sistemas lagunares de Soncor y Aguas de Quelana (Figura N°4-2). En la campaña de invierno 2022, se obtuvieron las imágenes Pleiades 1-A, el **16 de agosto de 2022** y en verano 2022 el **11 de diciembre de 2022**. 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 ortorectificación puede encontrarse dentro 1m y 10m respectivamente. Las principales características del sensor se describen en la Tabla N°4-3, el ANEXO 9-7 se presenta el *metadata* de las imágenes analizadas.

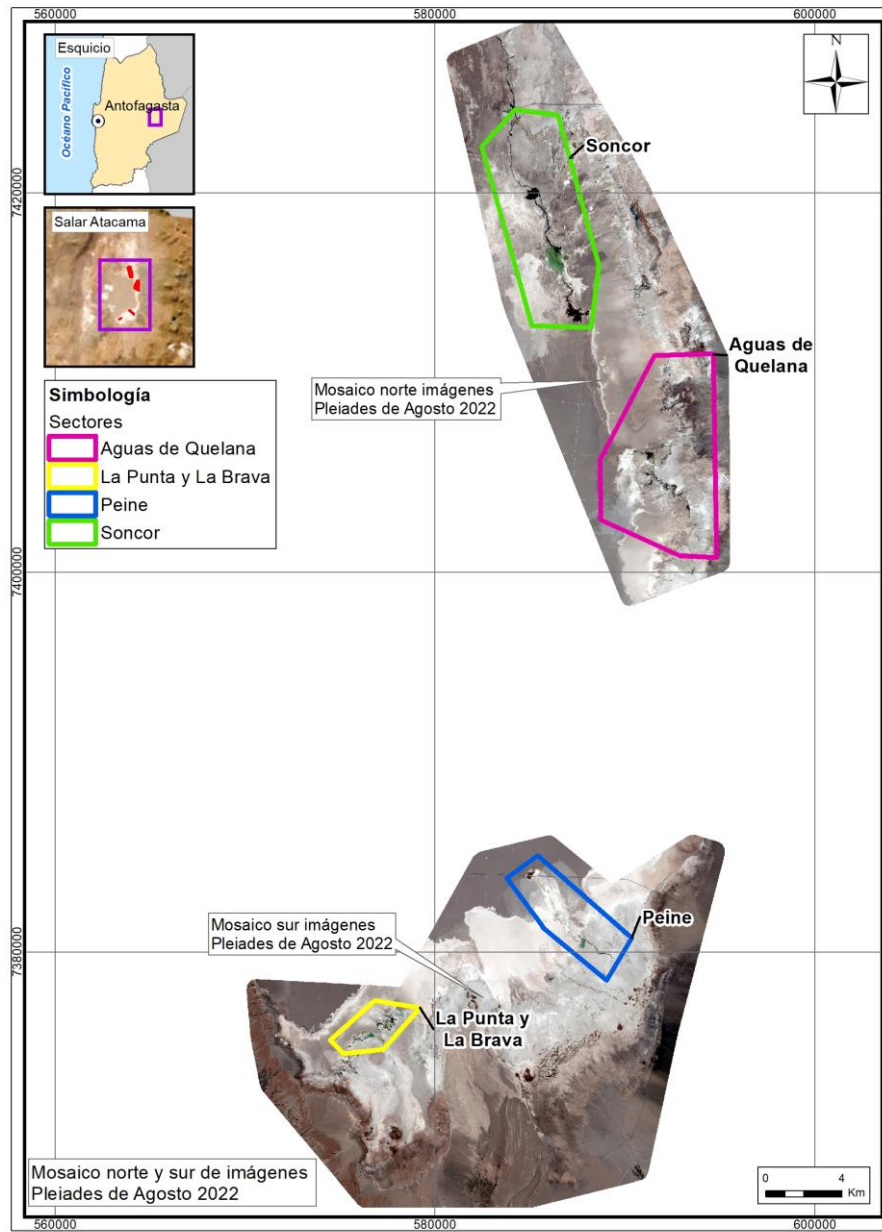
Tabla N°4-3. Características técnicas del sensor Pleiades 1-A.

| 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 |

| CARACTERÍSTICAS | DETALLE |
|-----------------------|---------------------|
| Resolución del sensor | Pancromática: 50 cm |
| | Multiespectral: 2 m |

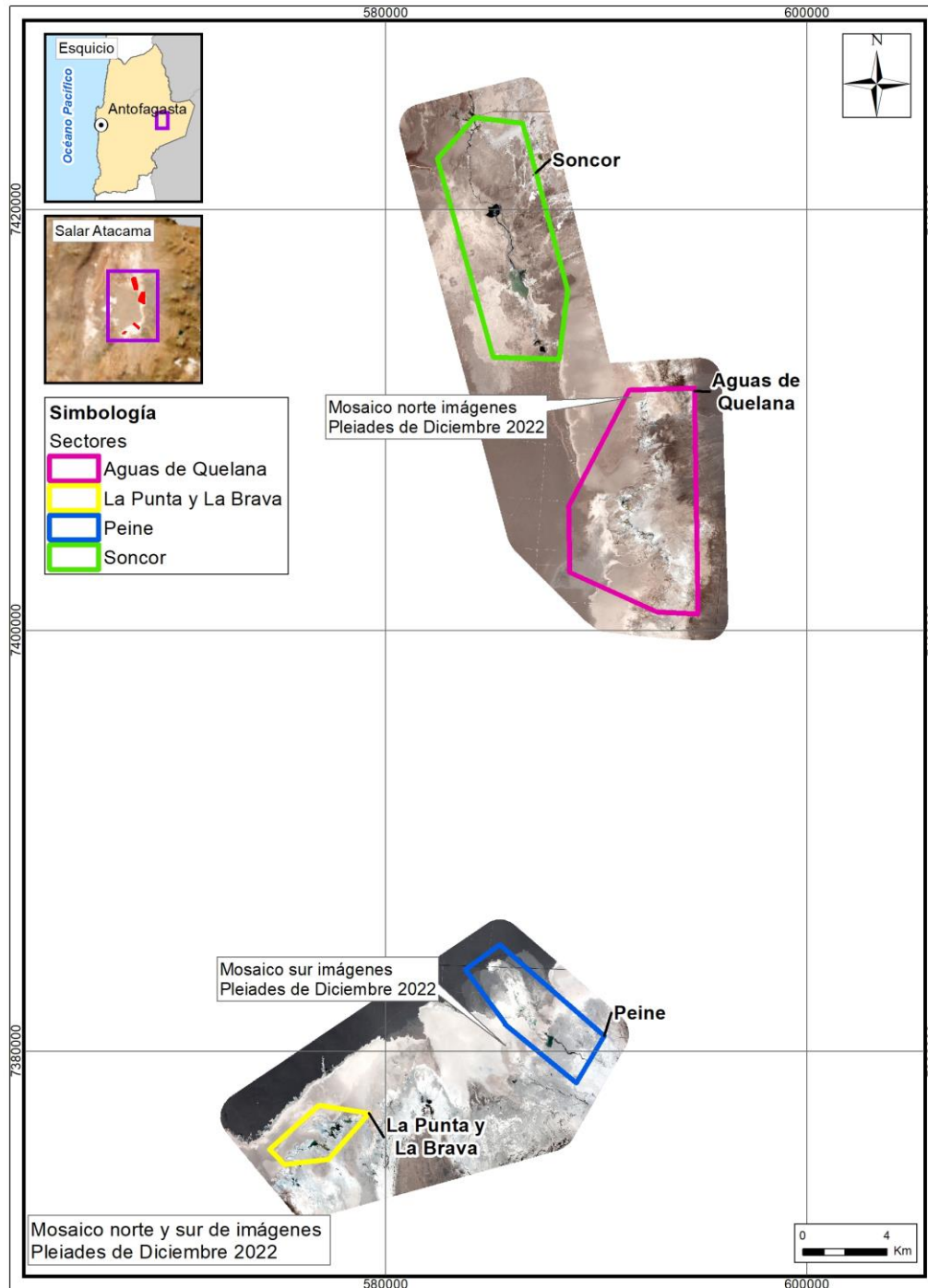
Fuente: Airbus Defense and Space. <http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf>. Revisada en agosto y diciembre 2022.

Figura N°4-2. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama, invierno 2022.



Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes alta resolución Pleiades 1-A (invierno 2022).

Figura N°4-3. Mosaicos norte y sur de imágenes de alta resolución Pleiades 1-A usados para la determinación de la cobertura de cuerpos de agua en sistemas lagunares del Salar de Atacama verano 2022.

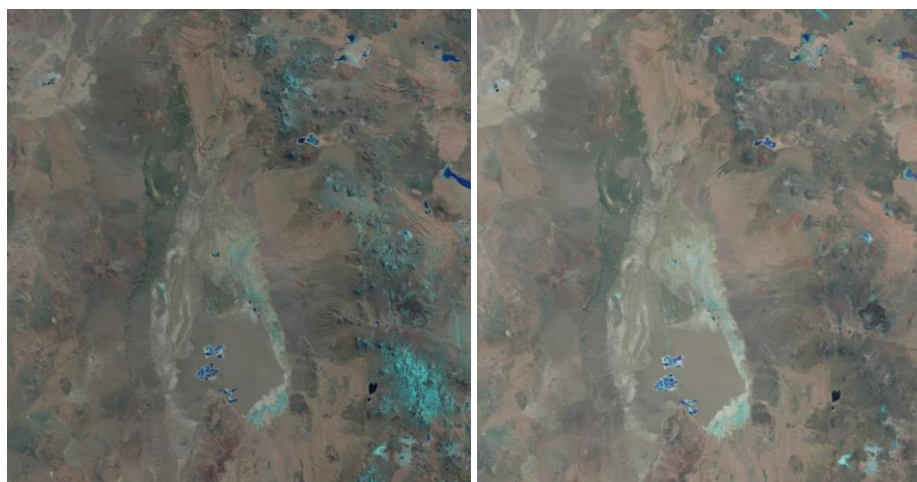


Fuente: Cedrem Consultores en base a imágenes alta resolución Pleiades 1-A (verano 2022).

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 **11 de agosto y 17 de diciembre de 2022**. 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 2022 (izquierda – RGB) y verano 2022 (derecha - RGB).



Fuente: United States Geological Survey USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Revisitada en agosto y diciembre de 2022.

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 2022.

4.6.3 Procesamiento de las imágenes satelitales

Tanto las imágenes Landsat 8, como las Pleiades 1-A 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 pixeles desde números digitales (ND) a unidades de radiancia espectral absoluta ($W / (m^2 * sr * \mu m)$)⁷. 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).

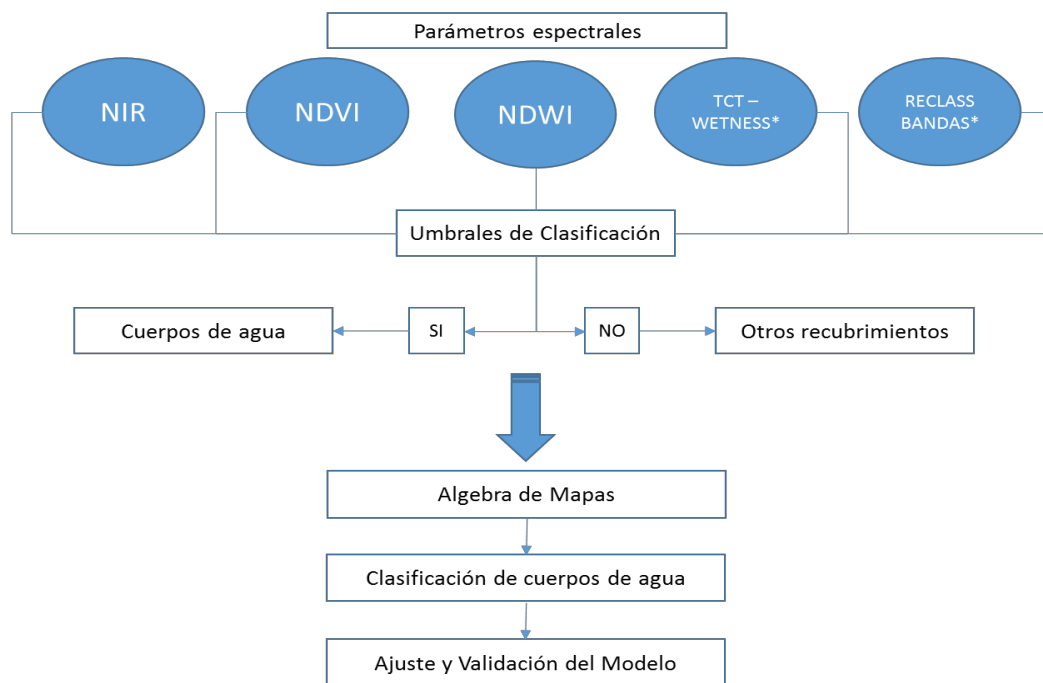
Posteriormente, las imágenes fueron ortorrectificadas para eliminar las distorsiones geométricas, producto de imperfecciones del sensor, la curvatura de la tierra y los efectos locales del relieve. Finalmente, en el caso de las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A, fueron unidas conformando dos mosaicos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

⁷ Dónde: W: Watts; m²: metro cuadrado; sr: estereorradián; μm : 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 1-A se utilizó la Reclasificación de bandas (Reclass Bands).

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 1-A 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 1-A.

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 1-A.

c. NIR - Reflectancia en la banda del infrarrojo cercano

La Banda NIR (Banda 5 en Landsat 8 y Banda 4 en Pleiades 1-A), 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 1-A.

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 1-A, 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 multiespectrales (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 1-A y Landsat 8, para la delimitación de cuerpos de agua en los sistemas lagunares del Salar de Atacama, agosto y diciembre de 2022.

| TIPO DE IMAGEN | ÍNDICE | SISTEMA LAGUNAR | | | |
|------------------------|---|---|---|---|--|
| | | LA PUNTA - LA BRAVA | PEINE | AGUAS DE QUELANA | SONCOR |
| Invierno 2022 | | | | | |
| Parámetros AR PLEIADES | NDWI NDVI NIR - B4 (B1<B2) Y (B3>B4) | P80 >= -0,039182 NB 14/20 <= 0,05719 NB 13/32 <= 0,284967 SI | NB 8/20 >= -0,047327 P5 <= 0,073299 NB 8/25 <= 0,260669 SI | NB 17/32 >= -0,095551 NB 14/32 <= 0,001372 NB 3/20 <= 0,157601 NO | NB 7/20 >= -0,115712 R 13/20 <= -0,017178 P5 <= 0,175779 SI |
| Parámetros LANDSAT 8 | NDWI NDVI NIR - B5 WETNESS | P85 >= -0,066361 P5 <= -0,020394992 R 6/15 <= 0,33332 NO | P90 >= -0,065212 P10 <= 0,012957 P5 <= 0,378303 R 8/20 >= 0,157359 | NB 15/20 >= -0,063905 NB 6/20 <= 0,008447 R 5/32 <= 0,262681 NO | NB 8/30 >= -0,018546 NB 21/30 <= -0,025076 P5 <= 0,283678 P75 >= 0,088689 |
| Verano 2022 | | | | | |
| Parámetros AR PLEIADES | NDWI NDVI NIR - B4 (B1<B2) Y (B3>B4) | NB 12/32 >= -0,010683792 NB 20/32 <= -0,011170713 P5 <= 0,400737413 SI | P80 >= -0,073055257 P5 <= 0,010230483 NB 3/9 <= 0,349059591 SI | NB 21/32 >= -0,037355631 NB 11/32 <= 0,005786904 NB 6/32 <= 0,273181523 NO | NB 8/20 >= -0,054526202 P5 <= 0,020851807 R 6/20 <= 0,321324384 SI |
| Parámetros LANDSAT 8 | NDWI NDVI NIR - B5 WETNESS | P95 >= -0,024327704 NB 18/32 <= -0,120971893 P5 <= 0,35846873 NO | NB 6/20 >= -0,017038599 NB 24/32 <= -0,036251398 P10 <= 0,363420921 R 11/20 >= 0,184934297 | NB 27/32 >= -0,078146062 NB 6/32 <= 0,020862897 NB 8/32 <= 0,293135562 NB 28/32 >= 0,222683543 | P90 >= -0,078351678 P5 <= 0,021356882 P5 <= 0,282587 P85 >= 0,075268 |

Dónde: Métodos de clasificación de datos: R: Intervalo equivalente (*Equal Interval*), NB: Quiébres 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*⁸, 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:

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

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

⁸ 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).

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 *acceptable* en término de exactitud, mayores a 0,6 sugieren un modelo *considerable* en la clasificación del recubrimiento de suelo obtenida.

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

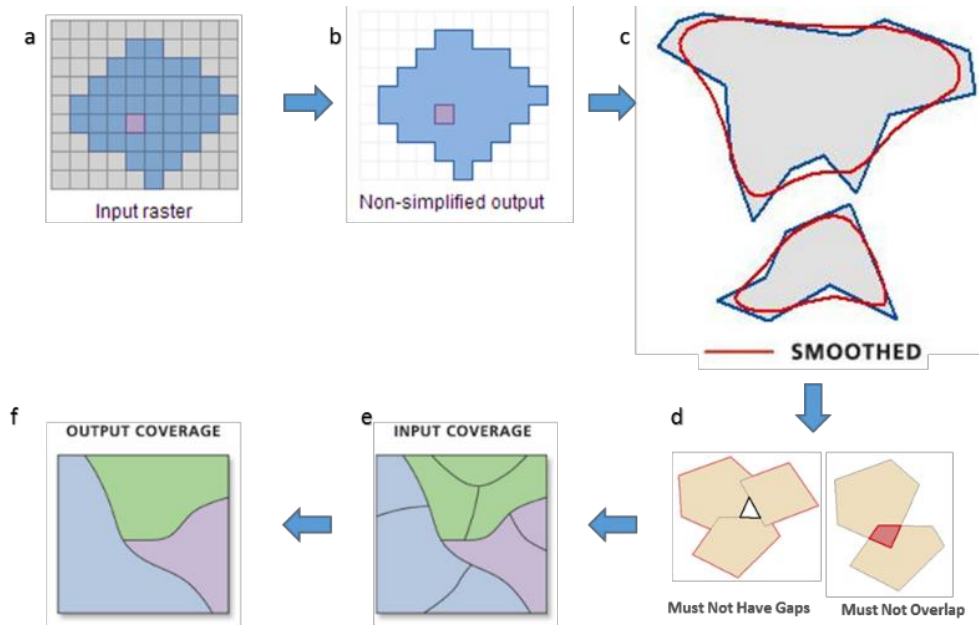
Posterior a obtener las coberturas de clasificación de los cuerpos de agua según el tipo de imagen satelital usada (Pleiades 1-A y Landsat 8) y por sistema lagunar, se procedió con la depuración de las coberturas. Este proceso consistió primero en la transformación de los datos desde formato *raster* 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 1-A y 0,09 ha en Landsat 8) y que estuvieran aislados a los cuerpos de agua dentro del sector de estudio, y que surgen de la intersección con el área de estudio y,
- ii) Revisión y ajuste de las cobertura, ante la presencia de errores topológicos, siguiendo el patrón espacial de los registros de los monitoreos de invierno y verano de 2022, 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 - 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 2022, 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 2022 desde las imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y Landsat 8.
- *Comparación entre monitoreos anuales:* se realizó una comparación entre los resultados de las superficies lagunares en el monitoreo 2022, con respecto a los resultados de los monitoreos entre 2016 y 2021.

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

4.8 Fechas de medición

Respecto a la campaña de invierno 2022, ésta se realizó los días **9 al 10 de agosto de 2022**. En forma paralela a la campaña de terreno se obtuvieron las imágenes Pleiades 1-A, el **16 de agosto de 2022** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **11 de agosto de 2022**.

La campaña de verano 2022, se realizó los días **12 al 15 de diciembre de 2022**; las imágenes Pleiades 1-A, se obtuvieron el **11 de diciembre de 2022** y las imágenes Landsat 8 fueron capturadas el **17 de diciembre de 2022**.

Para las áreas ubicados al norte, sectores 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, no se realizó vuelo UVA/dron y el trabajo de validación de puntos de muestreo fue por el método fotointerpretativo.

5 RESULTADOS

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

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 0,95 y 0,57 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°5-1) y desde 0,94 y 0,52 para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-2) en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, este índice tuvo una variación entre 0,87 y 0,41 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°5-3) y desde 0,81 a 0,46 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*⁹.

En relación a la precisión global, los valores tuvieron una variación entre 98% y 79% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°5-1) y entre 97% y 76% para imágenes de resolución media Landsat 8 (Tabla N°5-2) en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, la precisión global del modelo tuvo una variación entre 94% y 80% para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A (Tabla N°5-3) y desde 91% a 87% 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

⁹ 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).

promedio sobre el 80% muestran una alta concordancia de lo observado, con el resultado del método de clasificación supervisada.

El sistema lagunar que muestra mayor ajuste en agosto de 2022 desde imágenes Pleiades 1-A y Landsat 8, es el sector Soncor con 0,95 y 0,94, respectivamente. En el caso de los sistemas Soncor y Peine (con el segundo mejor ajuste según el índice *kappa*), la definición de los bordes lagunares y el confinamiento de los cuerpos de agua en áreas definidas permite al modelo delimitar mejor las áreas de ocupación resultando en *kappa casi perfecto*. El menor ajuste para agosto 2022 se observa en el sector Aguas de Quelana, para ambos tipos de sensores, con 0,57 en Pleiades 1-A y 0,52 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 2022, se observa en el sistema lagunar de Soncor con 0,87 para Pleiades 1-A y 0,81 para Landsat 8. Para Pleiades 1-A y Landsat 8 el menor ajuste lo presenta el sector La Punta - La Brava (0,41 y 0,46, 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). También ocurre con el retroceso de zonas inundadas con la exposición del sustrato que muchas veces está asociado a otros componentes, como microorganismos; o ante la discontinuidad de las inundaciones generando parches que no son captados como unidades independientes, aumentando el error en sitios de transición seca - húmeda. De acuerdo a lo anterior, lo que determinó un menor índice *kappa* en el sector La Punta - La Brava en el seguimiento 2022, está definido por la baja de los cuerpos lagunares, y por ello la generación de cuerpos de agua discontinuos (de pequeña magnitud) y la exposición de recubrimientos mixtos (sal - microorganismos), que generan una discordancia entre lo “captado” por el sensor y lo corroborado por especialistas en terreno.

Tabla N°5-1. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1-A: Matriz de confusión y el índice Kappa por sistema lagunar. Agosto, 2022.

| 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 - La Brava | Cuerpos de agua | 94 | 45 | 139 | 67,6 | 32,4 | |
| | Otros Recubrimientos | 3 | 163 | 166 | 98,2 | 1,8 | |
| | Total | 97 | 208 | 305 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 96,9 | 78,4 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 3,1 | 21,6 | - | - | Índice Kappa: | 0,67 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 84% |
| Peine | Cuerpos de agua | 119 | 5 | 124 | 96,0 | 4,0 | |
| | Otros Recubrimientos | 4 | 63 | 67 | 94,0 | 6,0 | |
| | Total | 123 | 68 | 191 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 96,7 | 92,6 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 3,3 | 7,4 | - | - | Índice Kappa: | 0,90 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 95% |
| Aguas de Quelana | Cuerpos de agua | 24 | 17 | 41 | 58,5 | 41,5 | |
| | Otros Recubrimientos | 1 | 42 | 43 | 97,7 | 2,3 | |
| | Total | 25 | 59 | 84 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 96,0 | 71,2 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 4,0 | 28,8 | - | - | Índice Kappa: | 0,57 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 79% |
| Soncor | Cuerpos de agua | 121 | 5 | 126 | 96,0 | 4,0 | |
| | Otros Recubrimientos | 1 | 129 | 130 | 99,2 | 0,8 | |
| | Total | 122 | 134 | 256 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 99,2 | 96,3 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 0,8 | 3,7 | - | - | Índice Kappa: | 0,95 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 98% |

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: 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, 2022.

| 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 - La Brava | Cuerpos de agua | 26 | 16 | 42 | 61,9 | 38,1 | |
| | Otros Recubrimientos | 3 | 52 | 55 | 94,5 | 5,5 | |
| | Total | 29 | 68 | 97 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 89,7 | 76,5 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 10,3 | 23,5 | - | - | Índice Kappa: | 0,59 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 80% |
| Peine | Cuerpos de agua | 114 | 3 | 117 | 97,4 | 2,6 | |
| | Otros Recubrimientos | 11 | 54 | 65 | 83,1 | 16,9 | |
| | Total | 125 | 57 | 182 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 91,2 | 94,7 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 8,8 | 5,3 | - | - | Índice Kappa: | 0,83 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 92% |
| Aguas de Quelana | Cuerpos de agua | 23 | 19 | 42 | 54,8 | 45,2 | |
| | Otros Recubrimientos | 1 | 41 | 42 | 97,6 | 2,4 | |
| | Total | 24 | 60 | 84 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 95,8 | 68,3 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 4,2 | 31,7 | - | - | Índice Kappa: | 0,52 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 76% |
| Soncor | Cuerpos de agua | 112 | 3 | 115 | 97,4 | 2,6 | |
| | Otros Recubrimientos | 4 | 114 | 118 | 96,6 | 3,4 | |
| | Total | 116 | 117 | 233 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 96,6 | 97,4 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 3,4 | 2,6 | - | - | Índice Kappa: | 0,94 |
| | | | | | | 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 del muestreo: 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°5-3. Validación de la clasificación supervisada de cuerpos de agua desde imágenes satelitales Pleiades 1-A: Matriz de confusión y el índice *Kappa* por sistema lagunar. Diciembre de 2022.

| 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 - La Brava | Cuerpos de agua | 31 | 59 | 90 | 34,4 | 65,6 | |
| | Otros Recubrimientos | 2 | 213 | 215 | 99,1 | 0,9 | |
| | Total | 33 | 272 | 305 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 93,9 | 78,3 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 6,1 | 21,7 | - | - | Índice Kappa: | 0,41 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 80% |
| Peine | Cuerpos de agua | 89 | 28 | 117 | 76,1 | 23,9 | |
| | Otros Recubrimientos | 0 | 74 | 74 | 100,0 | 0,0 | |
| | Total | 89 | 102 | 191 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 100,0 | 72,5 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 0,0 | 27,5 | - | - | Índice Kappa: | 0,71 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 85% |
| Aguas de Quelana | Cuerpos de agua | 9 | 11 | 20 | 45,0 | 55,0 | |
| | Otros Recubrimientos | 2 | 62 | 64 | 96,9 | 3,1 | |
| | Total | 11 | 73 | 84 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 81,8 | 84,9 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 18,2 | 15,1 | - | - | Índice Kappa: | 0,50 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 85% |
| Soncor | Cuerpos de agua | 94 | 16 | 110 | 85,5 | 14,5 | |
| | Otros Recubrimientos | 0 | 146 | 146 | 100,0 | 0,0 | |
| | Total | 94 | 162 | 256 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 100,0 | 90,1 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 0,0 | 9,9 | - | - | Índice Kappa: | 0,87 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 94% |

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: 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°5-4. 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 2022.

| 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 - La Brava | Cuerpos de agua | 7 | 13 | 20 | 35,0 | 65,0 | |
| | Otros Recubrimientos | 0 | 77 | 77 | 100,0 | 0,0 | |
| | Total | 7 | 90 | 97 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 100,0 | 85,6 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 0,0 | 14,4 | - | - | Índice Kappa: | 0,46 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 87% |
| Peine | Cuerpos de agua | 90 | 20 | 110 | 81,8 | 18,2 | |
| | Otros Recubrimientos | 3 | 69 | 72 | 95,8 | 4,2 | |
| | Total | 93 | 89 | 182 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 96,8 | 77,5 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 3,2 | 22,5 | - | - | Índice Kappa: | 0,75 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 87% |
| Aguas de Quelana | Cuerpos de agua | 9 | 8 | 17 | 52,9 | 47,1 | |
| | Otros Recubrimientos | 0 | 67 | 67 | 100,0 | 0,0 | |
| | Total | 9 | 75 | 84 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 100,0 | 89,3 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 0,0 | 10,7 | - | - | Índice Kappa: | 0,64 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 90% |
| Soncor | Cuerpos de agua | 89 | 7 | 96 | 92,7 | 7,3 | |
| | Otros Recubrimientos | 15 | 122 | 137 | 89,1 | 10,9 | |
| | Total | 104 | 129 | 233 | - | - | |
| | Exactitud de Campo (%) | 85,6 | 94,6 | - | - | - | |
| | ***Error omisión (%) | 14,4 | 5,4 | - | - | Índice Kappa: | 0,81 |
| | | | | | | Precisión global (OA): | 91% |

Dónde: * número de puntos verificados en terreno – *in situ* – o fotointerpretados, en donde hubo coincidencia con la información del modelo **Exactitud del muestreo: 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 2022, se observa que la mayor cobertura tanto en invierno 2022 como en verano 2022, son para el sector Soncor con 190,1 ha y 135,5 ha desde Pleiades 1-A; y de 196,3 y 184,8 desde Landsat 8, respectivamente. En tanto, las menores superficies observadas desde el análisis con Landsat 8 y Pleiades 1-A, se presentaron en el sector Aguas de Quelana, en invierno 2022 y verano 2022.

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 1-A) 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 1-A y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (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 2022 | | | |
|---|-----------------|---|-------------|--|----------------|-------------|----------------|
| | | Máximo (ha) | Mínimo (ha) | Invierno 2022 | | Verano 2022 | |
| | | | | ha | m ² | ha | m ² |
| Superficies Pleiades 1-A de alta resolución | LP LB | 35 | 31,6 | 45,1 | 451.057 | 25,3 | 253.216 |
| | PE | 73,6 | 48,9 | 50,5 | 504.796 | 24,2 | 242.284 |
| | AQ | 33,1 | 11,3 | 18,3 | 183.019 | 6,2 | 62.322 |
| | SO | 234,2 | 192,4 | 190,1 | 1.900.976 | 135,5 | 1.354.906 |

Dónde: PB: La Punta – La Brava, PE: Peine; AQ: Aguas de Quelana; SO: Soncor. 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 2022 (invierno y verano), respecto de los registros de línea de base (Adenda 5 RWL, 2015).

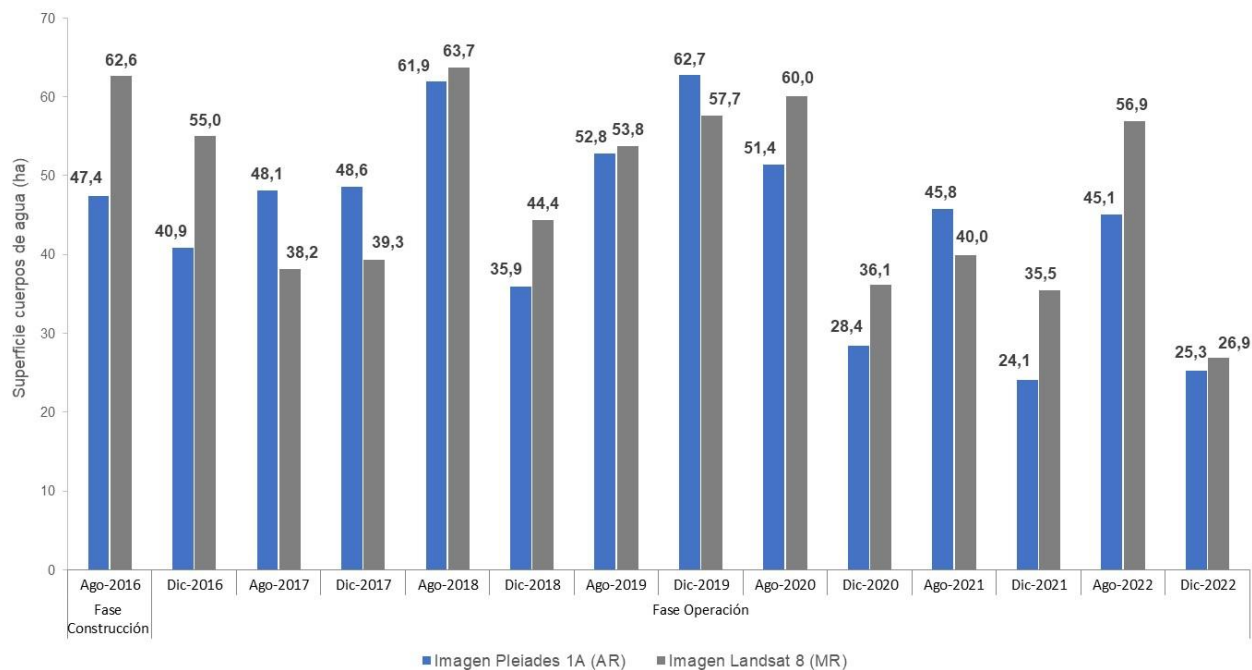
| Tipo de imagen | Sistema Lagunar | Superficies de registros históricos (Adenda5 RWL, 2015)* | | Superficies sistemas lagunares – Monitoreos Año 2022 | | | |
|---|-----------------|--|-------------|--|----------------|-------------|----------------|
| | | Máximo (ha) | Mínimo (ha) | Invierno 2022 | | Verano 2022 | |
| | | | | ha | m ² | ha | m ² |
| Superficies Landsat 8 de media resolución | LP LB | - | - | 56,9 | 569.345 | 26,9 | 269.378 |
| | PE | - | - | 62,8 | 628.203 | 27,7 | 276.620 |
| | AQ | - | - | 36,0 | 360.039 | 17,8 | 177.829 |
| | SO | - | - | 196,3 | 1.962.905 | 184,8 | 1.848.238 |

Dónde: PB: La Punta – La Brava, PE: Peine; AQ: Aguas de Quelana; SO: Soncor. Superficies de línea de base calculadas desde alta resolución, lo que no es comparable con imágenes de mediana resolución (L8). Fuente: Cedrem Consultores.

5.2.1 La Punta - La Brava

En el sistema lagunar La Punta - La Brava, la cobertura de cuerpos de agua estimada a partir de imágenes satelitales de alta resolución Pleiades 1-A en agosto de 2022 es de 45,1 ha y en diciembre 2022 abarca una superficie de 25,3 ha (Tabla N°5-5; Figura N°5-2). La Figura N°5-1 y Figura N°5-3 muestran los resultados gráficos y numéricos de las superficies monitoreadas entre 2016 a 2022, 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 - 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 56,9 ha en agosto de 2022, y en diciembre 2022 se calculó que la superficie de estos cuerpos es de 26,9 ha. Los valores de agosto 2022, en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +26,2% (+11,8 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).

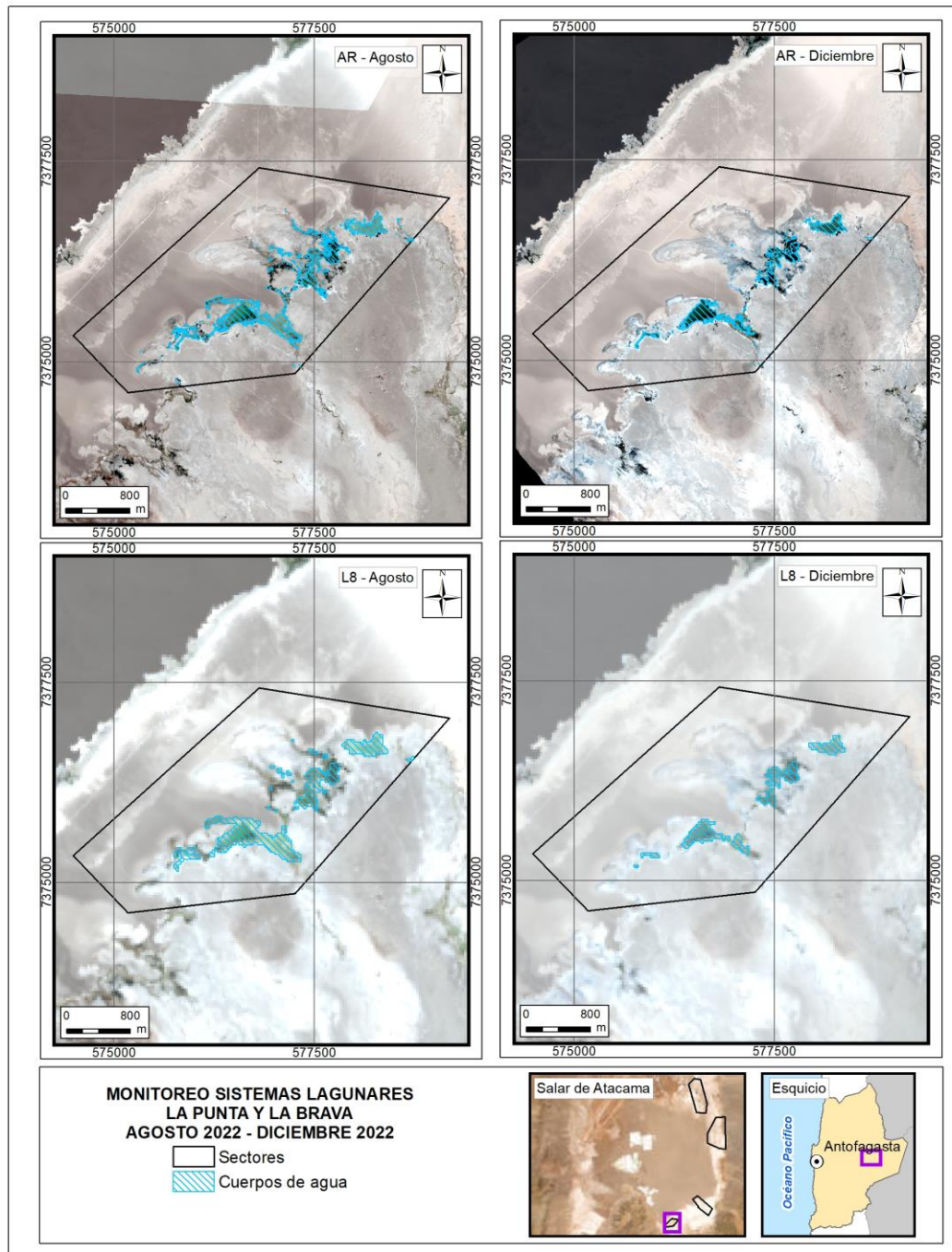
La correlación entre las superficies desde 2016 a 2022 en el sector La Punta - La Brava, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de

correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,744¹⁰ lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor p es de 0,002, lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

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 mayor detalle gráfico de las superficies AR ver Anexo Variaciones Anuales Superficies Sector/Monitoreo 2016 - 2022)**. Para el sector de La Punta - La Brava, se observan variaciones cíclicas interanuales (estacional), 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. De estas imágenes se puede ver que el aumento de los cuerpos de agua se produce en las superficies de ocupación no permanentes y zonas ribereñas; en estos casos las precipitaciones dan como resultado un aumento de las superficies observadas, las cuales tienen una condición no persistente, concentrándose en los bordes del cuerpo de la laguna La Brava e inundaciones menores cercanas a la cuña salina.

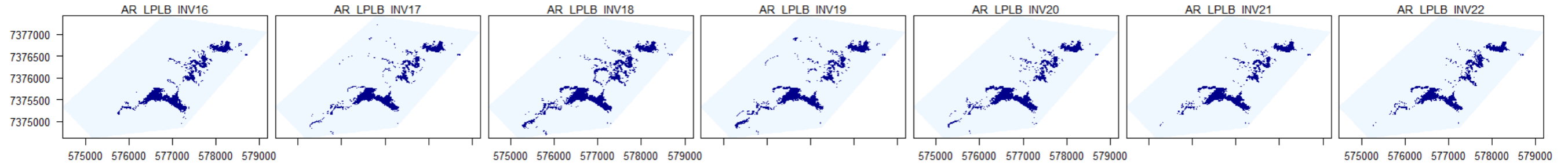
¹⁰ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N°5-2. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar La Punta - La Brava, agosto 2022 – diciembre 2022.



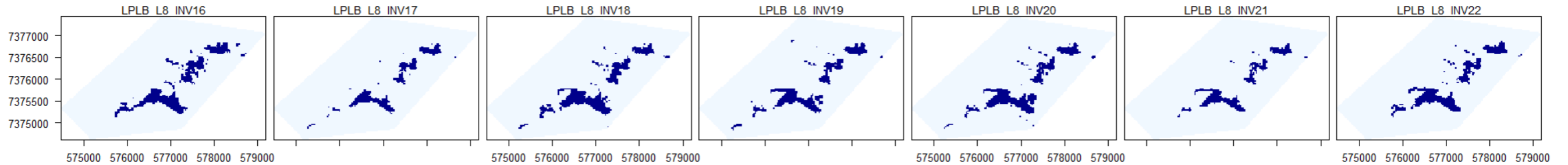
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2022 y diciembre de 2022.

Figura N°5-3. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



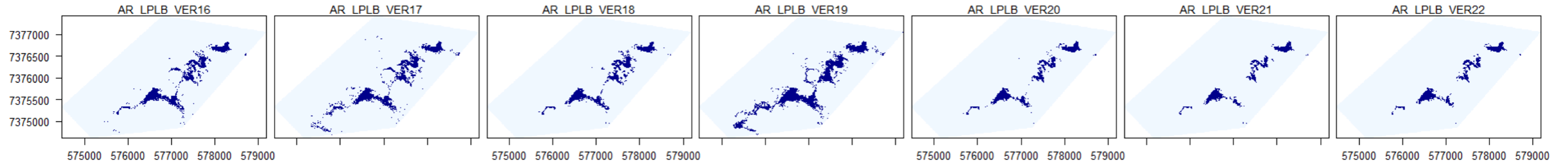
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022

Figura N°5-4. Registros de superficies lagunares de seguimiento (inviernos 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.



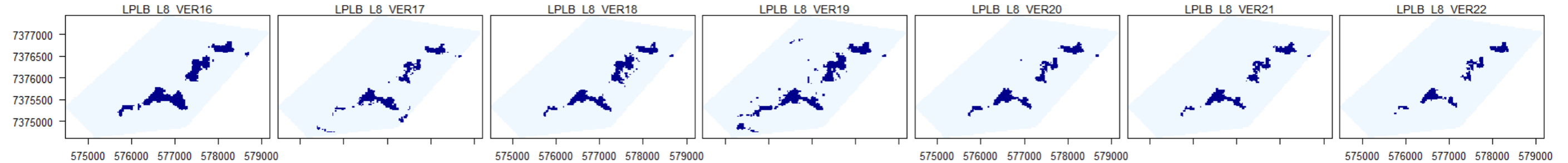
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022

Figura N°5-5. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022

Figura N°5-6. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector La Punta - La Brava, a partir de imágenes Landsat 8.

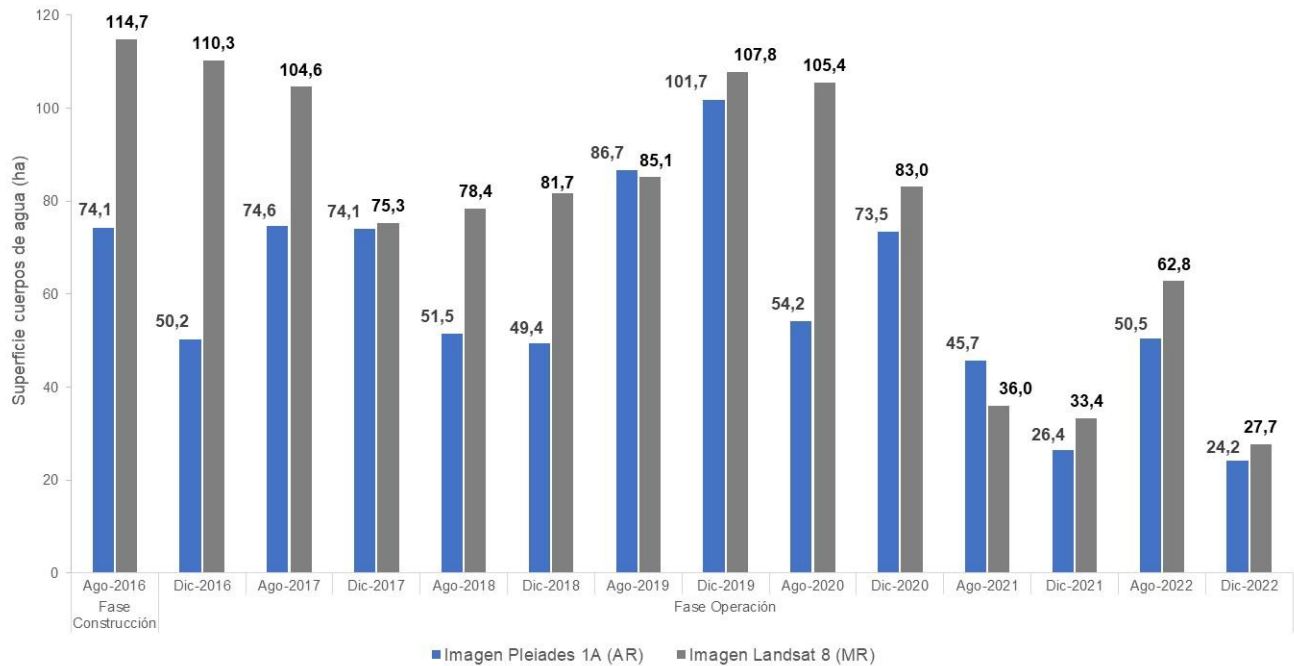


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022

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 1-A en agosto de 2022 es de 50,5 ha y en diciembre 2022 abarca una superficie de 24,2 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 2022, 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 62,8 ha en agosto de 2022; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat sobre Pleiades de un +24,4% (+12,3 ha) para este periodo. Para las imágenes de diciembre 2022 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 27,7 ha, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades de un +14,5% (+3,5 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.

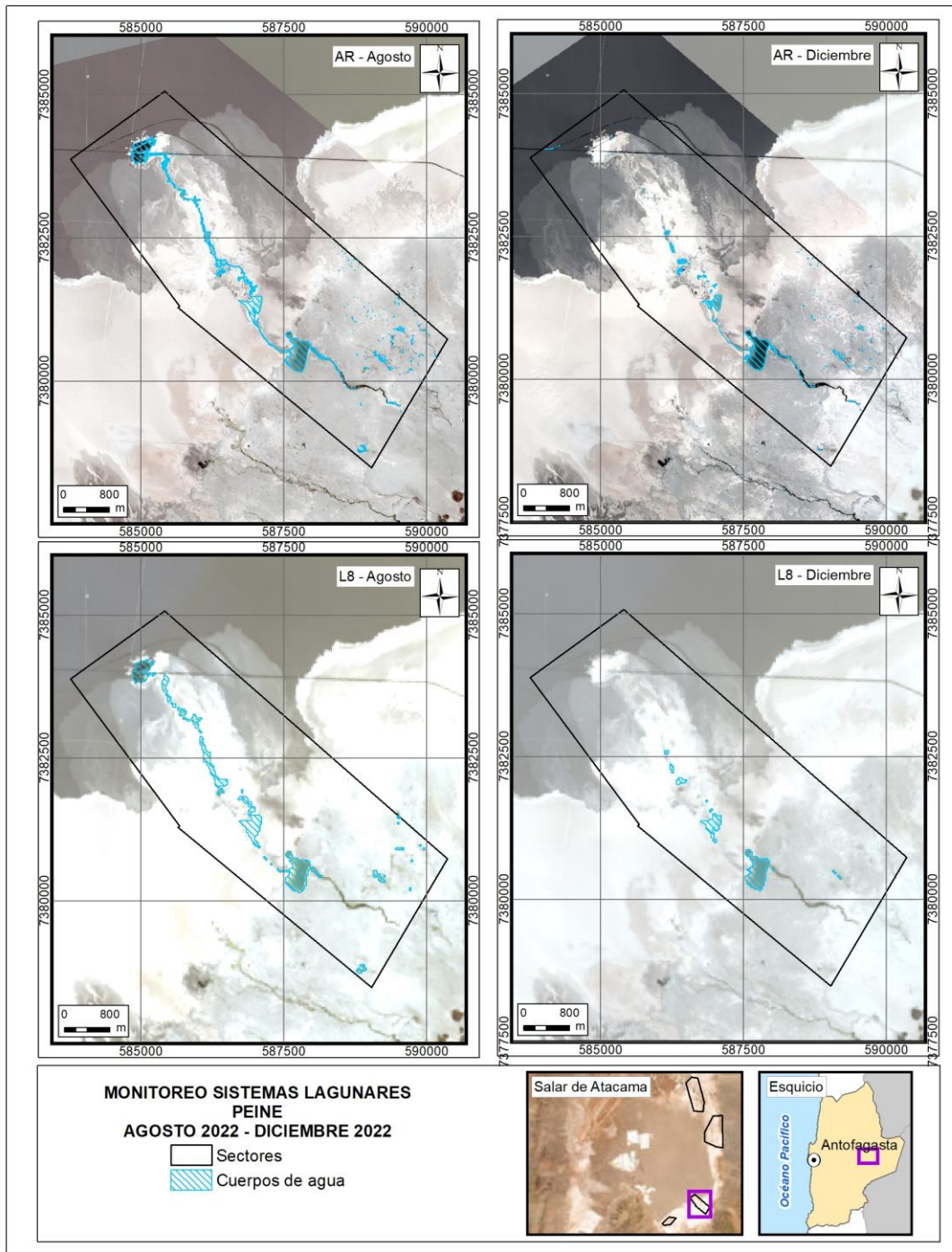
La correlación entre las superficies del sector Peine desde 2016 a 2022, calculadas desde de alta resolución (Pleiades) y desde media resolución (Landsat), y según el coeficiente de correlación de

Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,700¹¹ lo que indica una relación positiva moderada entre variables; mientras que el valor p es de 0,005 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

Las Figura 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 mayor detalle gráfico de las superficies AR ver Anexo Variaciones Anuales Superficies Sector/Monitoreo 2016 - 2022)**. Entre las principales diferencias entre registros, se observa un aumento de las superficies de los cuerpos de agua en el registro de invierno 2018 y verano 2019; además, el subsector Laguna Interna no presenta superficie de agua para las temporadas de diciembre 2021 y diciembre 2022, lo que se extiende a sus canales de conexión con el subsector de Laguna Salada, que también muestra un retroceso de sus zonas de inundación. En la temporada de invierno, se observan variaciones en los canales de alimentación sur – norte a laguna Salada, canal de orientación sur – norte de laguna Salada a Laguna Saladita y bordes de laguna Saladita y en Laguna Interna principalmente de la sección final norte, específicamente en los años agosto 2021 y agosto 2022.

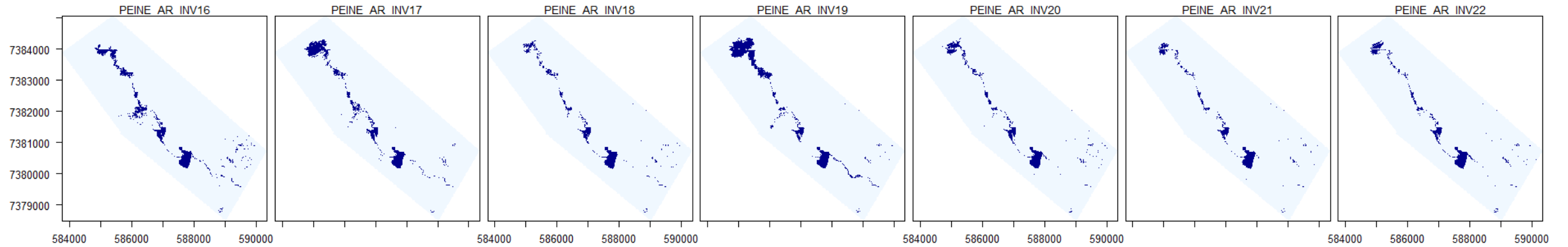
¹¹ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N°5-8. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Peine, agosto – diciembre 2022.



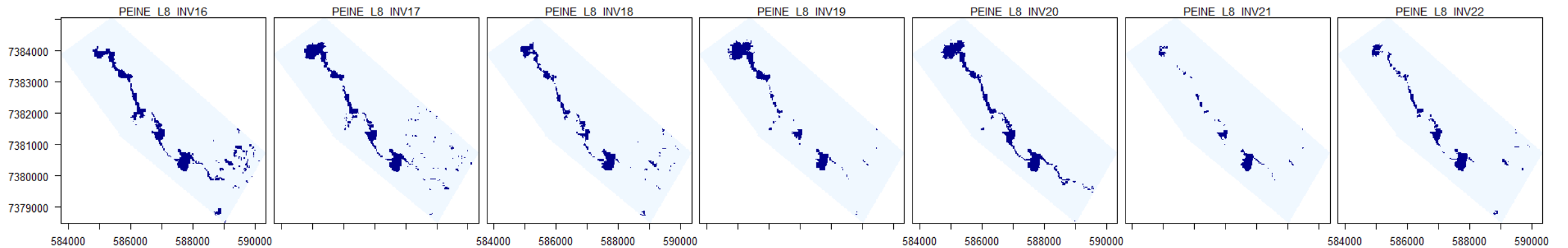
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2022.

Figura N°5-9. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



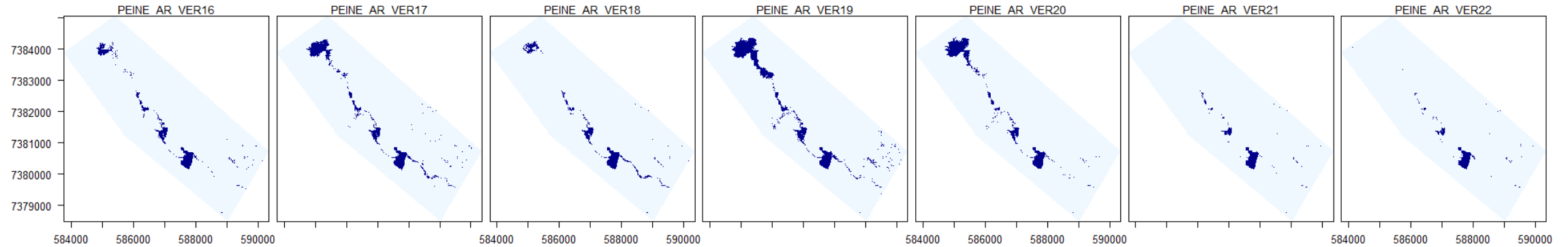
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-10. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.



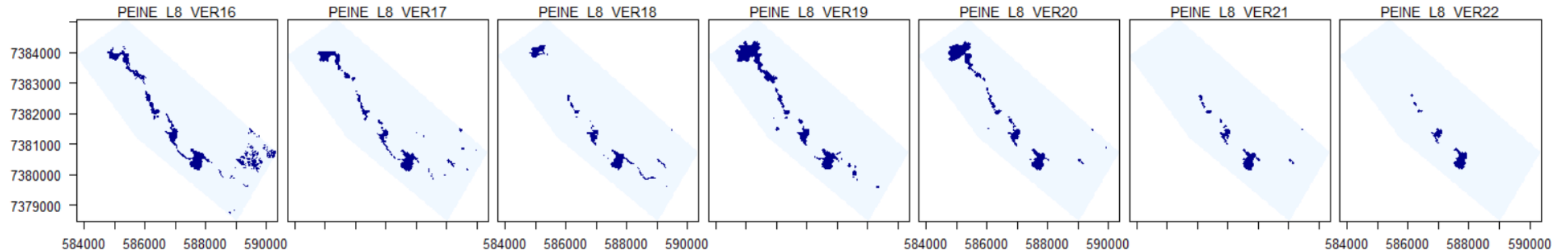
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-11. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022.

Figura N°5-12. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Peine, a partir de imágenes Landsat 8.

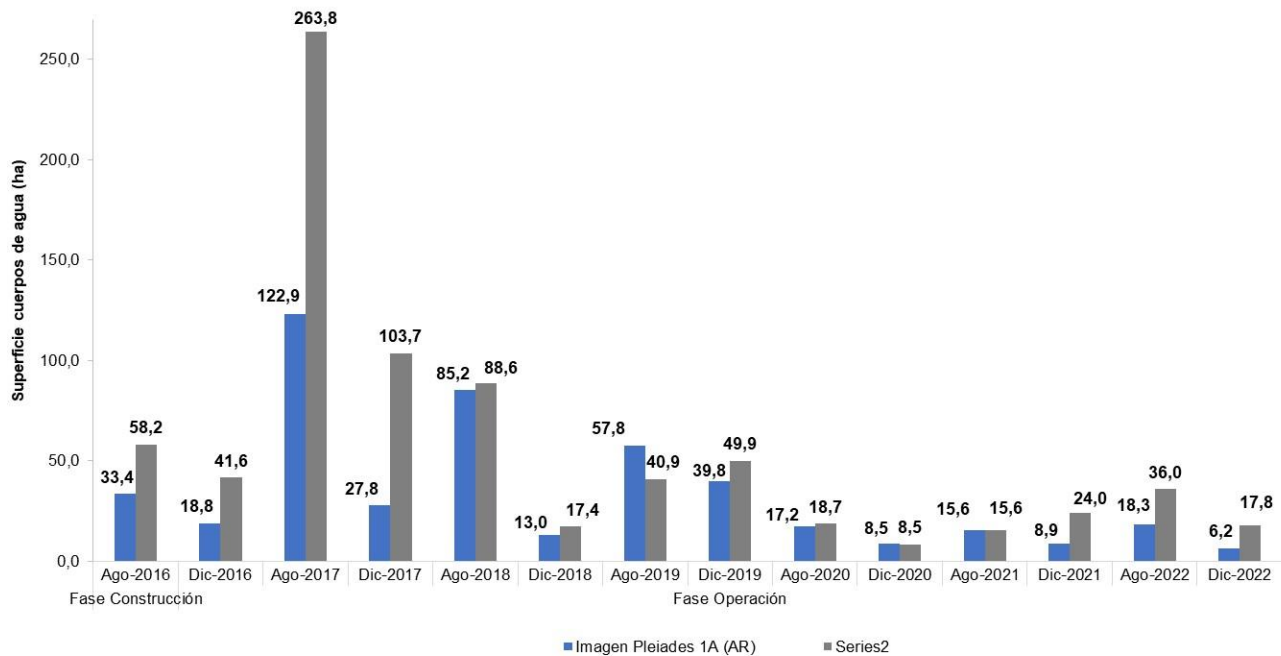


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a diciembre 2022.

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 1-A en agosto de 2022 es de 18,3 ha y en diciembre 2022 abarca una superficie de 6,2 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 2022, 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 36,0 ha en agosto de 2022; estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de 17,7 ha entre Landsat 8 y Pleiades 1-A para este periodo. Para las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 17,8 ha en diciembre de 2022, estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1-A de 11,6 ha para este periodo. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que también en este sector las principales diferencias son atribuibles a la resolución espacial de las imágenes de media 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 1-A, 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 1-A. Sin

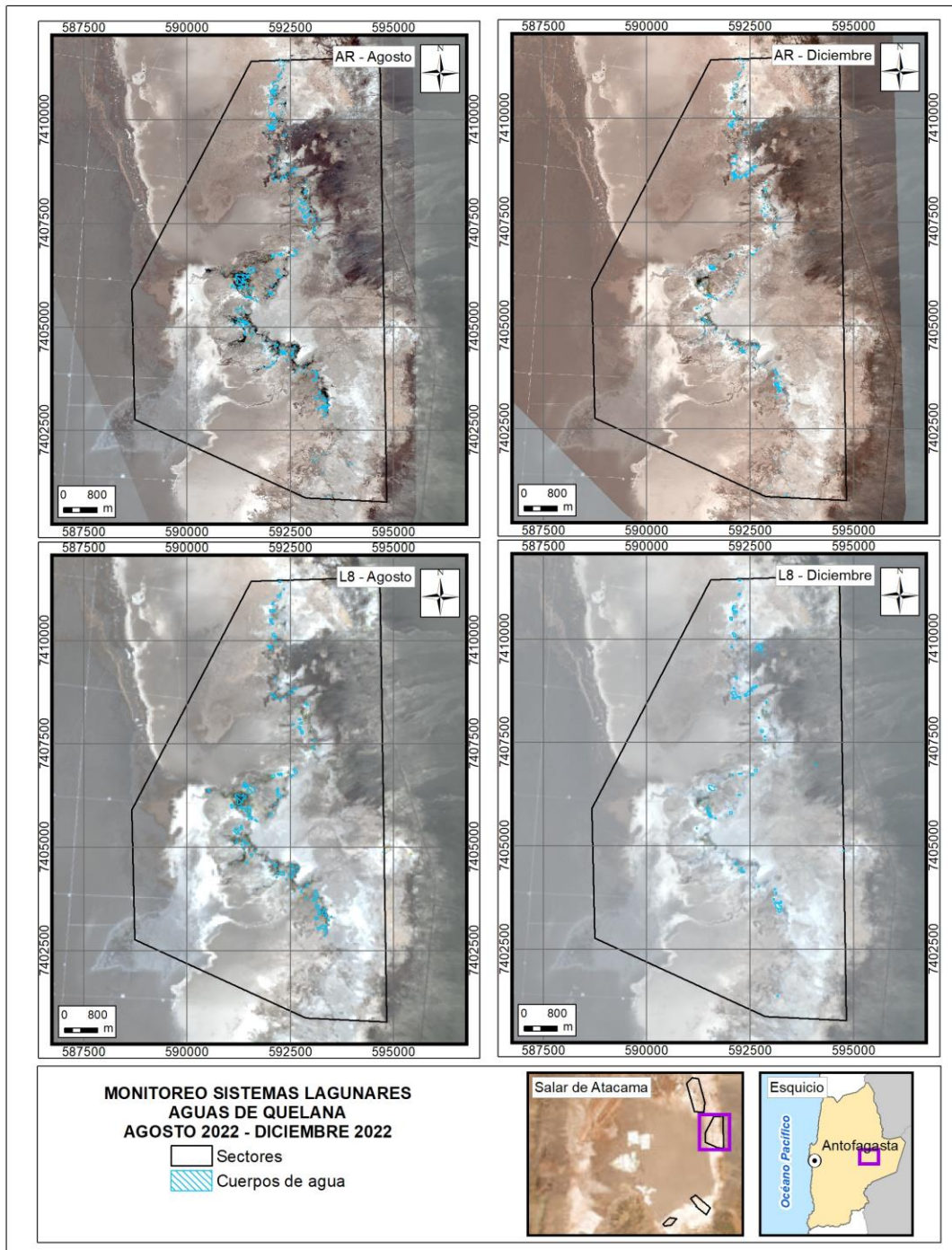
embargo, el ajuste del modelo en monitoreos sucesivos ha ido acortando las diferencias entre imágenes, llegando a un ajuste que no sobrepasa las 24,8 ha para los inviernos y 22,8 ha para los veranos (diferencias máximas), muy por debajo del caso particular de 2017. Esto fundamentalmente con el rastreo continuo del área (validación en terreno y/o fotointerpretación), que ha permitido delimitar zonas espectralmente difusas y generar mejor clasificación de los recubrimientos del suelo.

La correlación entre las superficies del sector Aguas de Quelana desde 2016 a 2022, 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 0,873¹² lo que indica una relación positiva alta entre variables; mientras que el *valor p* es de 0,000, lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades y Landsat.

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 2022, y su representación espacial respectivamente **(Para mayor detalle gráfico de las superficies AR ver Anexo Variaciones Anuales Superficies Sector/Monitoreo 2016 - 2022)**. Entre las principales diferencias entre registros, se observa la disminución de los pequeños cuerpos de agua que se reparten en faja central del área de estudio, asociadas principalmente con vegetación ribereña, y la contracción de zonas de inundación que surgen de la interconexión de estos pequeños cuerpos.

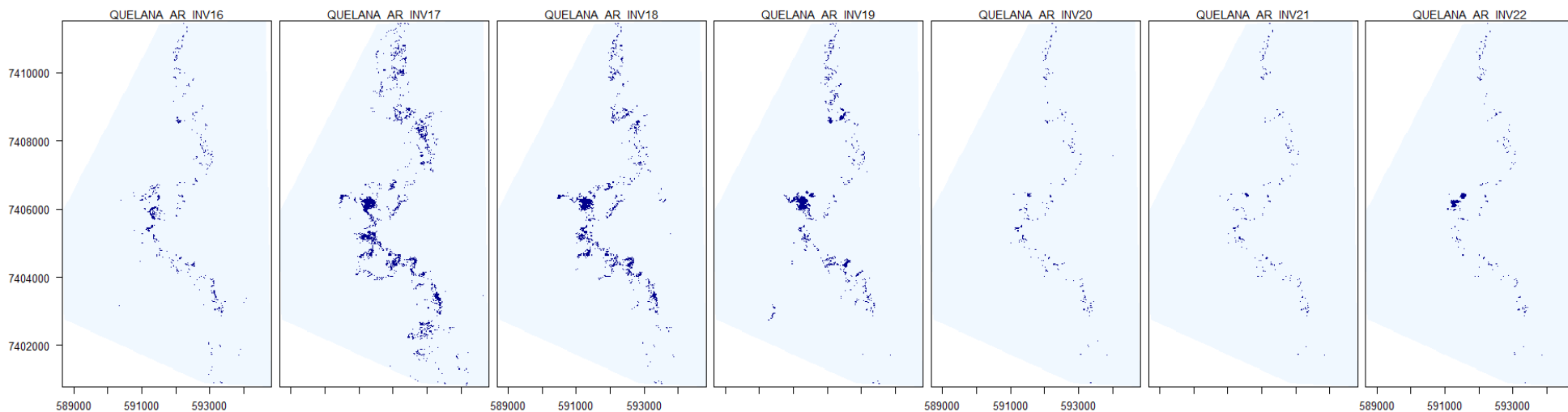
¹² El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a +1. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N°5-14. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Aguas de Quelana, agosto – diciembre 2022.



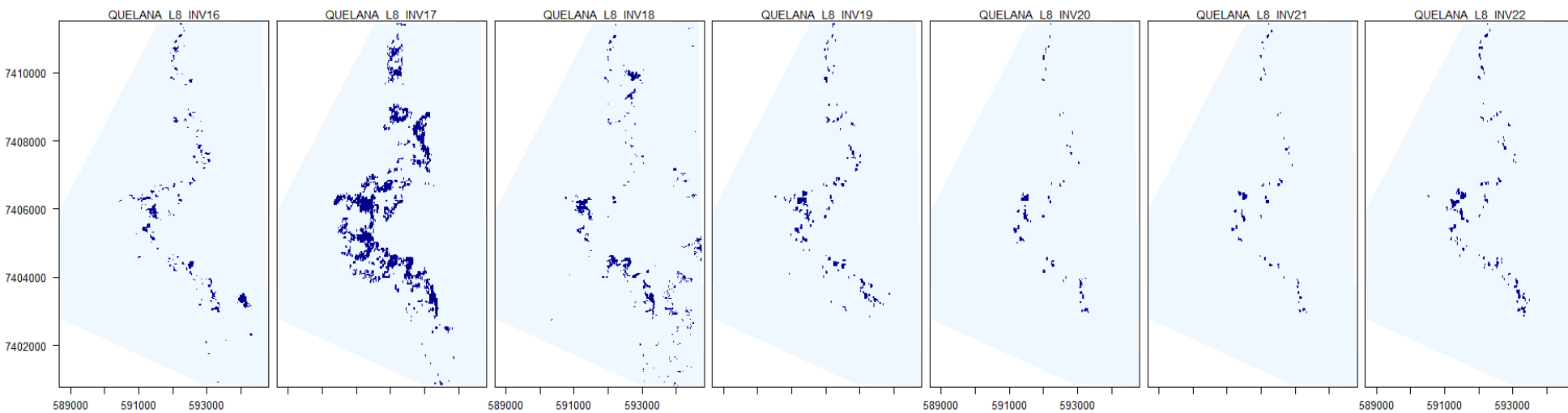
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2022.

Figura N°5-15. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, a partir de Pleiades 1-A.



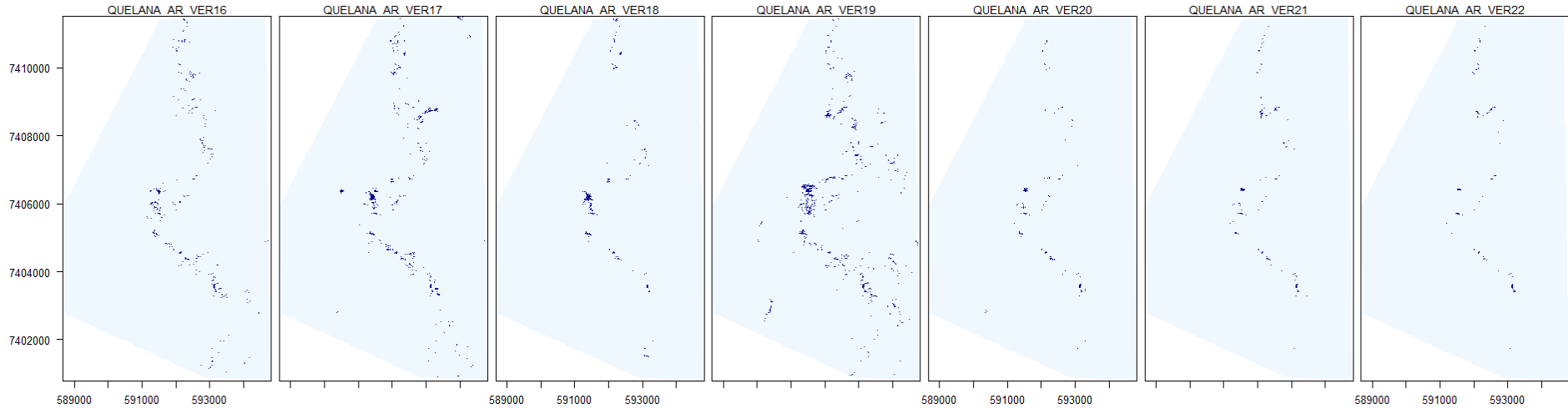
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-16. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, de imágenes Landsat 8.



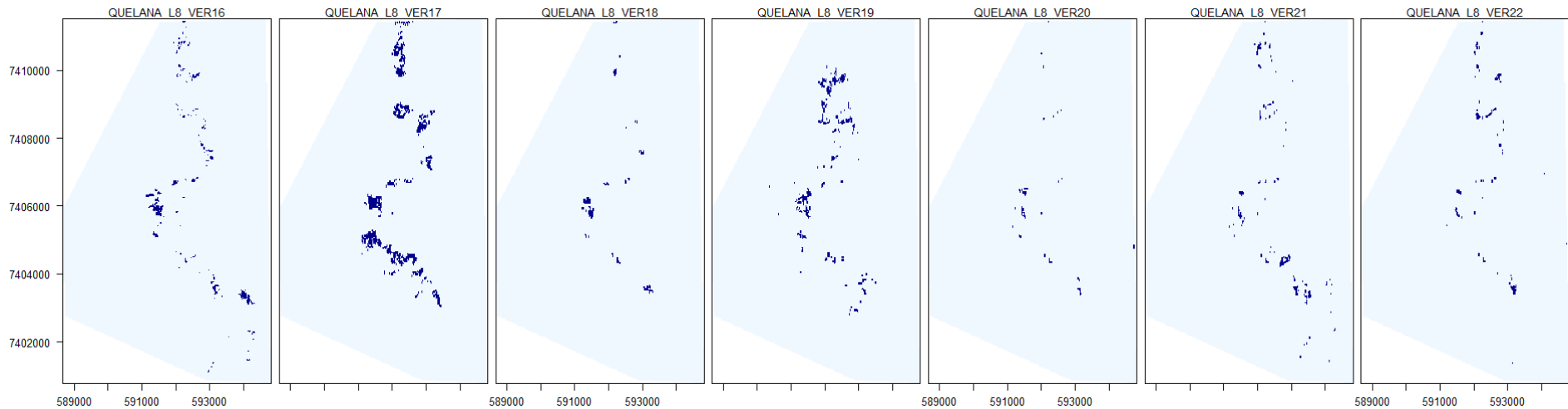
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-17. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2022.

Figura N°5-18. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos (diciembre 2016 a 2022), sector Aguas de Quelana, Landsat 8.

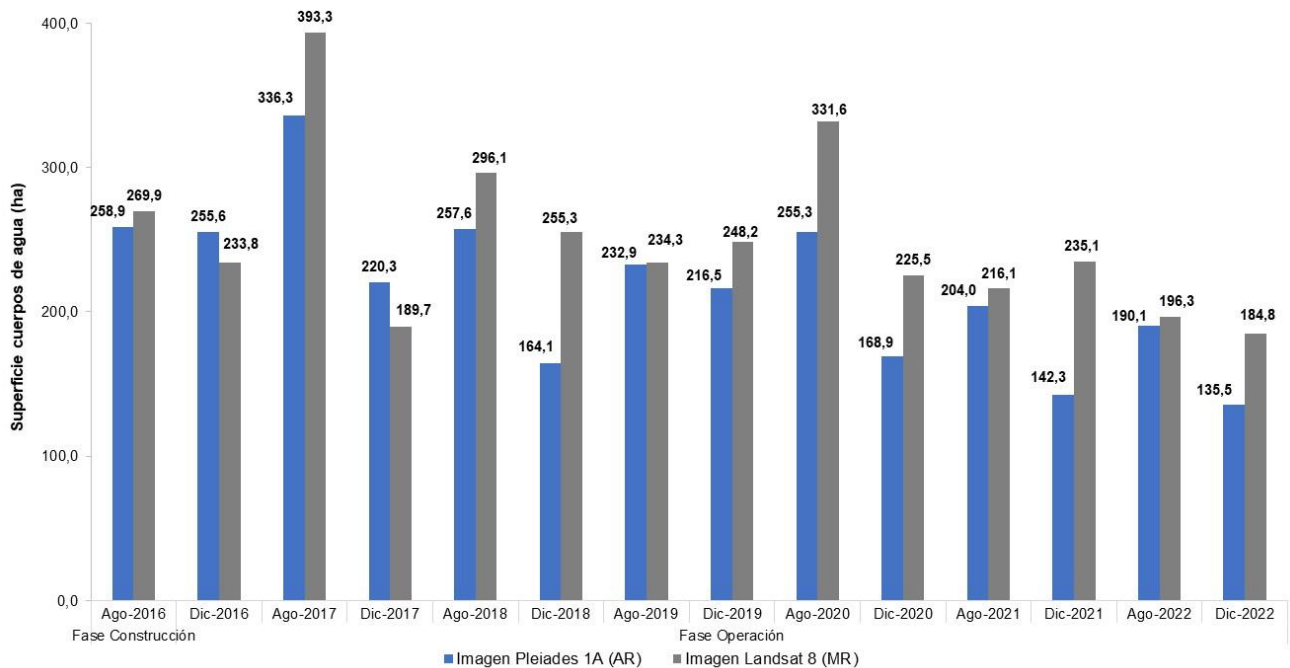


Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2022.

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 1-A en agosto de 2022 es de 190,1 ha y en diciembre 2022 abarca una superficie de 135,5 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 2022, 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.

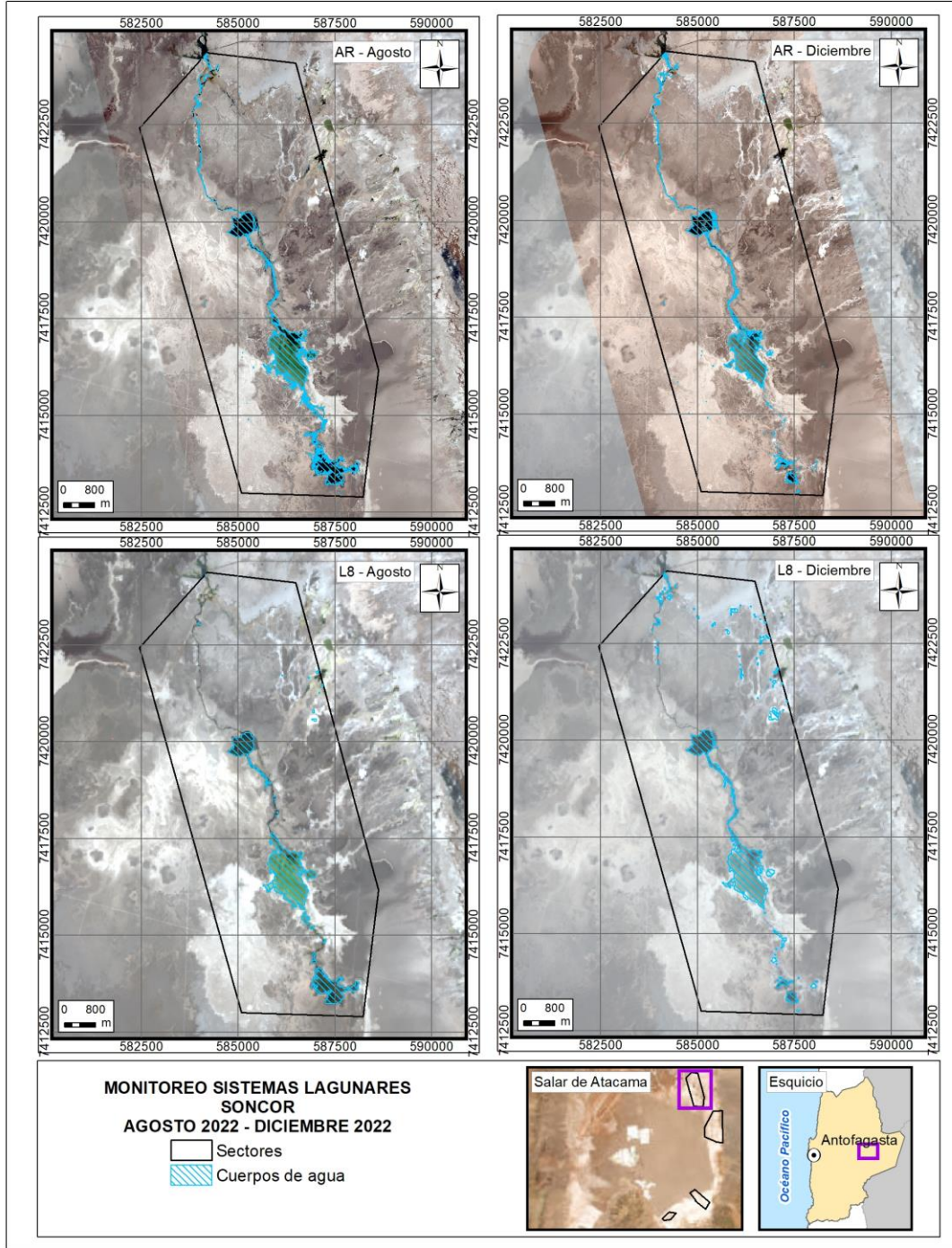
En este sistema lagunar, desde las imágenes Landsat 8 se calculó que la cobertura de cuerpos de agua abarca una superficie de 196,3 ha en agosto de 2022 y 184,8 ha en diciembre de 2022. Estos valores en comparación con los verificados para Pleiades 1-A, muestran una diferencia de Landsat 8 sobre Pleiades 1-A de 6,2 ha para agosto de 2022 y de 49,3 ha para verano de 2022. Según los resultados observados por tipo de imagen, se observa que las principales diferencias son atribuibles principalmente a la resolución espacial de las imágenes Landsat 8, 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 están mejor ajustados.

La correlación entre las superficies del sector Soncor desde 2016 a 2022, calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1-A) y desde media resolución (Landsat 8), y según el coeficiente de correlación de Pearson, muestra que las variables tienen una correlación de 0,758¹³ lo que indica una relación positiva entre variables; mientras que el valor p es de 0,002 lo que indica que existe significancia estadística de la asociación entre las variables Pleiades 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 2022, y su representación espacial respectivamente **(Para mayor detalle gráfico de las superficies AR ver Anexo Variaciones Anuales Superficies Sector/Monitoreo 2016 - 2022)**. Para el sector de Soncor, las principales diferencias entre monitoreos se observan en la zona sur del sistema y por derrames de la laguna Barros Negros al sector de entrada oeste, cuyas variaciones contribuyen aumentando o disminuyendo las superficies calculadas para los cuerpos de agua.

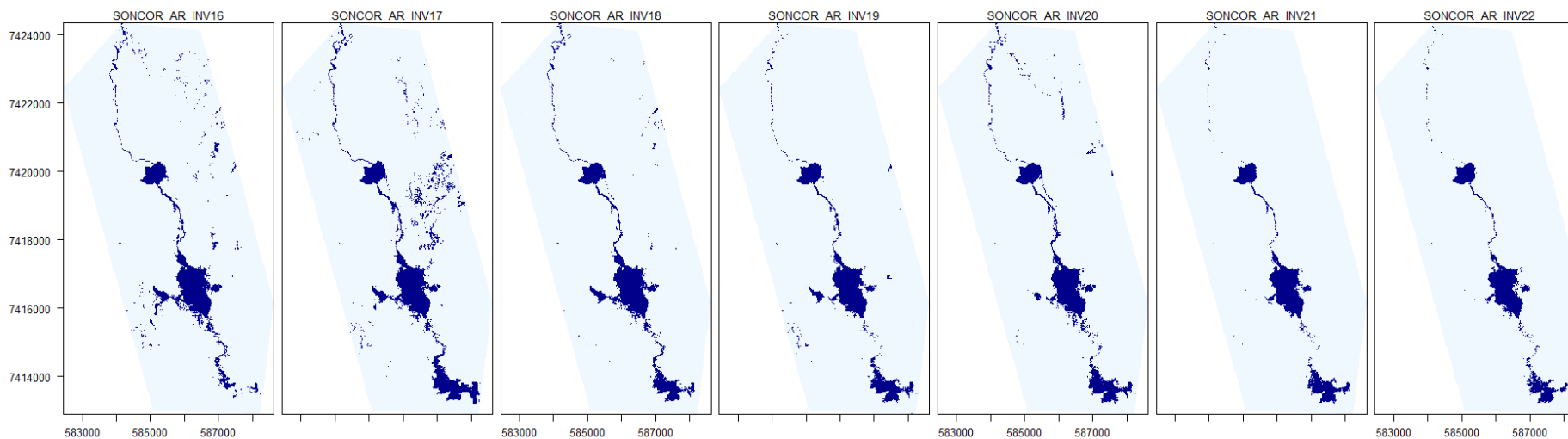
¹³ El valor del coeficiente de correlación puede variar de -1 a $+1$. Un valor absoluto de 1 indica una relación lineal perfecta. Una correlación cercana a 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

Figura N°5-20. Cobertura de cuerpos de agua determinada a través de imágenes satelitales Pleiades 1-A y Landsat 8 en el sistema lagunar Soncor, agosto – diciembre 2022.



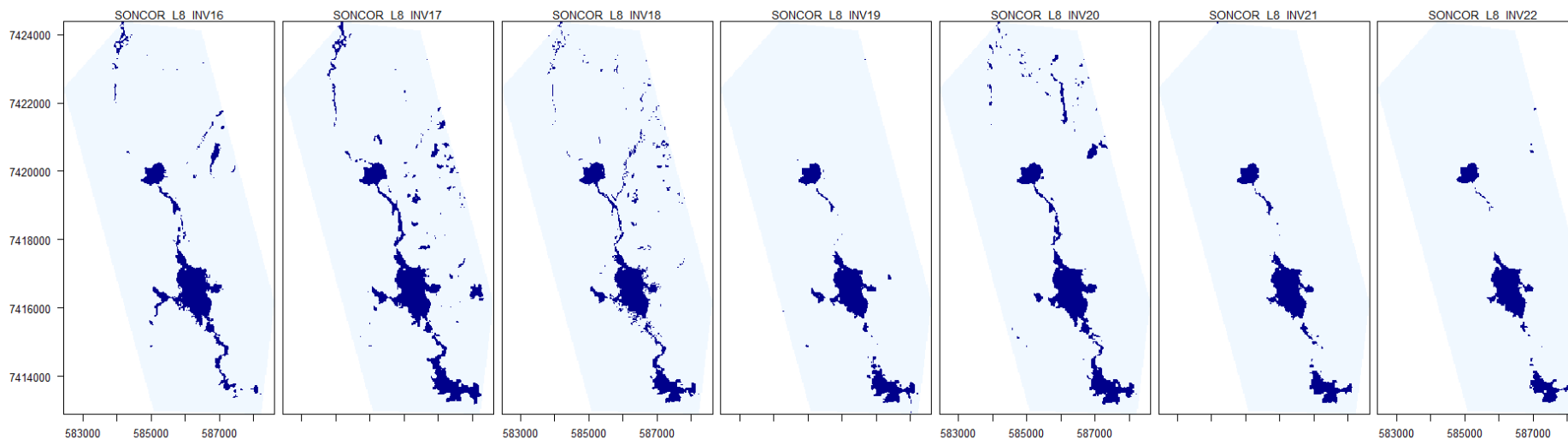
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto y diciembre 2022.

Figura N°5-21. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



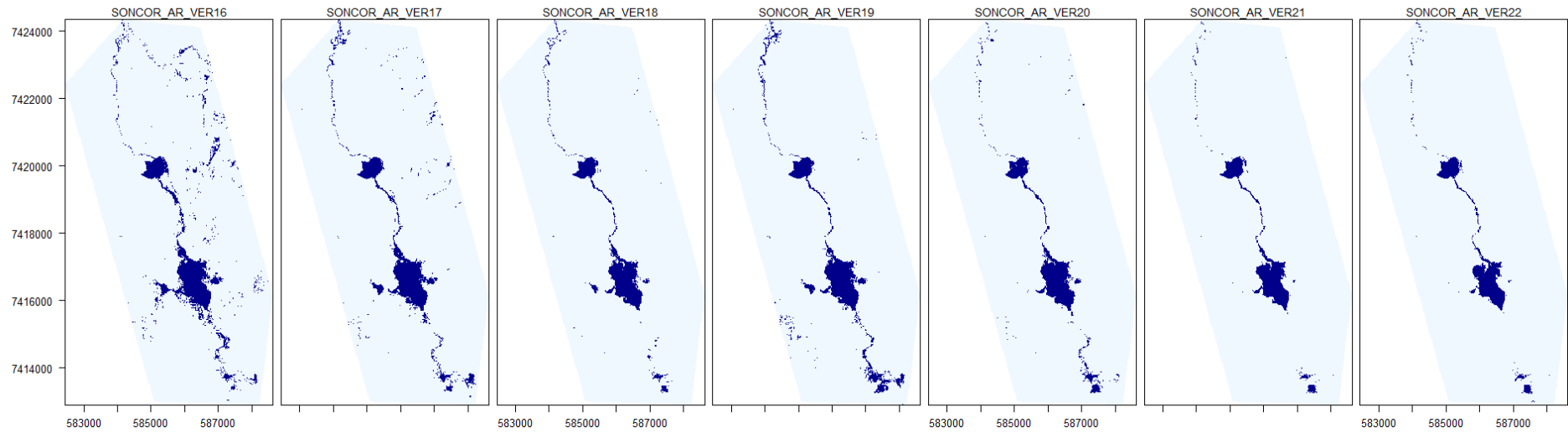
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-22. Registros de superficies lagunares de seguimiento inviernos (agosto 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.



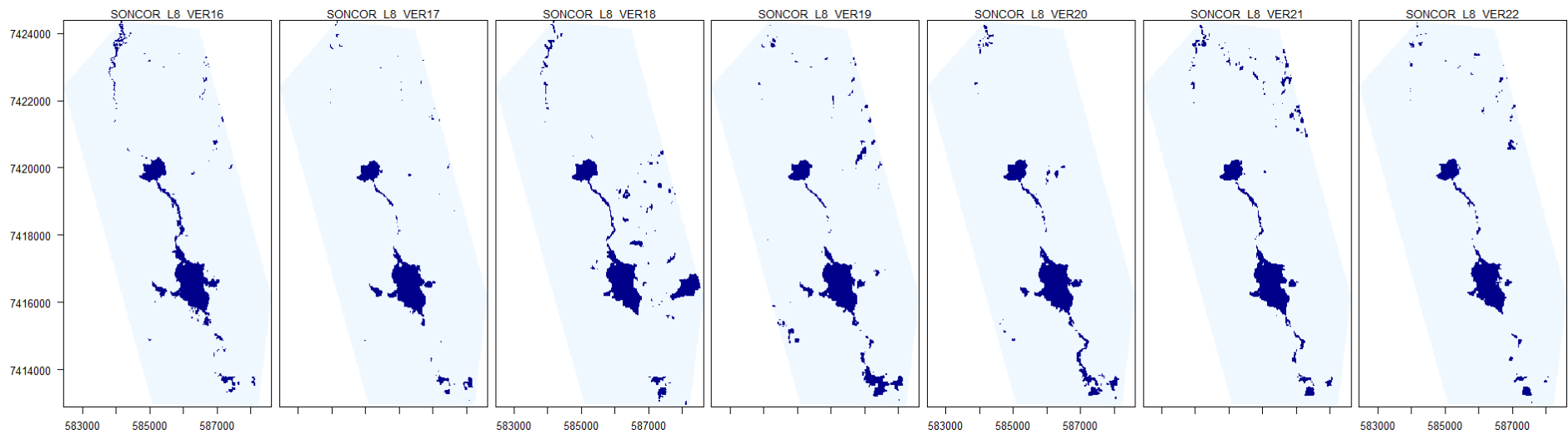
Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de agosto 2016 a agosto 2022.

Figura N°5-23. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Pleiades 1-A.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2022

Figura N°5-24. Registros de superficies lagunares de seguimiento veranos(diciembre 2016 a 2022), sector Soncor, a partir de imágenes Landsat 8.



Fuente: Cedrem Consultores en base a clasificación supervisada de imágenes satelitales de diciembre 2016 a 2022

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 *acceptable a casi perfecto*¹⁴ para todos los sistemas lagunares (Tabla N°6-1), con valores promedio del índice *Kappa* para el periodo 2016 – 2022 que van entre 0,91 (Soncor) y 0,66 (Aguas de Quelana) desde imágenes de alta resolución; con un valor mínimo *acceptable* 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 – 2022 van entre 0,82 (Soncor) y 0,58 (La Punta - La Brava), presentando un valor mínimo de 0,44 en La Punta - La Brava para diciembre de 2020 y un valor máximo de 0,94 para Soncor en agosto de 2022.

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 determinado 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 microorganismos, 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.

¹⁴ 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 1-A 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 – ALTA RESOLUCIÓN | ago-16 | Superficie (ha) | 47,4 | 74,1 | 33,4 | 258,9 |
| | | Índice Kappa | 0,45 | 0,89 | 0,72 | 0,89 |
| | dic-16 | Superficie (ha) | 40,9 | 50,2 | 18,8 | 255,6 |
| | | Índice Kappa | 0,82 | 0,91 | 0,86 | 0,90 |
| | ago-17 | Superficie (ha) | 48,1 | 74,6 | 122,9 | 336,3 |
| | | Índice Kappa | 0,50 | 0,86 | 0,55 | 0,83 |
| | dic-17 | Superficie (ha) | 48,6 | 74,1 | 27,8 | 220,3 |
| | | Índice Kappa | 0,73 | 0,83 | 0,59 | 0,84 |
| | ago-18 | Superficie (ha) | 61,9 | 51,5 | 85,2 | 257,6 |
| | | Índice Kappa | 0,78 | 0,88 | 0,67 | 0,85 |
| | dic-18 | Superficie (ha) | 35,9 | 49,4 | 13,0 | 164,1 |
| | | Índice Kappa | 0,83 | 0,80 | 0,75 | 0,94 |
| | ago-19 | Superficie (ha) | 52,8 | 86,7 | 57,8 | 232,9 |
| | | Índice Kappa | 0,66 | 0,83 | 0,66 | 0,92 |
| | dic-19 | Superficie (ha) | 62,7 | 101,7 | 39,8 | 216,5 |
| | | Índice Kappa | 0,79 | 0,91 | 0,76 | 0,95 |
| | ago-20 | Superficie (ha) | 51,4 | 54,2 | 17,2 | 255,3 |
| | | Índice Kappa | 0,64 | 0,96 | 0,88 | 0,98 |
| | dic-20 | Superficie (ha) | 28,4 | 73,5 | 8,5 | 168,9 |
| | | Índice Kappa | 0,62 | 0,73 | 0,37 | 0,94 |
| | ago-21 | Superficie (ha) | 45,8 | 45,7 | 15,6 | 204,0 |
| | | Índice Kappa | 0,80 | 0,92 | 0,69 | 0,91 |
| | dic-21 | Superficie (ha) | 24,1 | 26,4 | 8,9 | 142,3 |
| | | Índice Kappa | 0,61 | 0,78 | 0,67 | 0,92 |
| ago-22 | Superficie (ha) | 45,1 | 50,5 | 18,3 | 190,1 | |
| | Índice Kappa | 0,67 | 0,90 | 0,57 | 0,95 | |
| dic-22 | Superficie (ha) | 25,3 | 24,2 | 6,2 | 135,5 | |
| | Índice Kappa | 0,41 | 0,71 | 0,50 | 0,87 | |
| Promedio Kappa | | | 0,67 | 0,85 | 0,66 | 0,91 |
| LANDSAT 8 – MEDIA RESOLUCIÓN | ago-16 | Superficie (ha) | 62,6 | 114,7 | 58,2 | 269,9 |
| | | Índice Kappa | 0,47 | 0,83 | 0,72 | 0,78 |
| | dic-16 | Superficie (ha) | 55,0 | 110,3 | 41,6 | 233,8 |
| | | Índice Kappa | 0,62 | 0,83 | 0,74 | 0,77 |
| | ago-17 | Superficie (ha) | 38,2 | 104,6 | 263,8 | 393,3 |
| | | Índice Kappa | 0,50 | 0,74 | 0,71 | 0,73 |
| | dic-17 | Superficie (ha) | 39,3 | 75,3 | 103,7 | 189,7 |
| | | Índice Kappa | 0,54 | 0,59 | 0,57 | 0,82 |
| | ago-18 | Superficie (ha) | 63,7 | 78,4 | 88,6 | 296,1 |
| | | Índice Kappa | 0,55 | 0,73 | 0,72 | 0,83 |
| | dic-18 | Superficie (ha) | 44,4 | 81,7 | 17,4 | 255,3 |
| | | Índice Kappa | 0,84 | 0,83 | 0,63 | 0,90 |
| | ago-19 | Superficie (ha) | 53,8 | 85,1 | 40,9 | 234,3 |
| | | Índice Kappa | 0,54 | 0,79 | 0,81 | 0,81 |
| | dic-19 | Superficie (ha) | 57,7 | 107,8 | 49,9 | 248,2 |
| | | Índice Kappa | 0,59 | 0,76 | 0,86 | 0,88 |

| Tipo de imagen | Fecha monitoreo | Indicadores de monitoreo | Sistema Lagunar | | | |
|----------------|-----------------|--------------------------|---------------------|-------------|------------------|-------------|
| | | | La Punta y La Brava | Peine | Aguas de Quelana | Soncor |
| ago-20 | | Superficie (ha) | 60,0 | 105,4 | 18,7 | 331,6 |
| | | Índice Kappa | 0,56 | 0,77 | 0,80 | 0,78 |
| dic-20 | | Superficie (ha) | 36,1 | 83,0 | 8,5 | 225,5 |
| | | Índice Kappa | 0,44 | 0,73 | 0,75 | 0,72 |
| ago-21 | | Superficie (ha) | 40,0 | 36,0 | 15,6 | 216,1 |
| | | Índice Kappa | 0,92 | 0,93 | 0,75 | 0,93 |
| dic-21 | | Superficie (ha) | 35,5 | 33,4 | 24,0 | 235,1 |
| | | Índice Kappa | 0,50 | 0,87 | 0,51 | 0,84 |
| ago-22 | | Superficie (ha) | 56,9 | 62,8 | 36,0 | 196,3 |
| | | Índice Kappa | 0,59 | 0,83 | 0,52 | 0,94 |
| dic-22 | | Superficie (ha) | 26,9 | 27,7 | 17,8 | 184,8 |
| | | Índice Kappa | 0,46 | 0,75 | 0,64 | 0,81 |
| | | Promedio Kappa | 0,58 | 0,78 | 0,70 | 0,82 |

Fuente: Cedrem Consultores.

6.2 Análisis de comparación con registros históricos de línea de base

Con el objetivo de robustecer la serie temporal de las superficies lagunares y considerando que durante la evaluación del proyecto se generaron antecedentes que formaron parte de los registros históricos, es que en este séptimo año del PSAH se incluyen como parte del análisis comparativo las superficies lagunares 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 7 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 de media resolución (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 (m²) de los sistemas lagunares La Punta - 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, 2016-2022, PSAH N°7 (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 2022. 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 histogramas¹⁵, el muestreo al azar de píxeles y la verificación de los umbrales usados en los monitoreos de 2016 a 2022. 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 *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, 2016-2022, PSAH N°1 a N°7 (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°6 y del presente informe N°7, 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/fotointerpretativa.

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 – 2022), 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.

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

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 9-25. Imágenes Landsat 2016 – 2022 – 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 - 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 - 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.

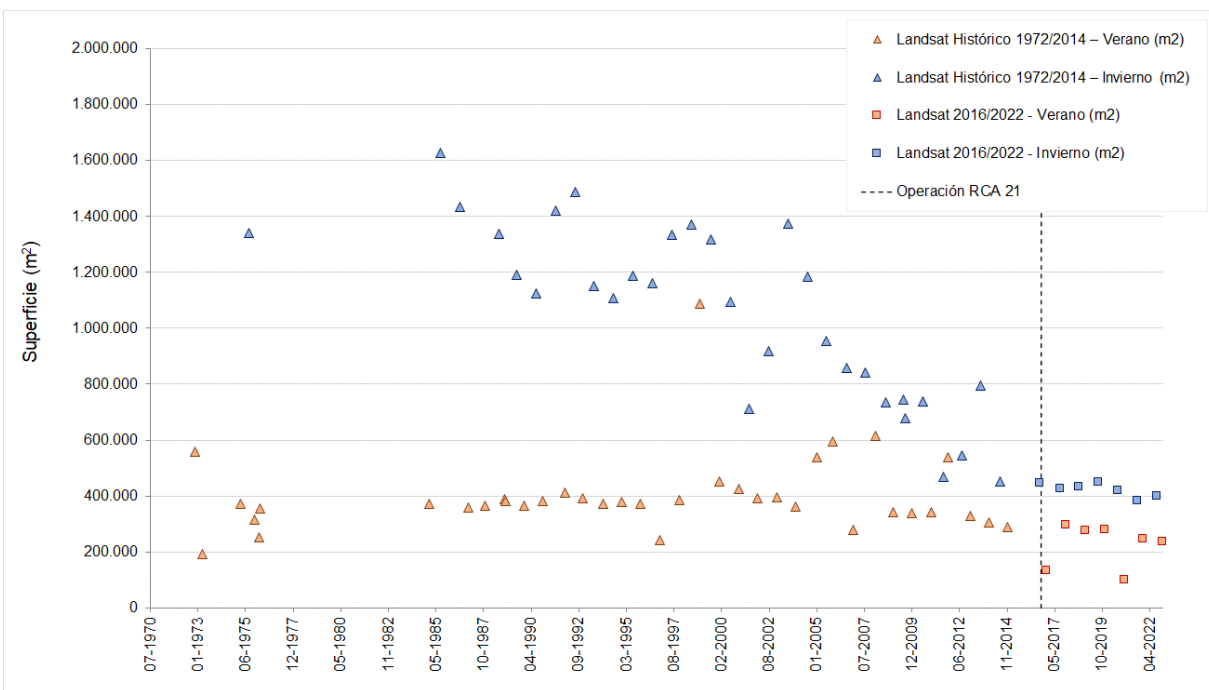
Finalmente, se indica que la superficie de las lagunas está condicionada principalmente por la variación estacional de la evaporación, y en menor medida por la ocurrencia de episodios de lluvia, que lo que provocan es un aumento general de los máximos y mínimos anuales en función de si se está en un 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 2022 de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes satelitales Landsat, asociadas al índice NDWI. Esta serie permite analizar tendencias o evolución. En ella se puede observar que la máxima extensión de las lagunas se produce durante los meses de invierno (indicados en colores celestes); y con los registros más bajos en general en verano, dándose en marzo 1973 (192.469 m²), diciembre 2016 (130.500 m²) y diciembre 2020 (99.900 m²).

Se observa una tendencia histórica al descenso de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto), y para las superficies registradas en los veranos (enero – febrero, diciembre) presentan una variabilidad en sus valores con cierta tendencia al descenso de los valores desde el verano del año 2000, 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, con una leve baja en las coberturas estimadas en invierno 2021 e invierno 2022. Con respecto a los resultados de verano, se mantiene el verano de 2020 como la fecha con menor superficie estimada.

Figura N° 6-1. Variación interanual de las superficies lagunares mediante el uso de imágenes Landsat, Sector La Punta - 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, 2016-2022.

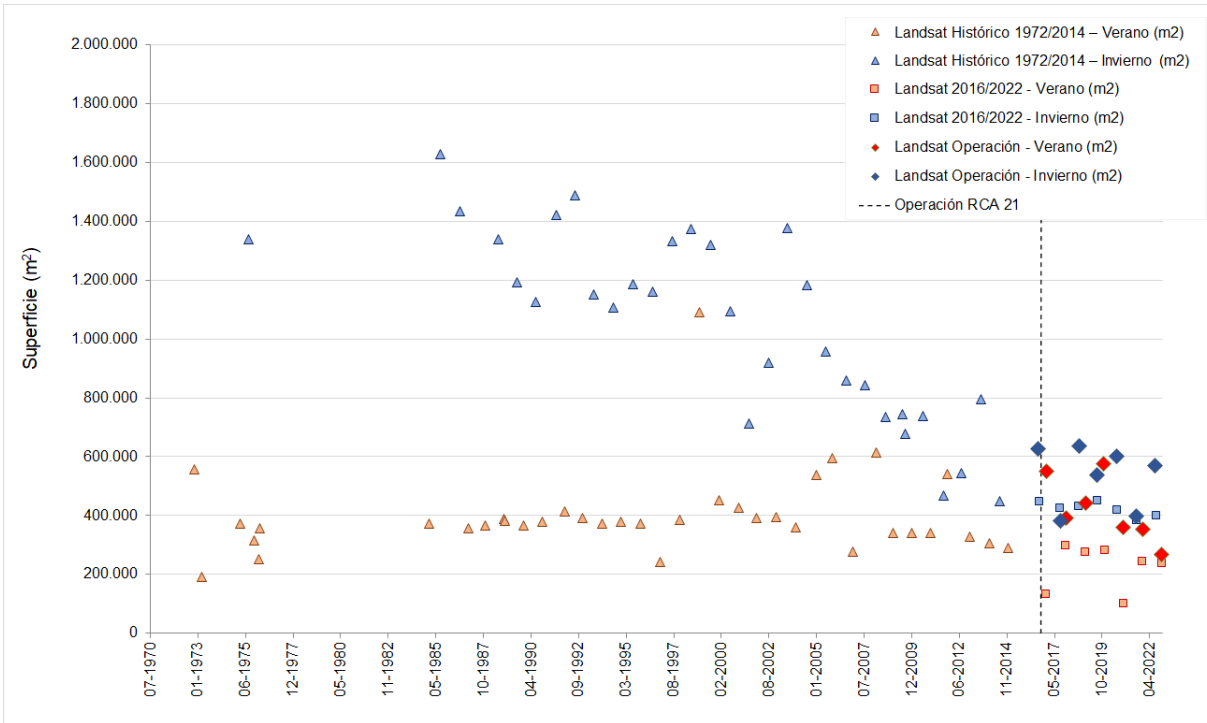
- Evolución de superficie de seguimiento mediante imágenes Landsat (serie PSAH) en relación a las superficies históricas (serie Adenda 5 y serie complementaria)

Los registros de superficies calculadas con Landsat observadas durante el monitoreo 2016 a 2022, 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 - 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 - La Brava.

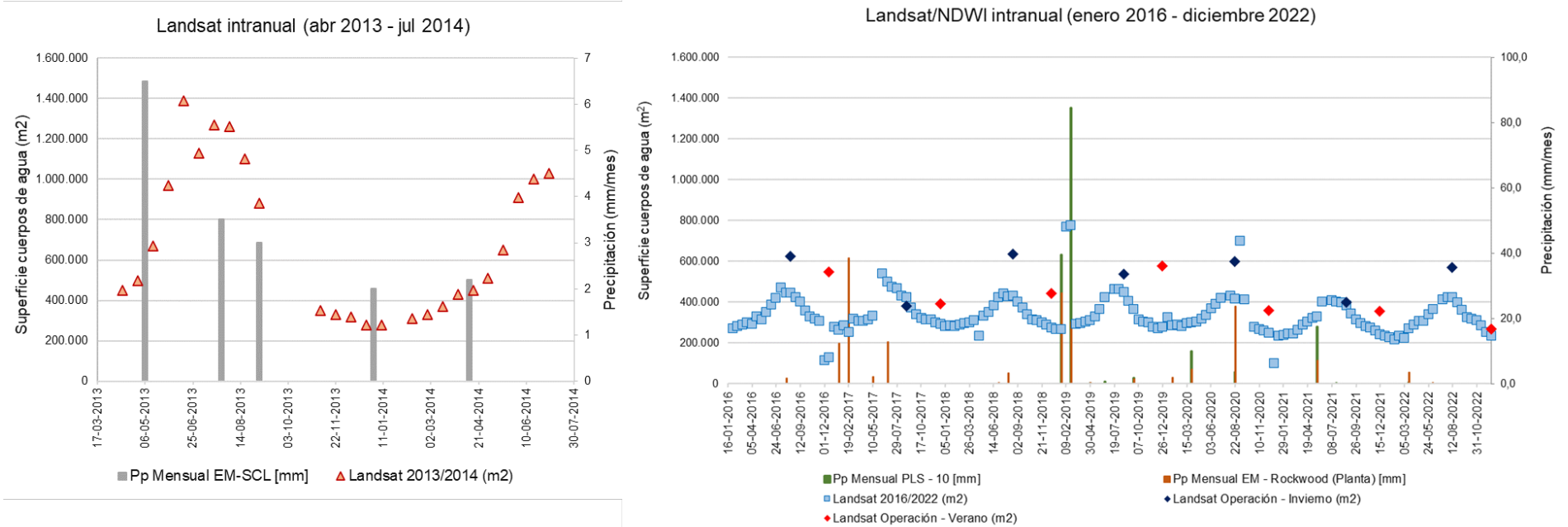


Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5; y serie complementaria de las superficies mediante imágenes Landsat, 2016-2022.

- 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, presentadas en proceso de evaluación del Proyecto como Línea de Base, durante los años 2013 – 2014 y se ha realizado para efectos del presente análisis el ejercicio para el período enero 2016 – diciembre 2022 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, bajo la metodología usada en dicha época, 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 - La Brava.



Fuente: Elaboración Propia

En el caso de los años 2016-2022 (Figura N° 6-3, derecha), con más de un año de serie, 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 plazo casi inmediato, 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.

No se han registrado a la fecha eventos de precipitaciones que puedan generar un aporte a las superficies lagunares en seguimiento.

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” y de muy corto plazo o inmediato. 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 – 2022, Figura N° 6-3, 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 2016-2022 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 Informe¹⁶ 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 2016-2022, 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 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 m² a 705.000 m² aprox. y el segundo período de 2003 a 2012 con una reducción

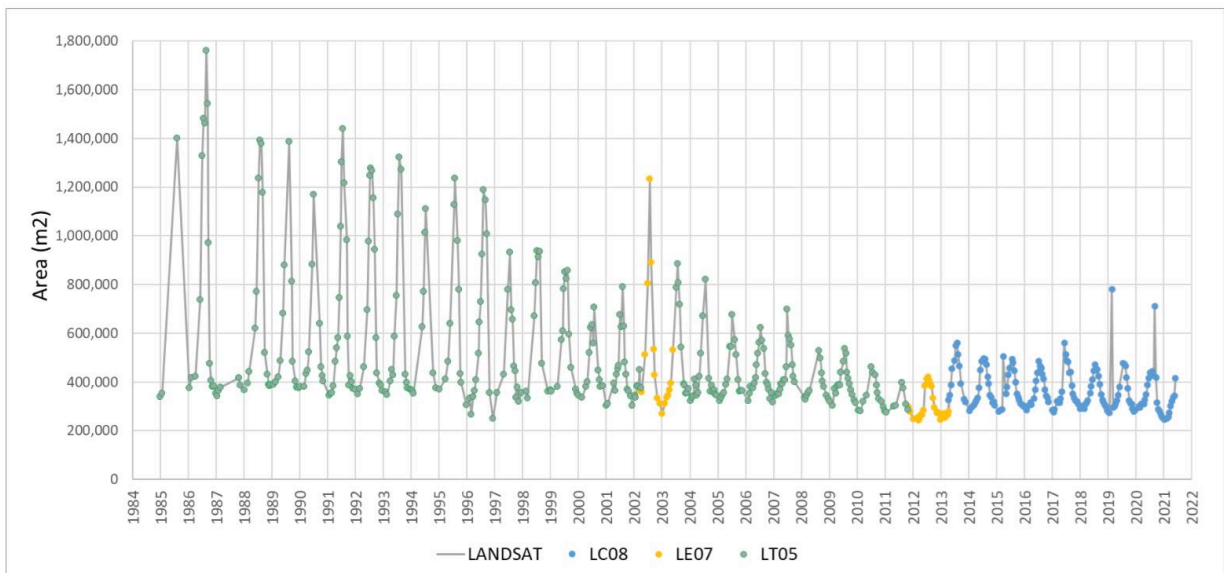
¹⁶ Informe Técnico de Investigación N°1 Activación Plan Alerta Temprana- Sector Alerta Acuífero (Agosto 2021)- Anexo D. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle – IZUMI . Julio 2021. Entregado a la SMA a través de Comprobante Cód. 114124 del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

de 890.000 m² a 420.000 m² aprox. En el segundo periodo el área mínima de verano muestra además una reducción en el orden de 60.000 m².

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 m² 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 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 sigue presentando disminución.

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



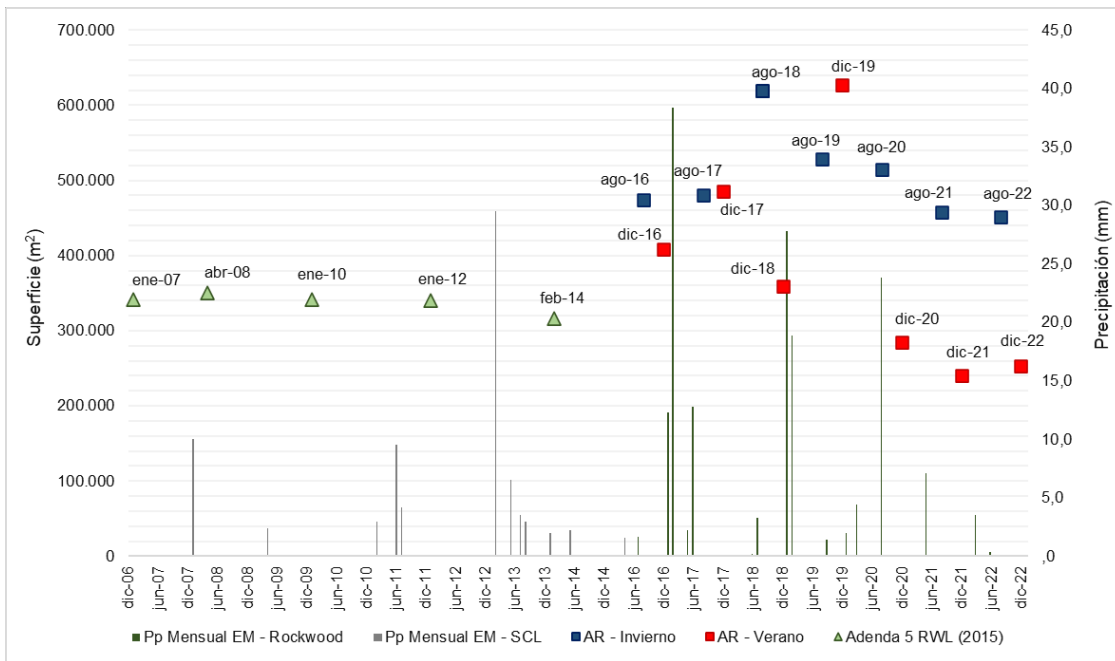
Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

- 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 - 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 en general sobre los registros históricos, a excepción de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022; sin embargo es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución 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.

De los aportes de precipitaciones en el periodo 2016 – 2022, los cuales se presentaron en general en los meses de enero - febrero y mayo - junio; solo uno puede asociarse temporalmente al aumento de superficie lagunar, el cual corresponde a las lluvias de junio y julio de 2018 (3,5 mm acumulados). Por otra parte, las menores superficies registradas en el mes de diciembre de 2018, 2020, 2021 y 2022 no presentan lluvias asociadas y ambas están precedidas de meses de nula precipitación. Sin embargo, 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° 6-5. Precipitaciones mensuales y superficie lagunar desde imágenes de alta resolución, sistema Lagunar La Punta - 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 2016-2022 de la misma Figura.

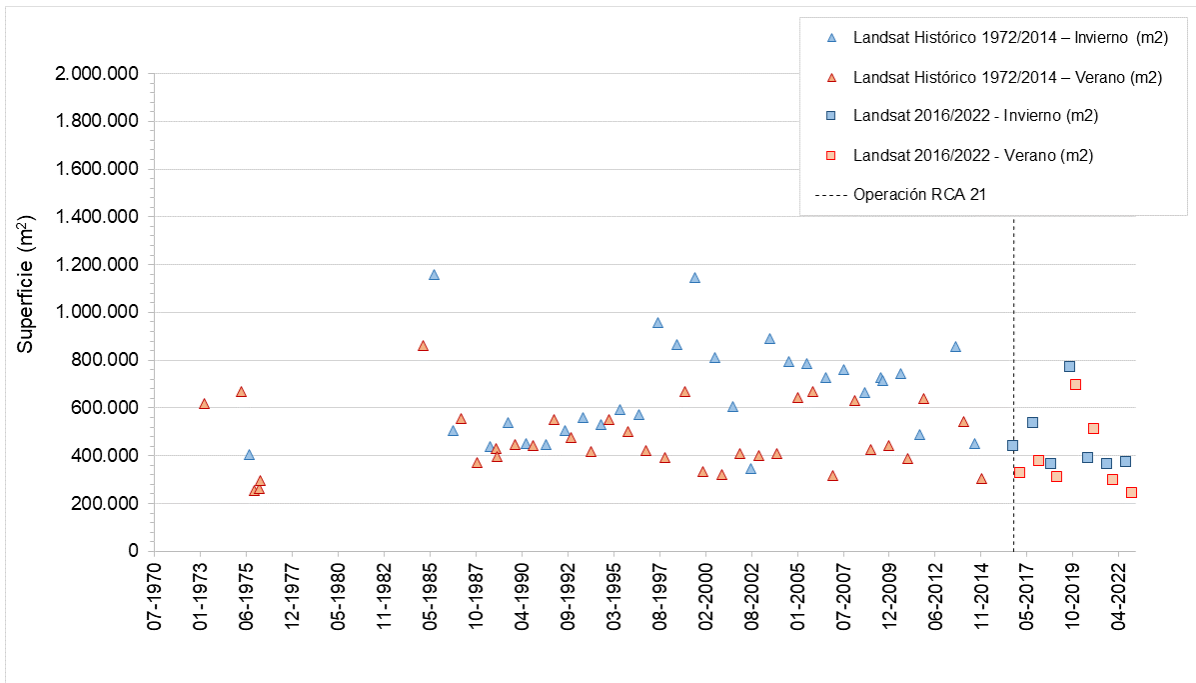
De la línea base y funcionamiento de las lagunas presentado en la Adenda 5, se tiene de los datos y análisis químicos e isotópicos que, *“las lagunas Saladita e Interna presentan una estrecha relación con el régimen de precipitaciones de la zona, enriqueciéndose isotópicamente en verano y empobreciéndose 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 m². En el último tiempo (2016-2022) 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, triángulos celestes), muestra un ascenso desde 1972 a 1998; luego una tendencia al descenso desde esa fecha, con leve aumento en el 2013; y finalmente una variación no concluyente entre 2015 a 2022. Por otro lado, la tendencia de las superficies reportadas en verano (triángulos naranjas) muestra una cierta variabilidad hasta el año 2005 y luego una tendencia a la baja de sus valores mínimos (Figura N° 6-6).

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)

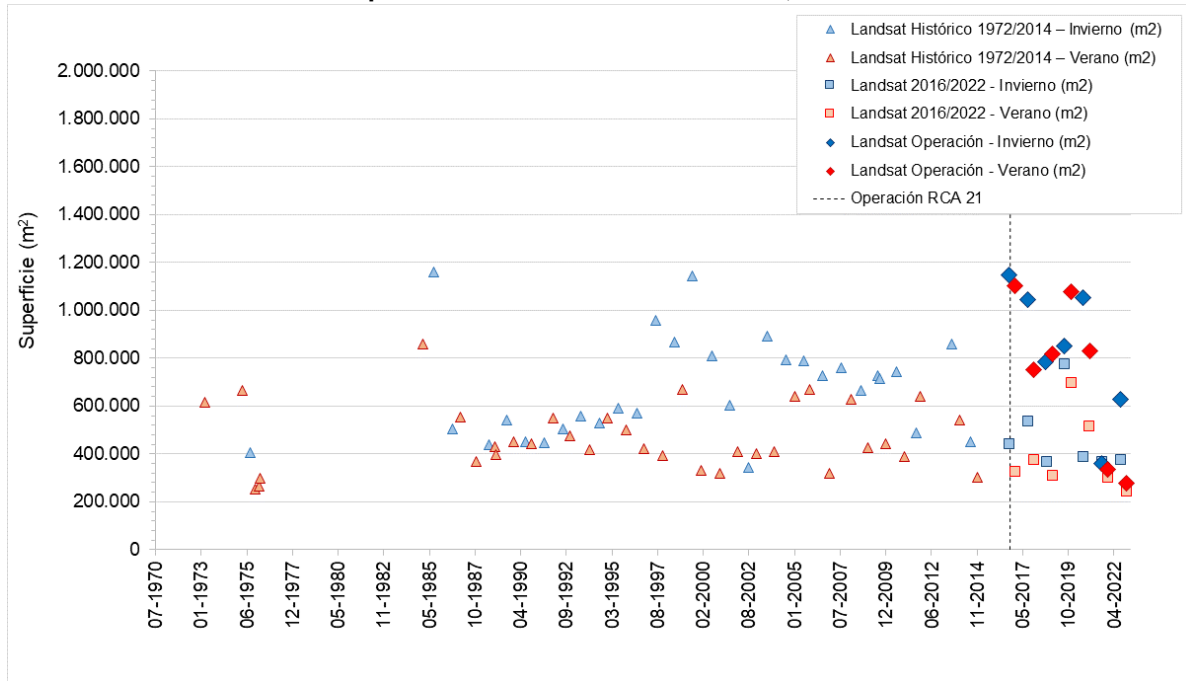
En la Figura N° 6-7 se presentan las superficies lagunares determinadas en el PSAH entre los años 2016-2022, con relación a las superficies históricas determinadas mediante NDWI – Landsat (1972-2020). En la figura se observa que las superficies reportadas para el PSAH se encuentran dentro del rango histórico, y que a su vez entre 2016 – 2020 se muestran superiores a las determinadas mediante la metodología NDWI – Landsat en el periodo 2016-2022; sin embargo las mediciones de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, son mayormente concordantes a los valores de la serie NDWI, con superficies entre los 350.000 m² y 280.000 m² aproximadamente.

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 2022 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 - 2022. Para los años 2016, 2017 y 2020 las superficies de invierno reportadas se encuentran en el rango de las superficies máximas, así como los registros de verano de 2016 y 2019; mientras que las mínimas se presentan en los registros de invierno y verano de 2021 e invierno y veranos de 2022, siendo los veranos los que presentan un mayor descenso.

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 y 2022. Cabe señalar que la Laguna Interna se “llena” posterior a las lluvias, y no se han presentado precipitaciones en el periodo 2021 – 2022 que aporten a esta condición de llenado post - lluvias, a la 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.

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 – 2022 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 m² aprox.), a diferencia de los años 2016-2022 con un rango de variabilidad que va desde 1.000.000 m² hasta 230.000 m² aprox.

De la Figura N° 6-8 se tiene que 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 2016-2022, la serie de superficies lagunares de mayor data (mediante serie Landsat/NDWI) muestra las superficies más altas entre febrero 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 el rango de los 340.000 m², 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

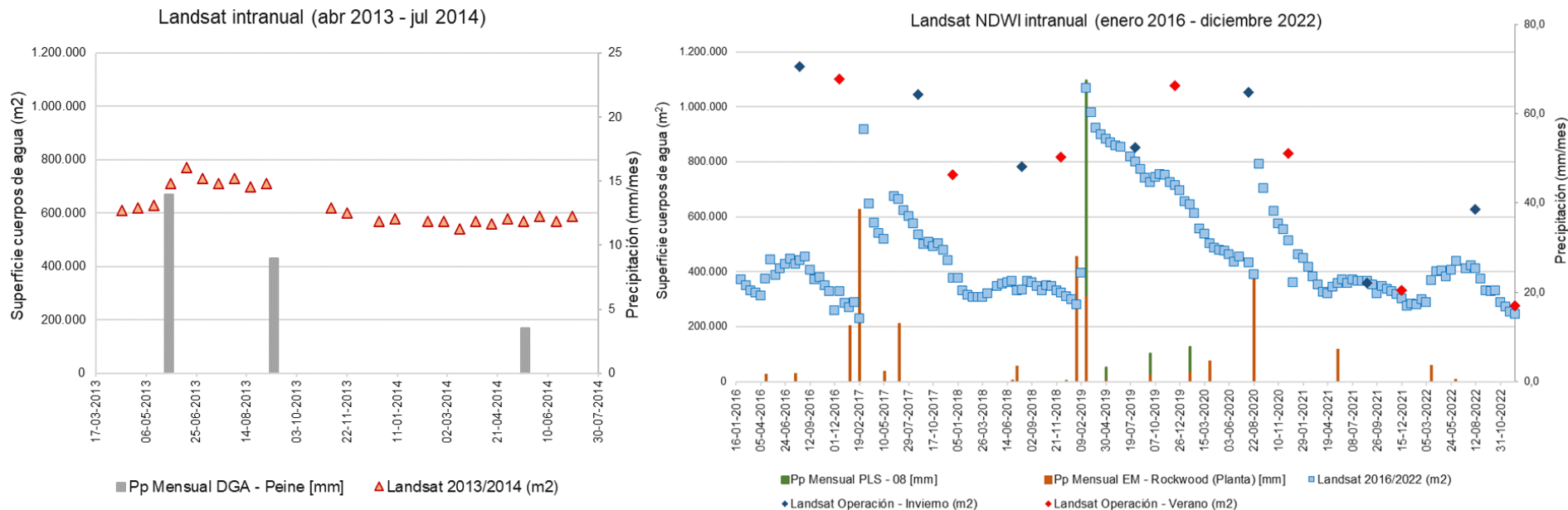
Peine) y agosto 2020 (23,8 mm EM- Rockwood; 3,29 mm PLS Peine). Desde septiembre 2020 a la fecha, no se han reportado aumentos significativos en los cuerpos de agua del sector.

Con respecto a las variaciones de las superficies lagunares del índice Landsat/NDWI 2016- 2022 y los registros calculados como parte del PSAH, estos últimos se encuentran entre los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2022; sin embargo los registros de invierno y verano 2021 y verano 2022, se presentan en el rango mínimo de las superficies calculadas del índice NDWI, correspondiendo a valores promedio que bordean los 350.000 m² entre los meses de julio – diciembre 2022, 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- 2022, (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 2017 se presentan similares en magnitud a la superficie estimada para verano 2022. 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 Informe¹⁷ 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.

¹⁷ 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.

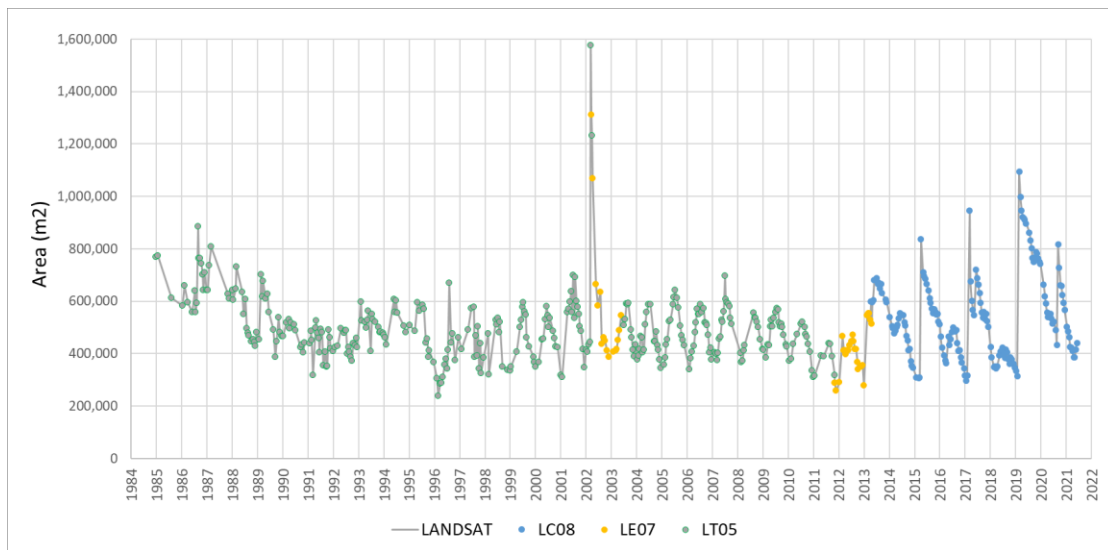


Fuente: Elaboración Propia

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).

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 m² 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 m² a 600.000 m² aproximadamente, con la excepción de una subida abrupta en marzo del año 2002. Finalmente, un tercer período desde el 2014, en el cual la laguna cambia su comportamiento, presentando 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).

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



Fuente: IZUMI, 2021 para Albemarle.

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 variaciones 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 2022 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- 2022 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 una cierta variabilidad estacional reflejada por una diferencia entre el área de invierno con la de verano, salvo en lo observado en los años 2017 y 2018. 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.

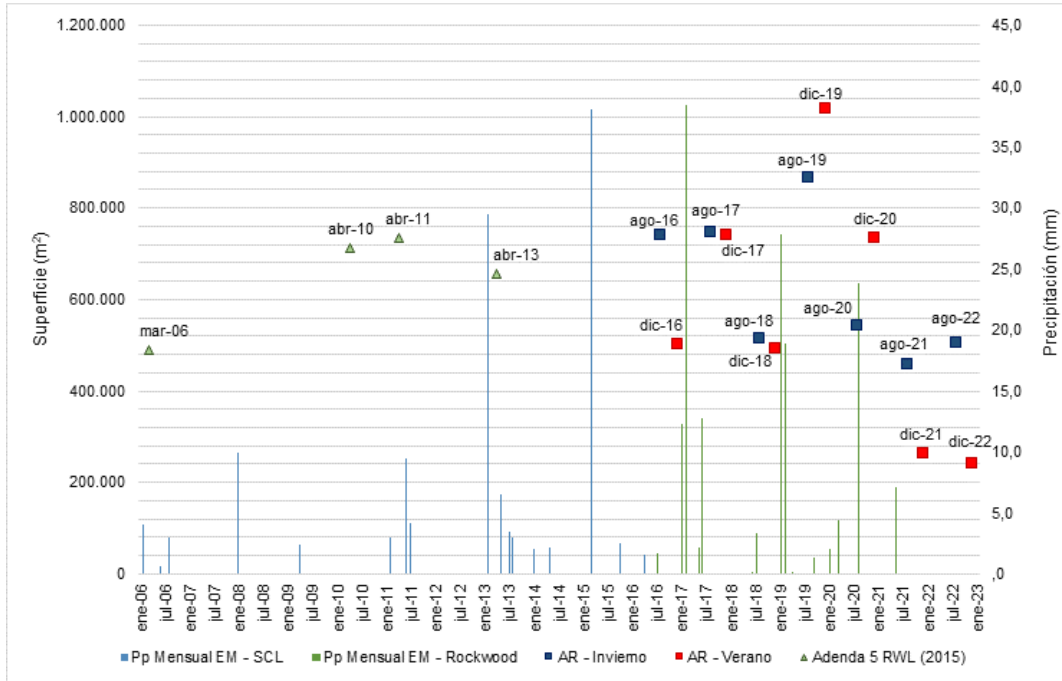
En relación con las magnitudes de las superficies históricas en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales del PSAH, de invierno 2021, verano 2021 y verano 2022, se presentan bajo el mínimo históricos AR (489.000 m²). Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas 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 sector¹⁸, 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. Para el periodo 2022 no se reportan precipitaciones. 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.

¹⁸ 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 2022); 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)

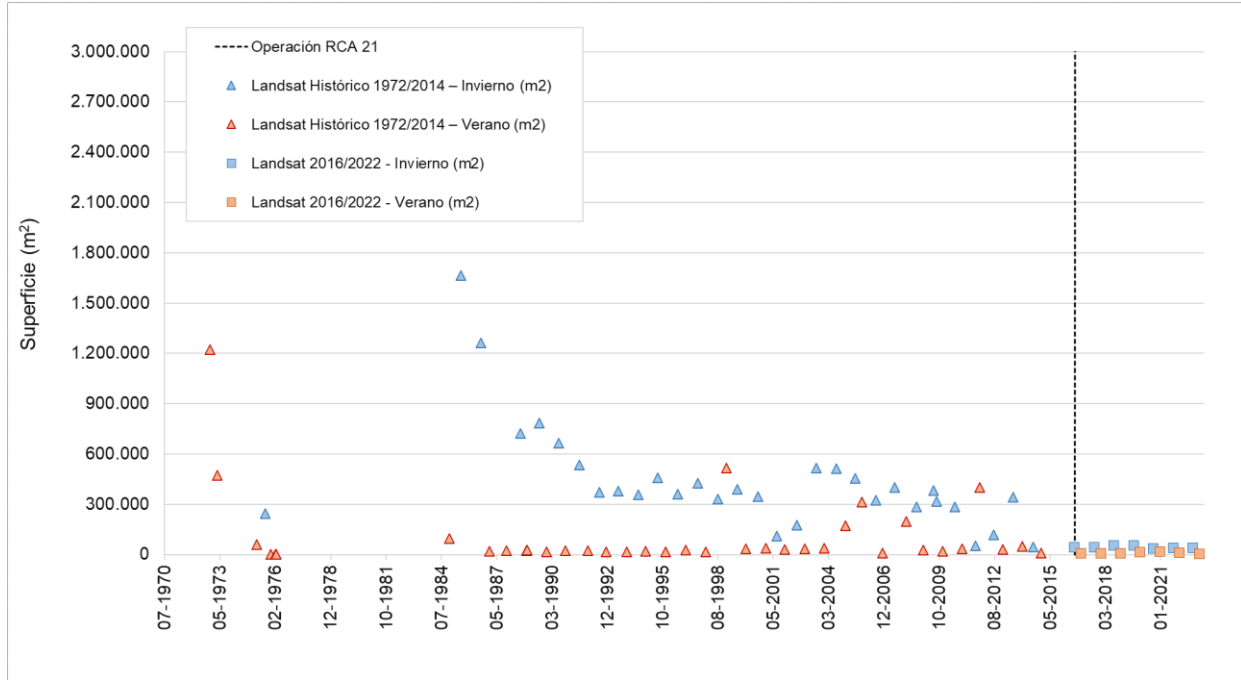
En la Figura N° 6-11 se presenta la serie histórica (1972 – 2020) de las superficies lagunares del sector Aguas de Quelana, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat asociadas al índice NDWI.

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.

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; al igual que las menores superficies de los veranos. En este caso, se observa la mayor diferencia entre las superficies de invierno y verano, siendo la temporada 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 tendencia histórica de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto) muestran un descenso entre 1985 a 1993 y que luego una tendencia a la baja. 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

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)

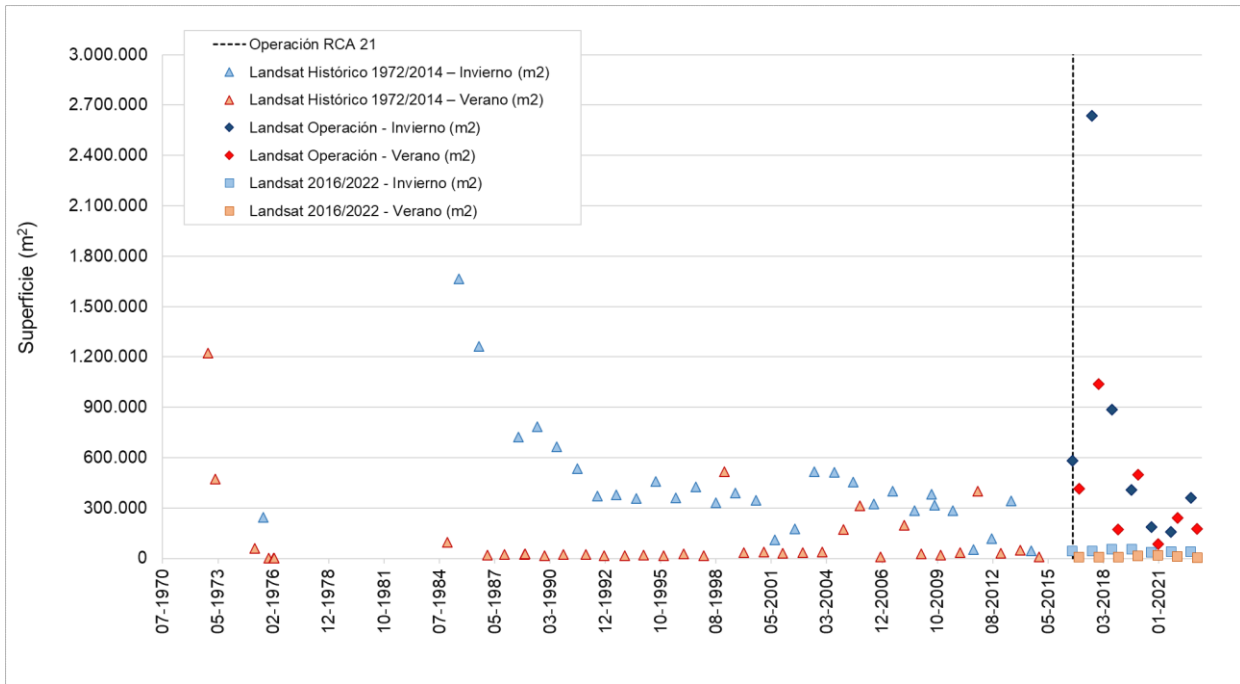
Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 como parte del PSAH, se encuentran dentro de los registros máximos y mínimos según el análisis de variación del índice NDWI, tanto en invierno como en verano (Figura N° 6-12).

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

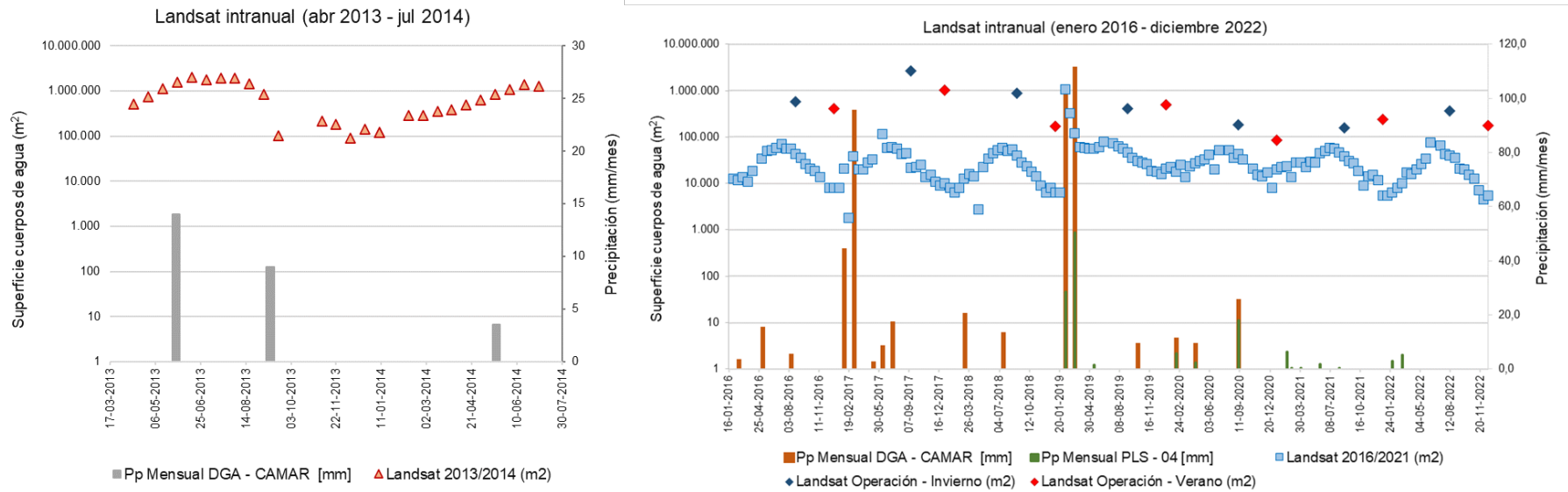
- Variación intranual de la superficie lagunar mediante imágenes Landsat

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Aguas de Quelana, en la Figura N° 6-13 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 – 2022, 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 – 2022, 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), siendo los valores más bajo del periodo 2016 – 2022 los registrados en febrero 2017, abril 2018 y diciembre 2022 donde se observan superficies que bordean o están bajo los 5.500 m².

Del análisis intranual y en relación con las precipitaciones, tanto el período 2013-2014 como el 2016-2022, 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 – 2022, 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

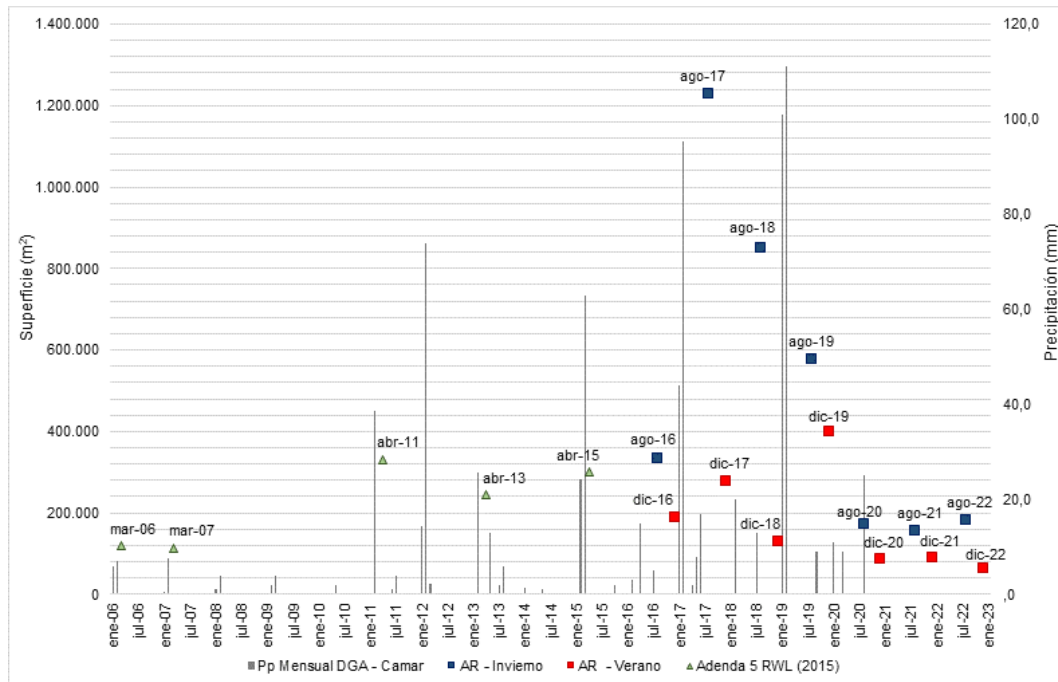
- Variación de la superficie lagunar mediante imágenes de alta resolución

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 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 m²), se observa que los resultados de diciembre 2020, 2021 y 2022 se encuentra bajo el valor histórico. 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 sector¹⁹, para las superficies máximas más significativas de las superficies semestrales 2016 – 2022, 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 rango 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 reportándose precipitaciones posterior a esa fecha de magnitudes como las señaladas. 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 rango 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.

¹⁹ 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.

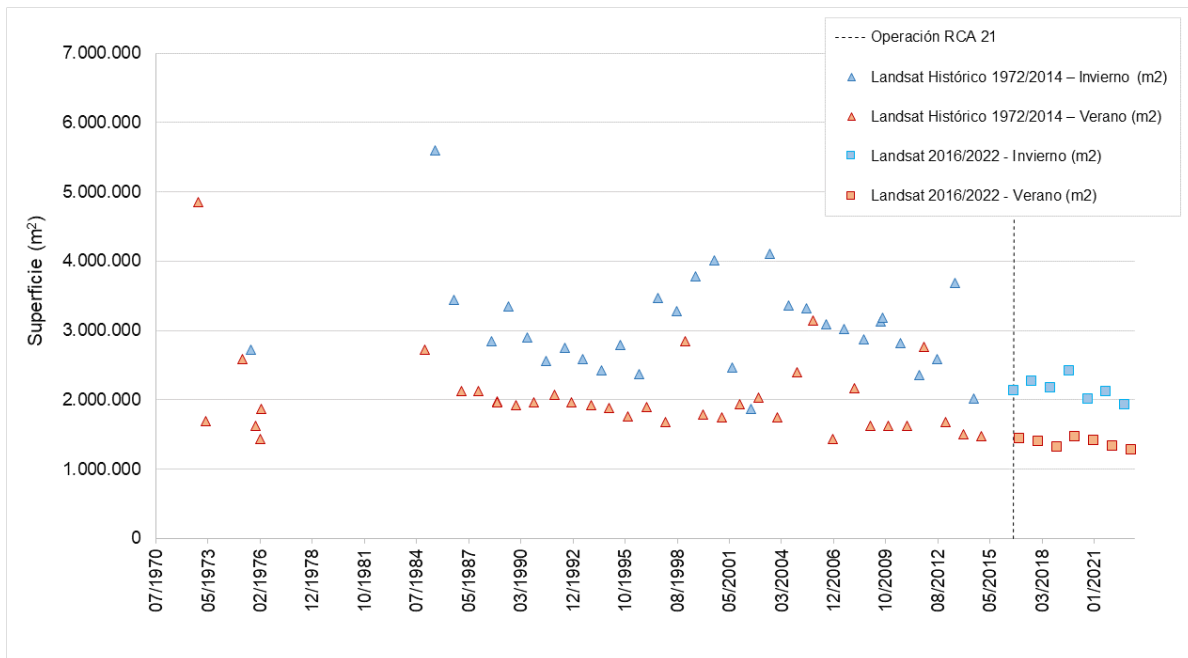
En resumen, se tiene que, las lagunas de este sistema Soncor son alimentadas por agua subterránea que ingresa al sistema proveniente de los acuíferos situados al norte y este. En la zona donde la

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, 2020 y 2022. 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 desde el 2004 (descenso 1986-1996; ascenso 1997-2003; descenso 2004-2014), para luego estabilizarse un poco entre 2015 y 2022. 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.



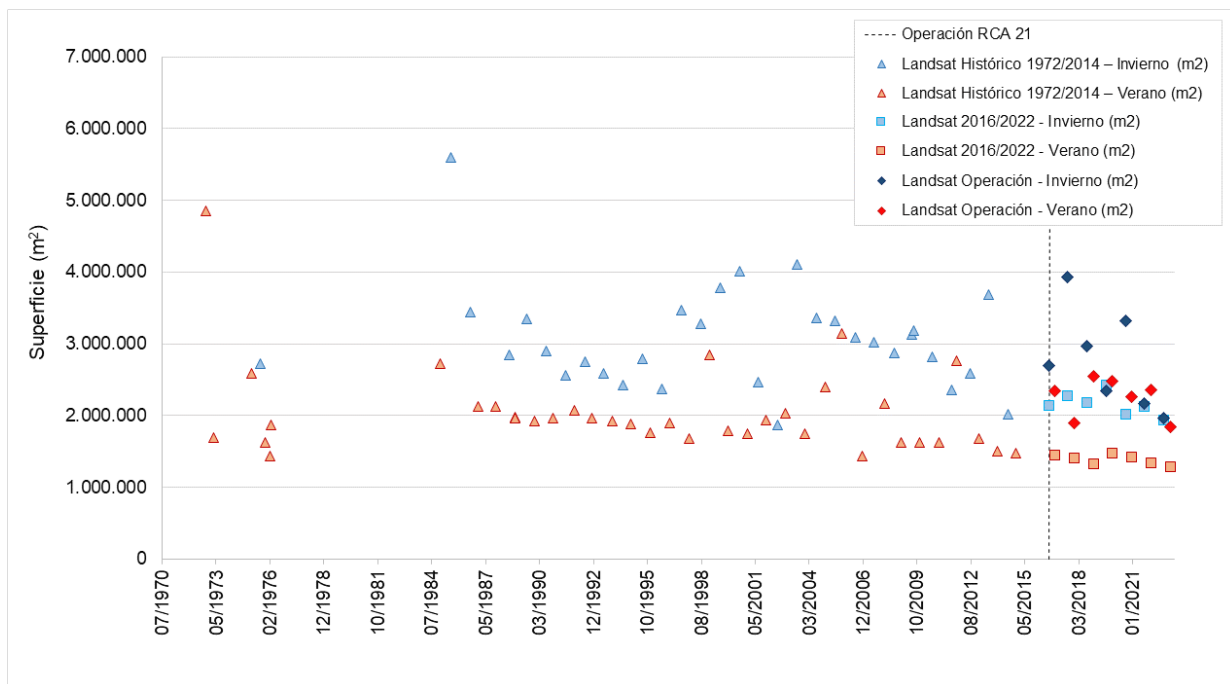
Fuente: Elaboración Propia en base a los datos del Anexo 1: Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama, de la Adenda 5

- 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, (Figura N° 6-16) reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 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 – 2022 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

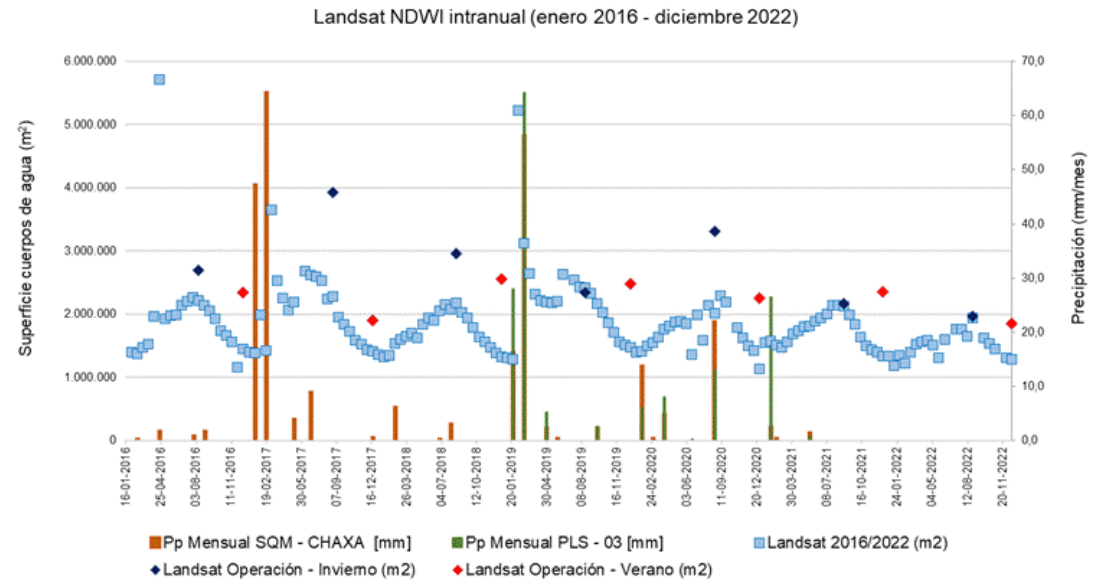
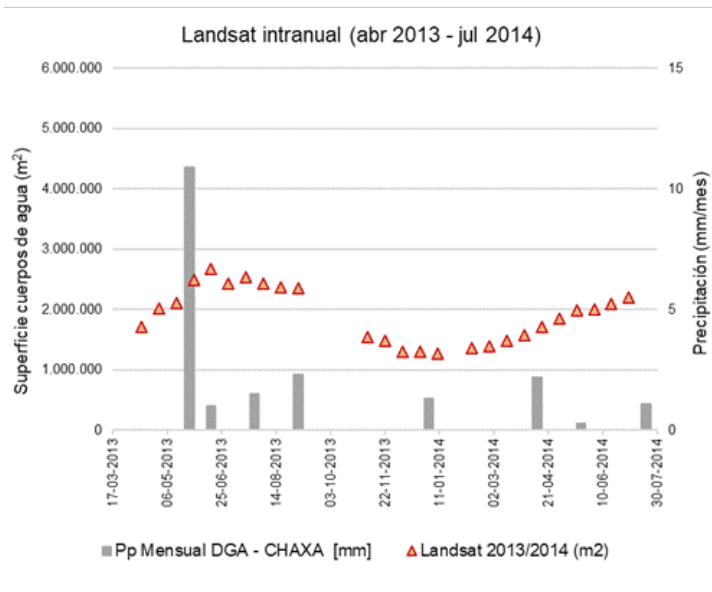
Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Soncor, en la Figura N° 6-17 se observa la variación de las superficies lagunares mediante el índice NDWI - Landsat, durante los años 2013 – 2014 y 2016 – 2022 y su relación con las precipitaciones.

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 – 2022, 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 – 2022 el registrado en diciembre 2020 con 1.133.100 m² y el de noviembre 2016 con 1.162.800 m². 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- 2022 y los registros calculados como parte del PSAH para el sector Soncor, estos últimos se encuentran sobre de los registros máximos y mínimos para la serie total hasta diciembre de 2022, con agosto de 2019, agosto de 2021 y agosto 2022 presentando valores similares a los observados en la serie NDWI. De la serie Landsat/NDWI 2016- 2022, 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.



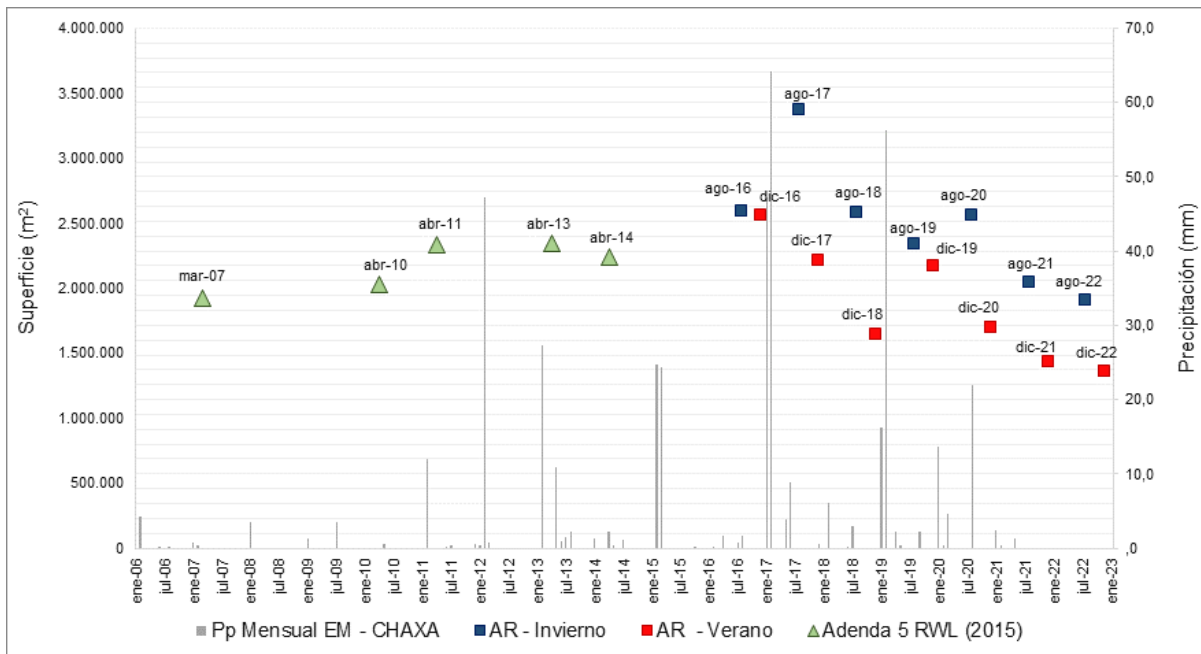
Fuente: Elaboración Propia

- 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 m²). 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 sector²⁰, para las superficies máximas del periodo 2016 – 2022, 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. A la fecha no se reportan precipitaciones en el sector.

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



Fuente: Elaboración Propia

²⁰ 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 semestrales de los cuatro sistemas en 2022, se observa que la mayor cobertura es para el sector Soncor, desde imágenes Pleiades 1-A, tanto en invierno 2022 como en verano 2022, con 1.900.976 m² y 1.354.906 m², respectivamente. En tanto, las menores superficies se presentaron en el sector Aguas de Quelana, en verano 2022 con 62.322 m² y 177.839 m² en invierno 2022 (Tabla N°7-1). El análisis comparativo de las superficies de cuerpos de agua determinadas para el séptimo año de monitoreo 2022 con respecto a los registros históricos se presenta en la Tabla N°7-1.

De los resultados de las campañas para el año 2022, se puede concluir que las estimaciones de superficies lagunares mediante imágenes de alta resolución, para la condición de invierno 2022 se encuentran por sobre el mínimo histórico; y para la estación de verano (diciembre 2022) 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 1-A y Landsat 8) y datos obtenidos en el monitoreo 2022 (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 2022 | |
|--|-----------------|--|--------------------------|---|----------------|
| | | Máximo (m ²) | Mínimo (m ²) | Invierno 2022 | Verano 2022 |
| | | | | m ² | m ² |
| Superficies Pleiades 1-A de alta resolución | LP LB | 350.000 | 316.000 | 451.057 | 253.216 |
| | PE | 736.000 | 489.000 | 504.796 | 242.284 |
| | AQ | 331.000 | 113.000 | 183.019 | 62.322 |
| | SO | 2.342.000 | 1.924.000 | 1.900.976 | 1.354.906 |
| Superficies Landsat 8 de media resolución | LP LB | - | - | 569.345 | 269.378 |
| | PE | - | - | 628.203 | 276.620 |
| | AQ | - | - | 360.039 | 177.829 |
| | SO | - | - | 1.962.905 | 1.848.238 |

Dónde: AQ: Aguas de Quelana, LPLB: La Punta - 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 0,95 - 0,57 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,94 - 0,52 para imágenes de resolución media Landsat 8 en agosto de 2022. Respecto de diciembre de 2022, este índice tuvo una variación entre 0,87 - 0,41 para imágenes de alta resolución Pleiades 1-A y desde 0,81 - 0,46 para imágenes de resolución media Landsat 8.

Todos los valores antes indicados muestran una alta precisión del modelo de clasificación supervisada aplicado muestra un nivel de concordancia *moderado a casi perfecta*²¹.

La correlación entre las superficies calculadas desde de alta resolución (Pleiades 1-A) 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 de línea de base, y considerando la evolución que permite observar a través de las superficie mediante imágenes NDWI-Landsat, para el sector de La Punta - 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 obtenidas con imágenes de media resolución Landsat durante el monitoreo 2016 a 2022, 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 - 2022.

De las variaciones intranuales y su relación con la precipitación y evaporación, para ambas series intranuales 2013/2014 y 2016/2022, 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,

²¹ 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).

considerando el periodo de 1985 a 2022 para el Sistema Lagunar La Punta-La Brava, se puede observar una variabilidad estacional, con una tendencia a la baja histórica.

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 de los meses de diciembre de los años 2020, 2021 y 2022; sin embargo es importante destacar que las superficies históricas en alta resolución han sido determinadas en meses distintos a los reportados semestralmente en el PSAH (agosto y diciembre).

- 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 (2016-2022) donde se observa una menor diferencia entre las superficies de los periodos de invierno y verano. Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 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 – 2022.

Para la variabilidad intranual, en este sector se observa mayor variabilidad de las superficies en el periodo 2013 – 2014, con un periodo 2016 – 2022 que muestra una fuerte alza en septiembre de 2020, ligado eventualmente a un mayor aporte de precipitaciones ocurridas en agosto 2020. Este acontecimiento y otros previos, denota 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.

La variación de las superficies semestrales 2022 de alta resolución del PSAH para el sector Peine, en relación con las superficies AR (Adenda 5 RWL, 2015), se encuentran en el rango de los valores de línea de base, a excepción de los estimados en agosto 2021 (invierno), dic 2021 y dic 2022, en donde estos últimos se presentan bajo el mínimo AR considerado de línea base (marzo 2006), con una variación estacional no tan influenciada por la evaporación y donde no se evidencia una relación 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 de línea base en AR fueron determinadas en meses (marzo y abril) 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 se han reducido hasta en un 98%. La serie histórica se observa en general con tendencia a la baja desde 1985.

Los registros de superficies calculadas con Landsat, reportadas durante el monitoreo de 2016 a 2022 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 – 2022.

Con respecto a las variaciones intranuales para el sector Aguas de Quelana, los registros en la serie 2016 – 2022, 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, 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 Aguas de Quelana, las superficies en alta resolución del PSAH se observa que los resultados de diciembre 2020 , 2021 y 2022 se encuentra bajo el mínimo de LB (del mes de marzo 2007). 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 rango para el sector y bordea las máximas. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies de Línea Base en AR fueron determinadas en meses distintos a los comprometidos 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, al igual que para el resto de los sistemas lagunares, 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 de las superficies asociadas a los inviernos (julio – agosto) variable de aumentos y descensos desde el 2004 (descenso 1986-1996; ascenso 1997-2003; descenso 2004-2014), para luego estabilizarse un poco entre 2015 y 2022. Respecto de las superficies de verano, éstas se observan en general con 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 2022 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 - 2022.

Del análisis intranual de superficies lagunares realizados en las series 2013/2014 y 2016/2022, 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 y se comporta con variación estacional, el que estaría más asociado a procesos de evaporación.

En relación con las superficies de línea base en AR (Adenda 5 RWL, 2015), las superficies semestrales en los registros 2016 – 2021 del PSAH se presentan sobre el mínimo de Adenda 5 AR (1.924.000 m²), a excepción de diciembre 2018, diciembre 2020, diciembre 2021 y diciembre 2022; con variabilidad estacional entre registros de invierno y verano. Dentro de esta comparativa, es importante destacar que las superficies históricas (línea de base) en AR fueron determinadas en meses distintos a los comprometidos 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
- 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.
- IZUMI, 2021. Informe Teledetección Satelital Landsat Cuerpos de Agua Sectores La Punta La Brava y Peine. Albemarle. Anexo D, Albemarle-VAI, 2021.
- 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”.
- ALB, Albemarle. 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.
- ALB, Albemarle. 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.
- ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

ALB, Albemarle. 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.

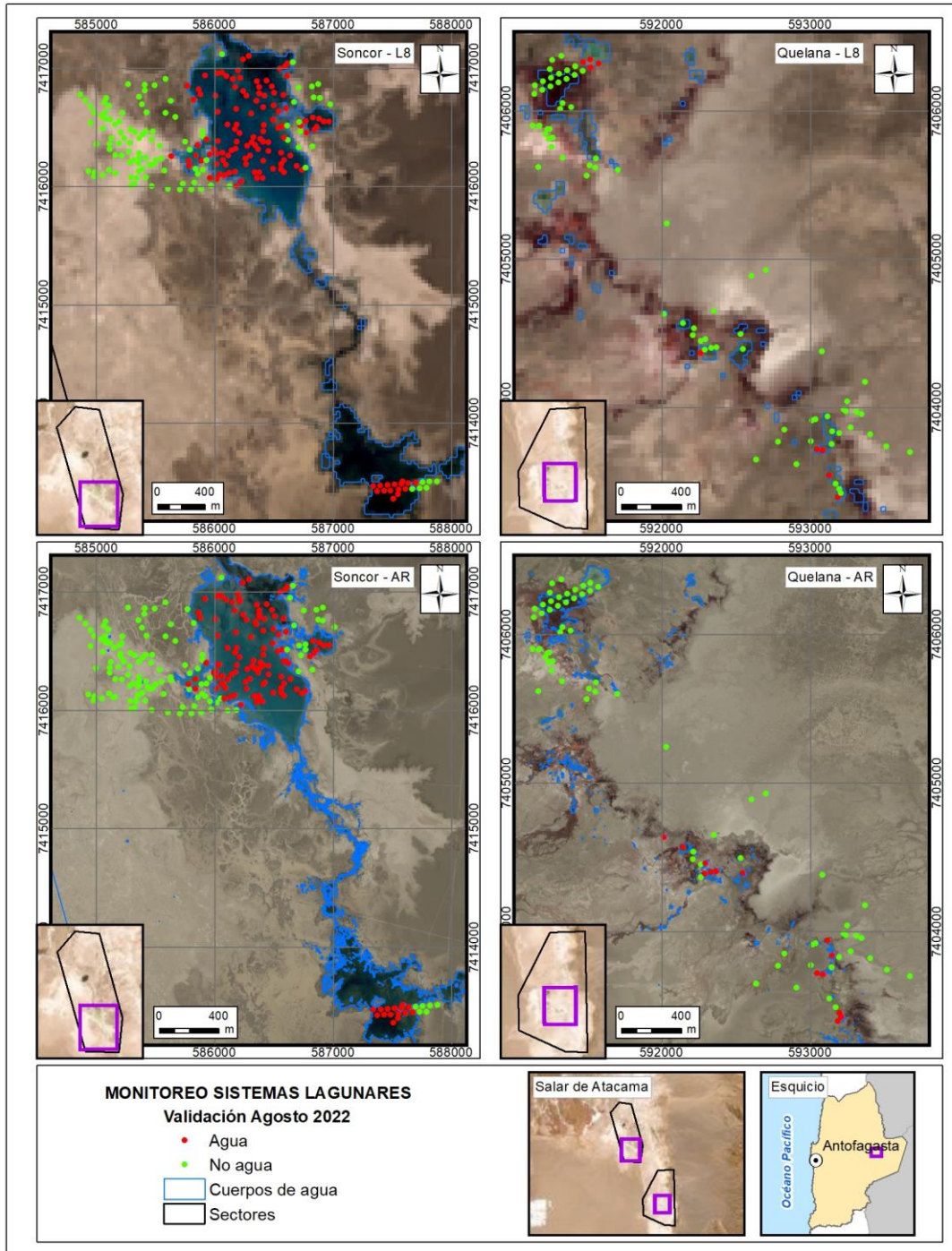
ALB, Albemarle. 2020b. Determinación Espacio Temporal de Cuerpos de Agua en el Salar de Atacama. Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016), Monitoreo Año V, diciembre de 2020.

ALB, Albemarle. 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.

-
- ALB, Albemarle. 2021b. 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.
- ALB, Albemarle. 2022a. 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 VII, agosto de 2022.
- ALB, Albemarle. 2022b. 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 VII, diciembre de 2022.
- 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.

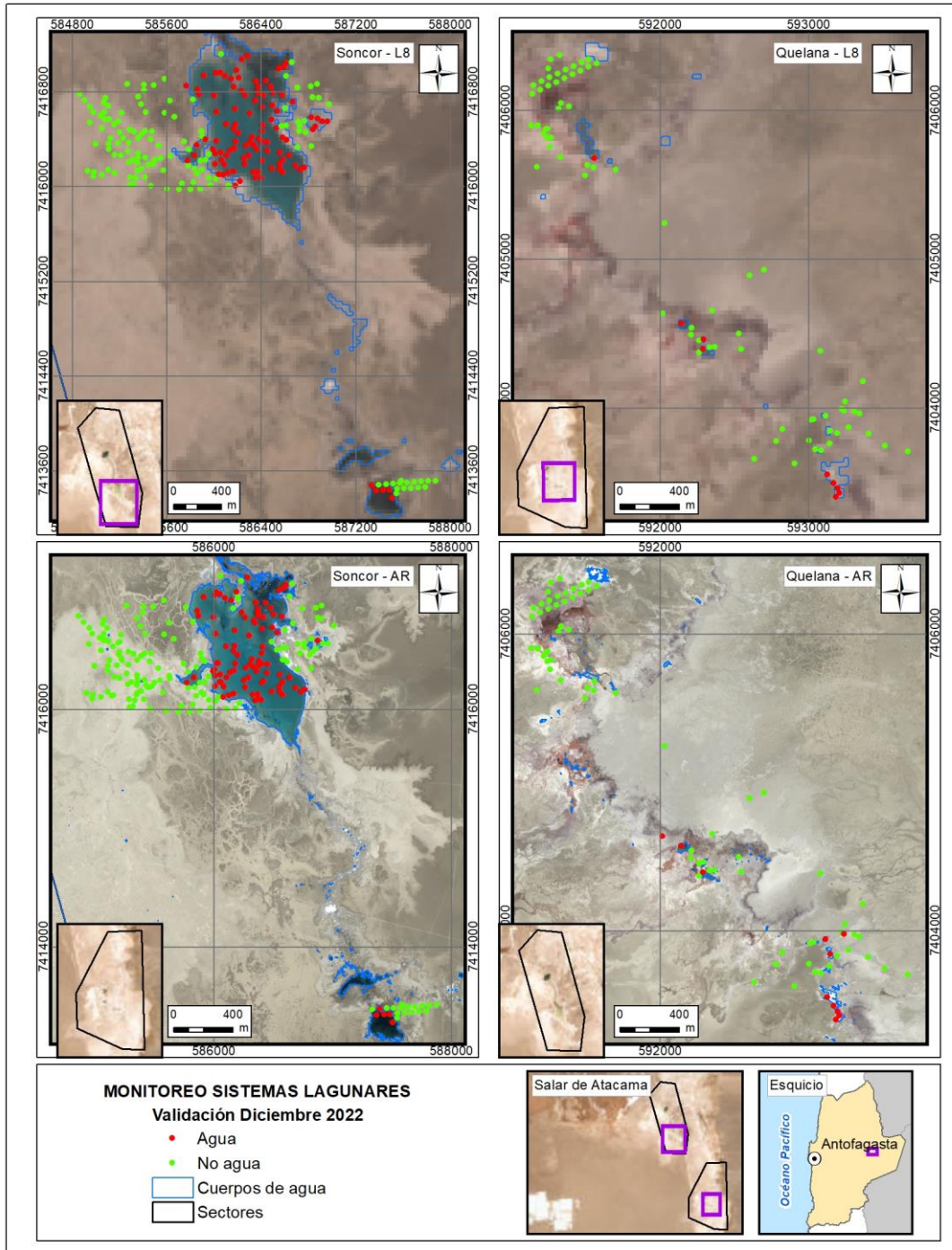
9 ANEXOS

ANEXO 9-1. Distribución de puntos de validación para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, agosto 2022.



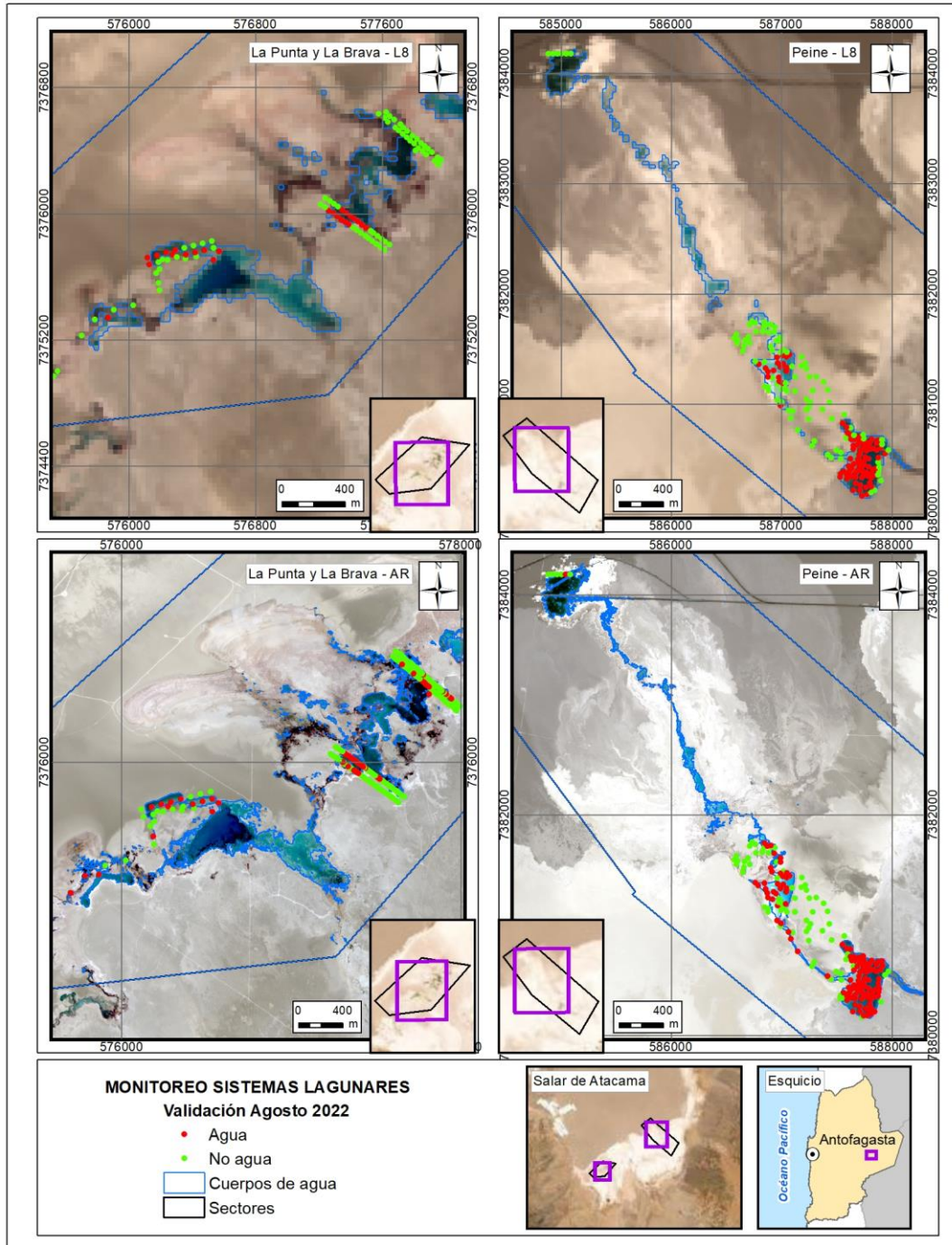
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-2. Distribución de puntos de validación para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, diciembre 2022.



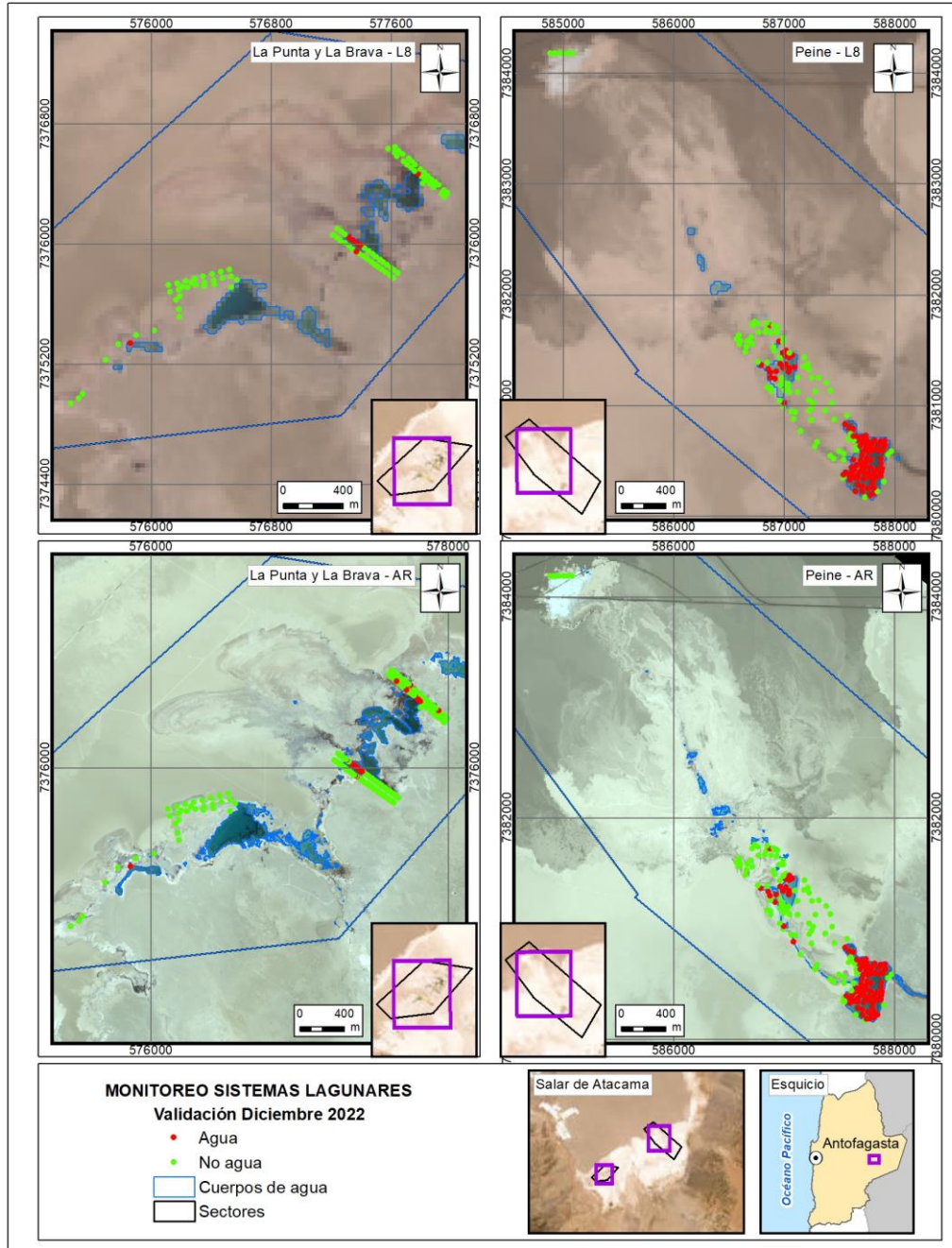
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-3. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector sur, agosto 2022.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-4. Distribución de puntos de validación en terreno para imágenes Landsat 8 y Pleiades 1-A, sector norte, diciembre 2022.



Fuente: Elaboración propia

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

Archivo adjunto en formato Excel:

ALB_PM_VALID_AR_L8_AGO22_DIC22_20022023.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 |
|--|--|---|---|
| 1. Imágenes satelitales de alta resolución | Worldview 2, Geoeyes 1 y Quickbird 2. | Pleiades 1-A | 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. |
| 2. Validación en terreno | 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. |
| 3. Procesamiento de imágenes satelitales – Corrección atmosférica | 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. |
| 4. Parámetros espectrales del modelo de clasificación | <ul style="list-style-type: none"> • NDWI, • Reflectancia NIR y • Reclasificación de bandas espectrales. | <ul style="list-style-type: none"> • NDWI, • Reflectancia NIR, • Reclasificación de bandas espectrales (en Pleiades 1-A), • NDVI, • Transformada <i>Tasseled Cap "Wetness"</i> (en Landsat 8) | Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado 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. |
| 5. Umbrales de clasificación | 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. |
| 6. Regla de clasificación de píxeles en cuerpo de agua | Cumplía con los umbrales de corte de los tres parámetros espectrales de clasificación. | Cumplía con los umbrales de corte en tres de los cuatro parámetros espectrales de clasificación. | Esta modificación, se realizó con el fin de robustecer el modelo ya desarrollado y en consideración de evitar errores significativos durante interpretaciones espectrales . Por lo mismo, se clasificaron en cuerpos de agua a los píxeles que tuvieran una alta probabilidad de pertenecer a este tipo de recubrimiento. |
| 7. Fechas de medición | Durante invierno altiplánico: 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 1-A

Archivos en formato *.pdf, en las carpetas adjuntas:

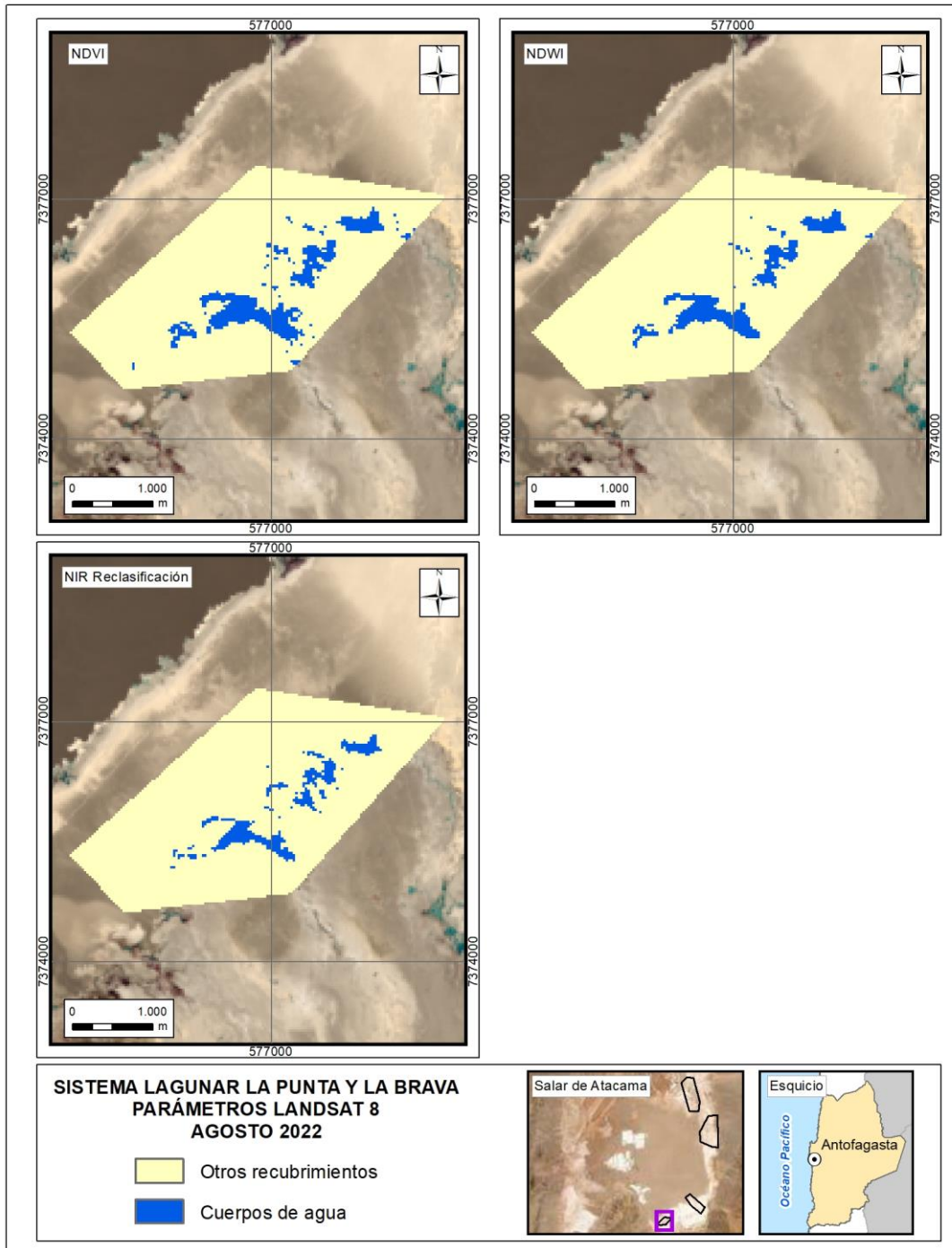
METADATA\Metadata_IMA_Pleiades\AGO22 ; METADATA\Metadata_IMA_Pleiades\DIC22

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

Archivos en formato *.pdf, en las carpetas adjuntas:

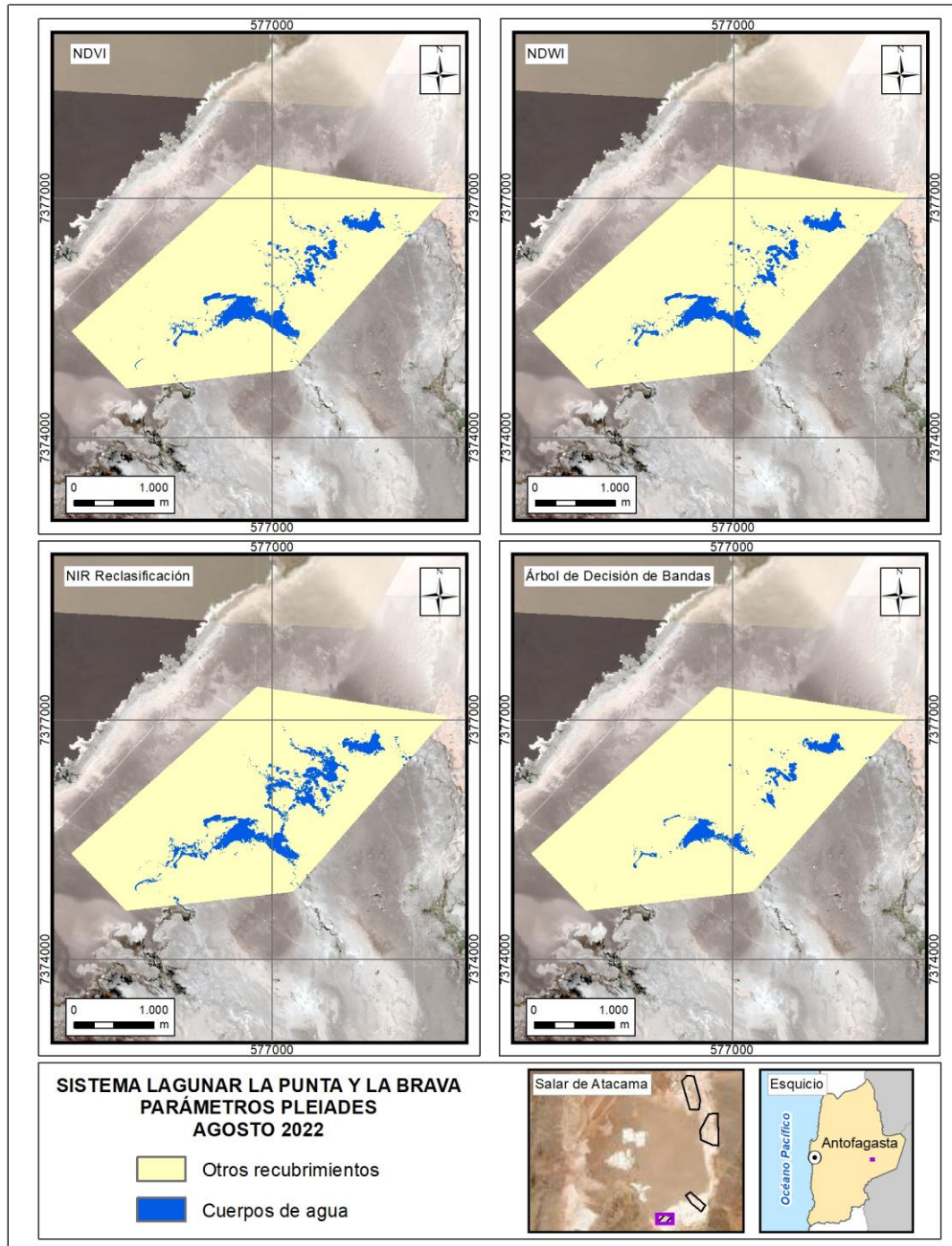
METADATA\Metadata_IMA_L8\AGO22 ; METADATA\Metadata_IMA_L8\DIC22

ANEXO 9-9. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Landsat 8, invierno 2022.



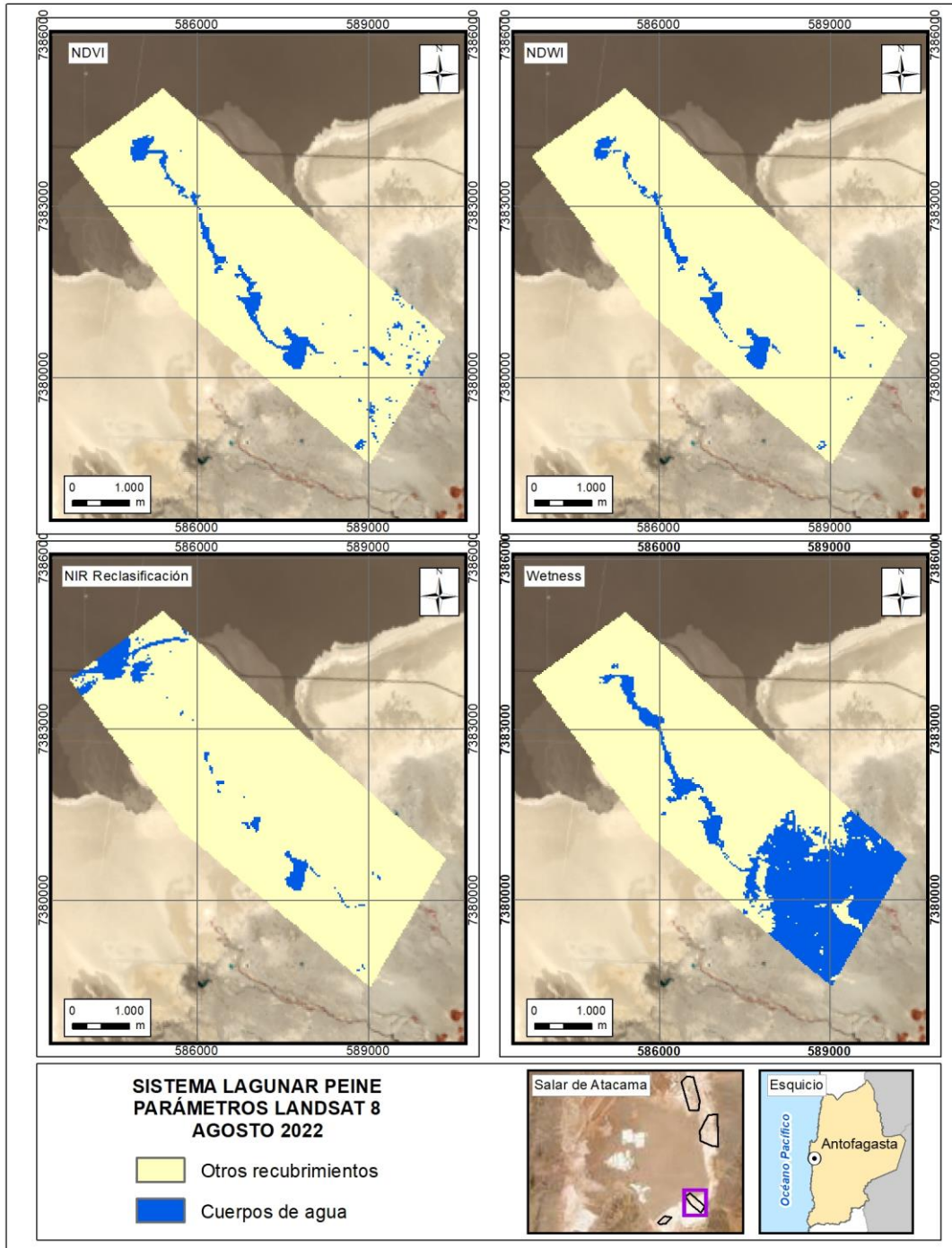
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-10. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022.



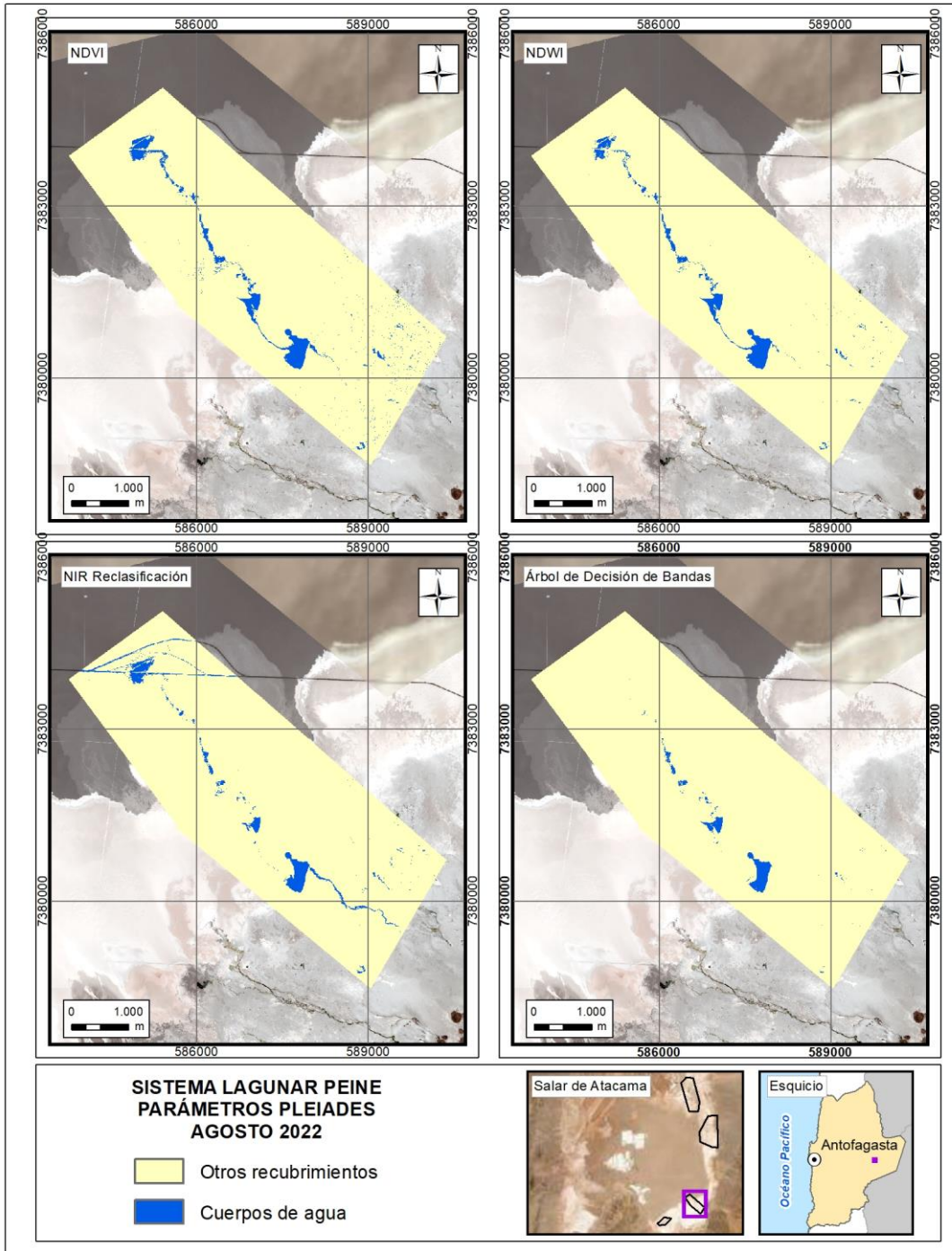
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-11. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Landsat 8, invierno 2022.



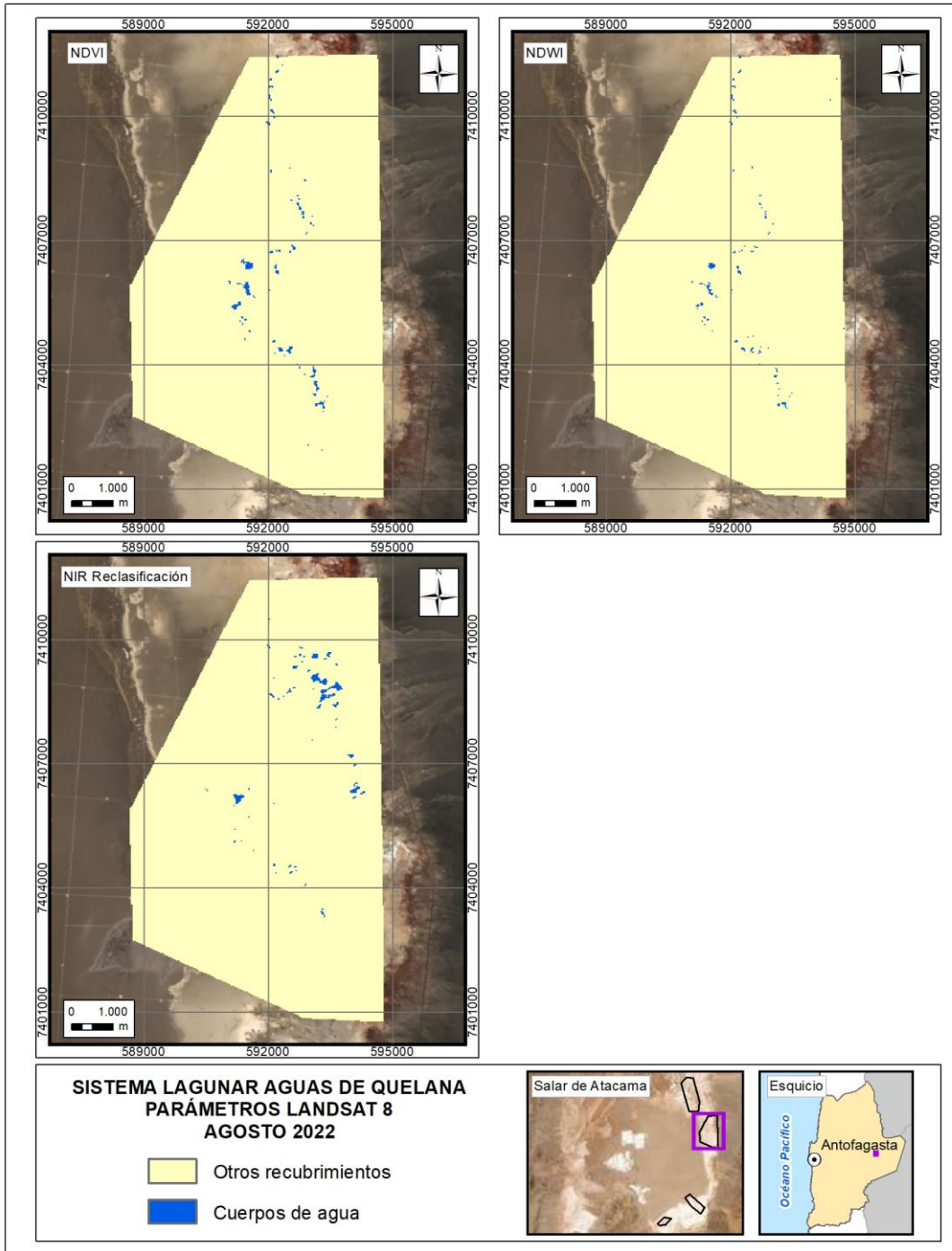
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-12. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022.



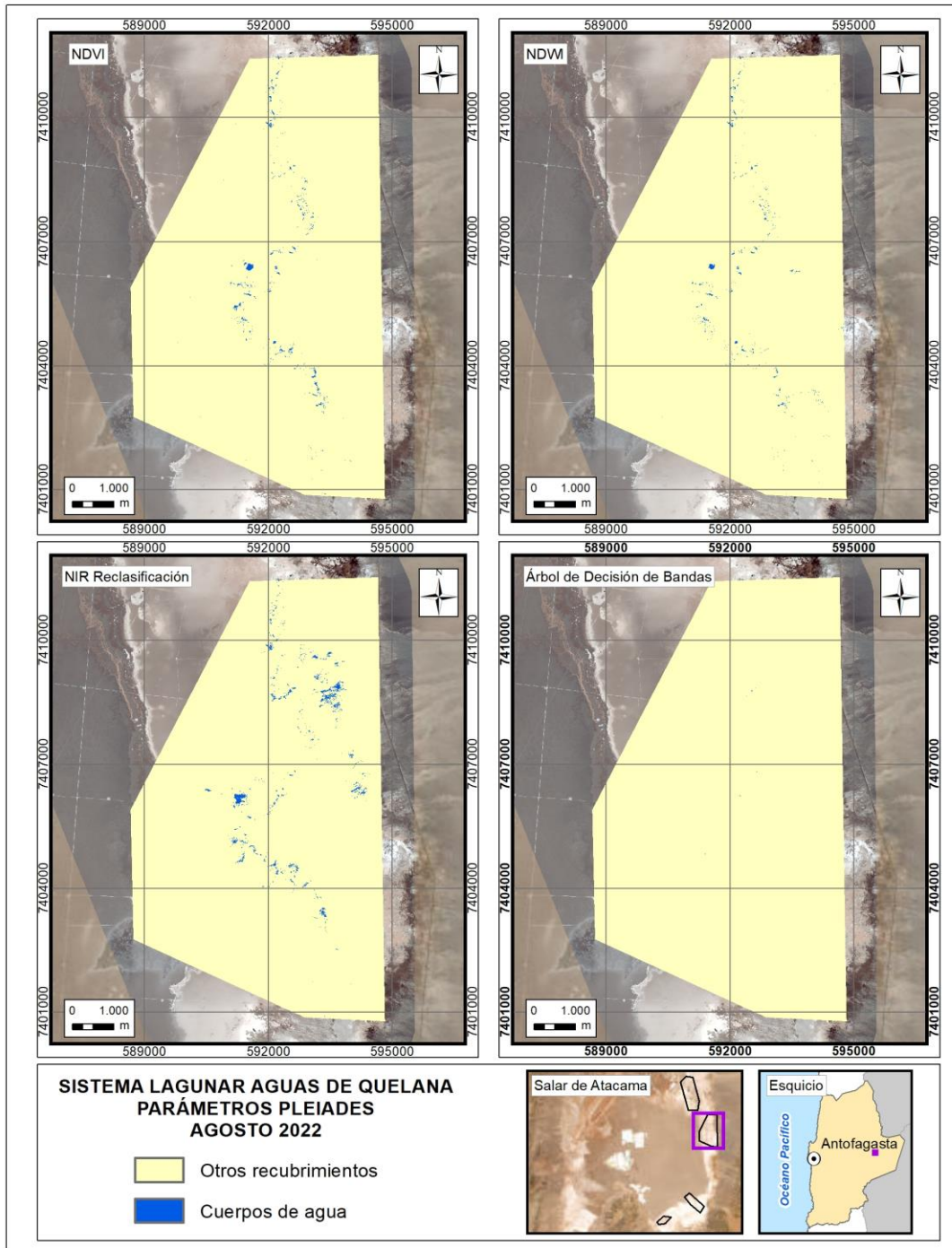
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-13. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Landsat 8, invierno 2022.



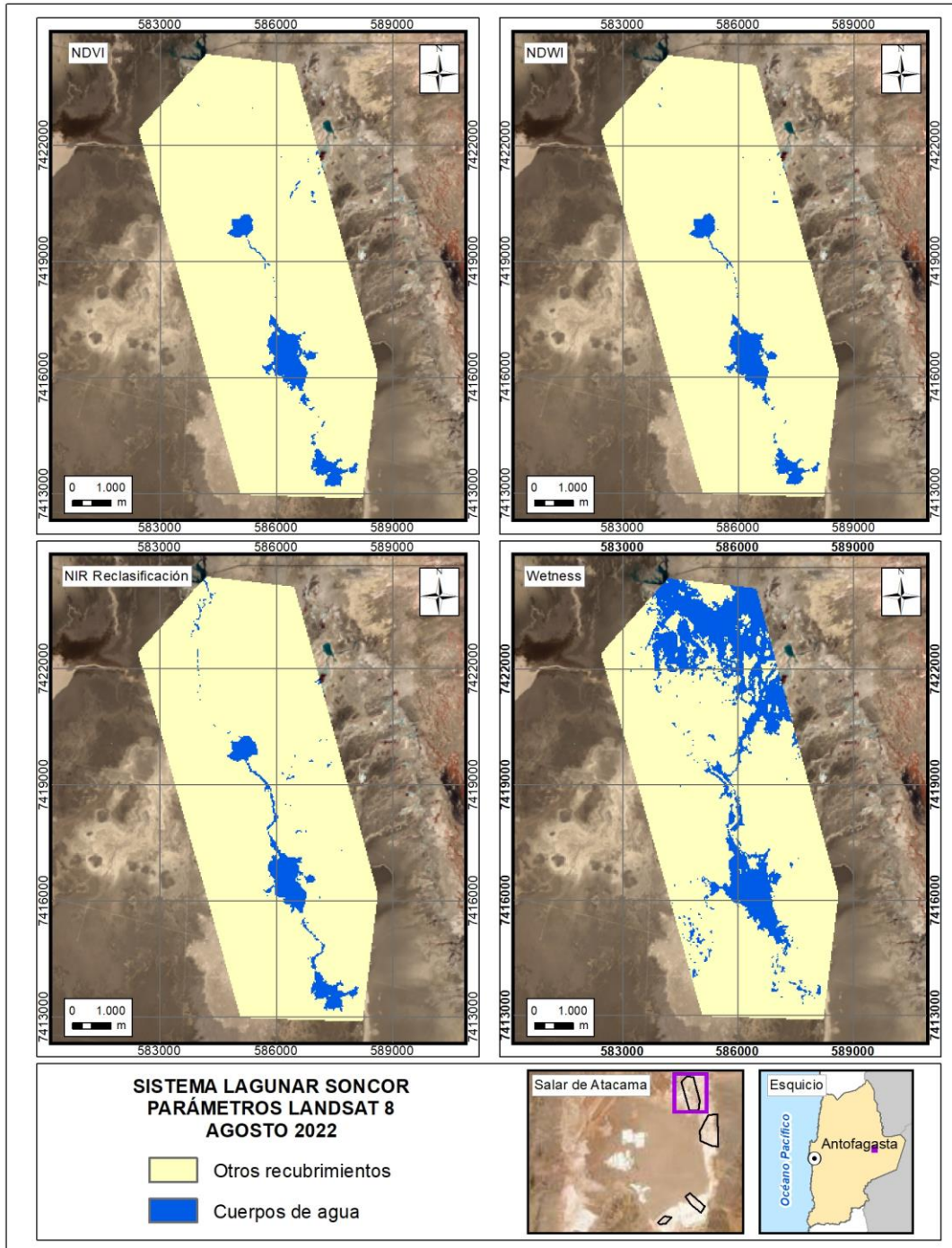
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-14. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022.



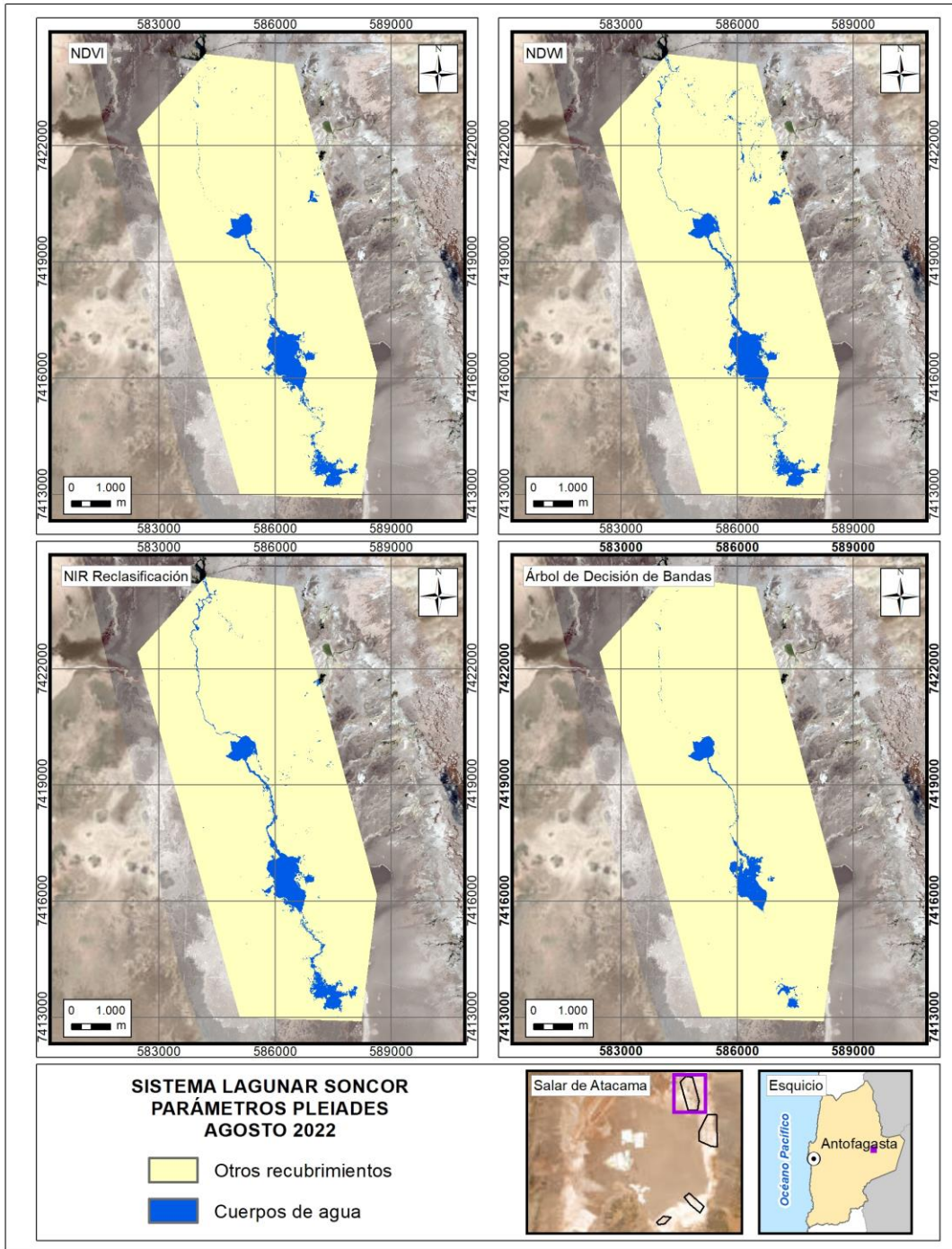
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-15. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Landsat 8, invierno 2022.



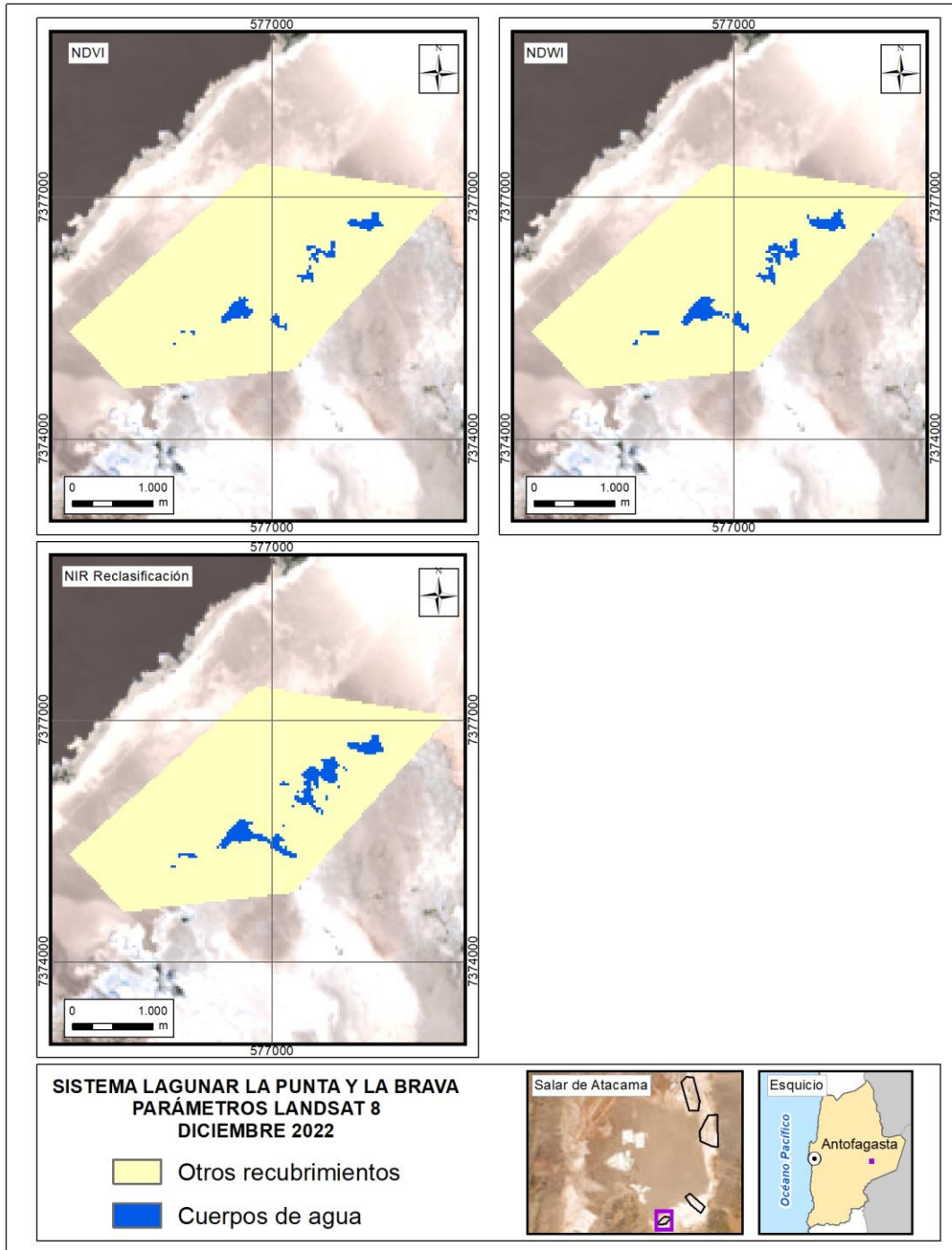
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-16. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Pleiades 1-A, invierno 2022.



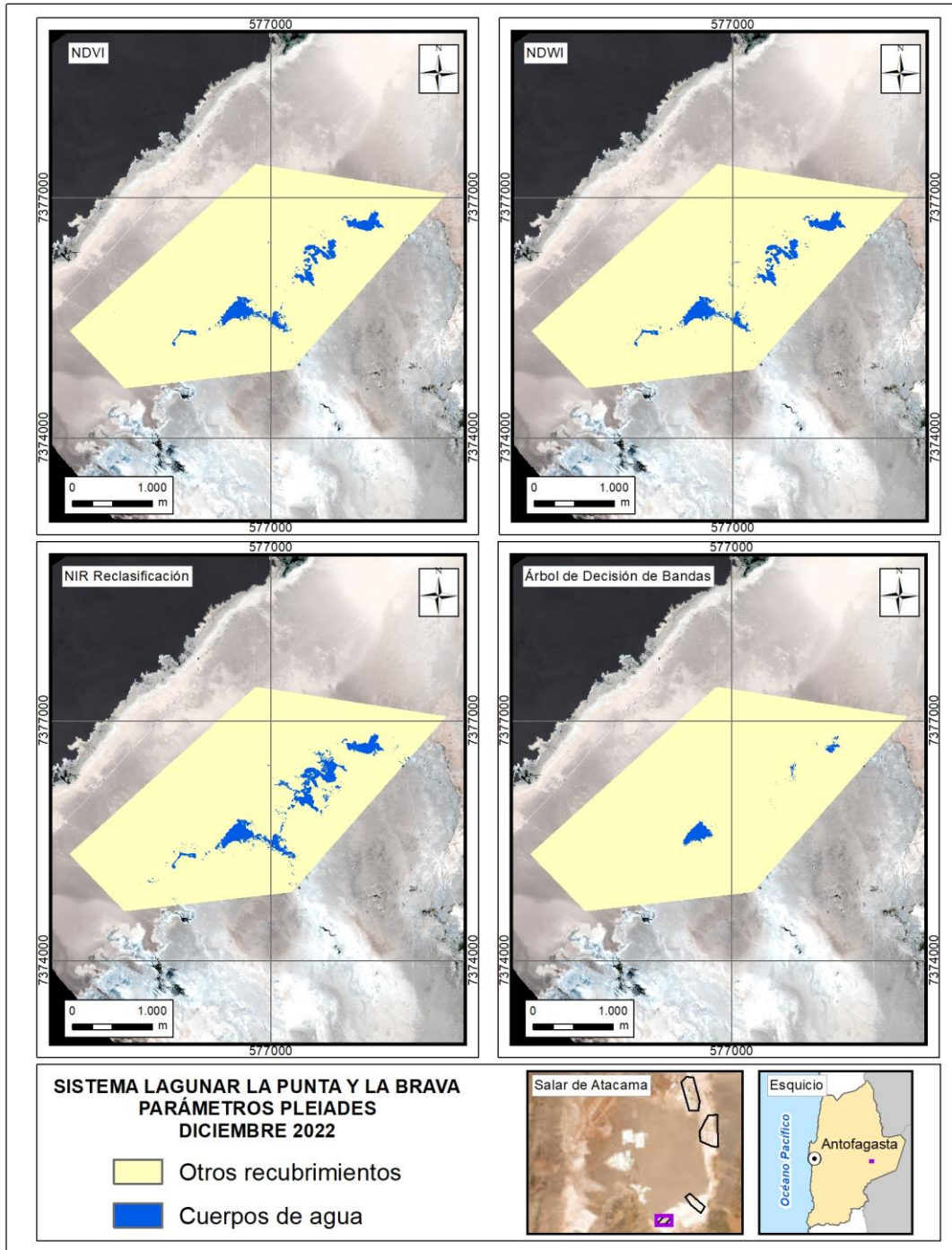
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-17. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Landsat 8, verano 2022.



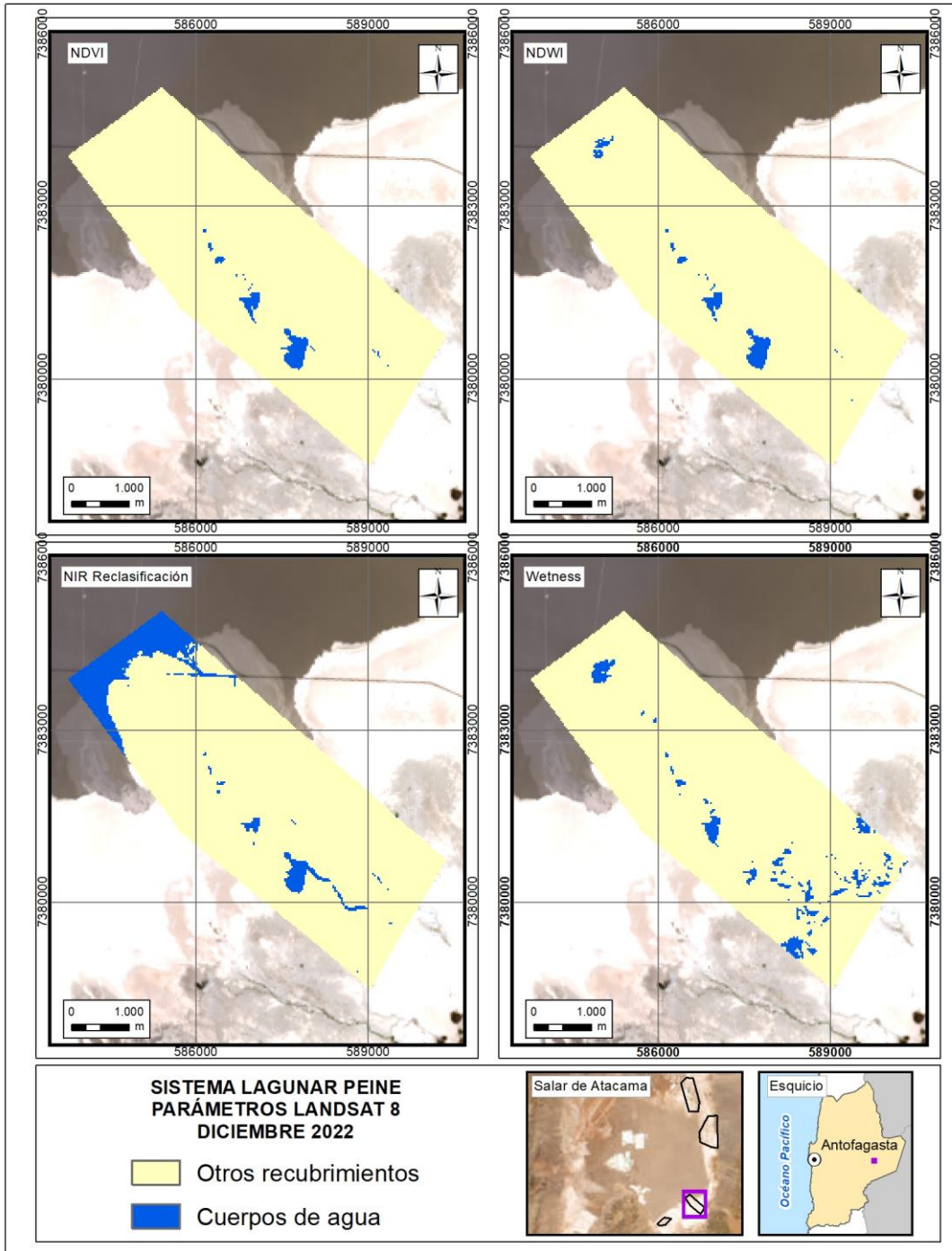
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-18. Parámetros espectrales para el sistema lagunar La Punta - La Brava, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022.



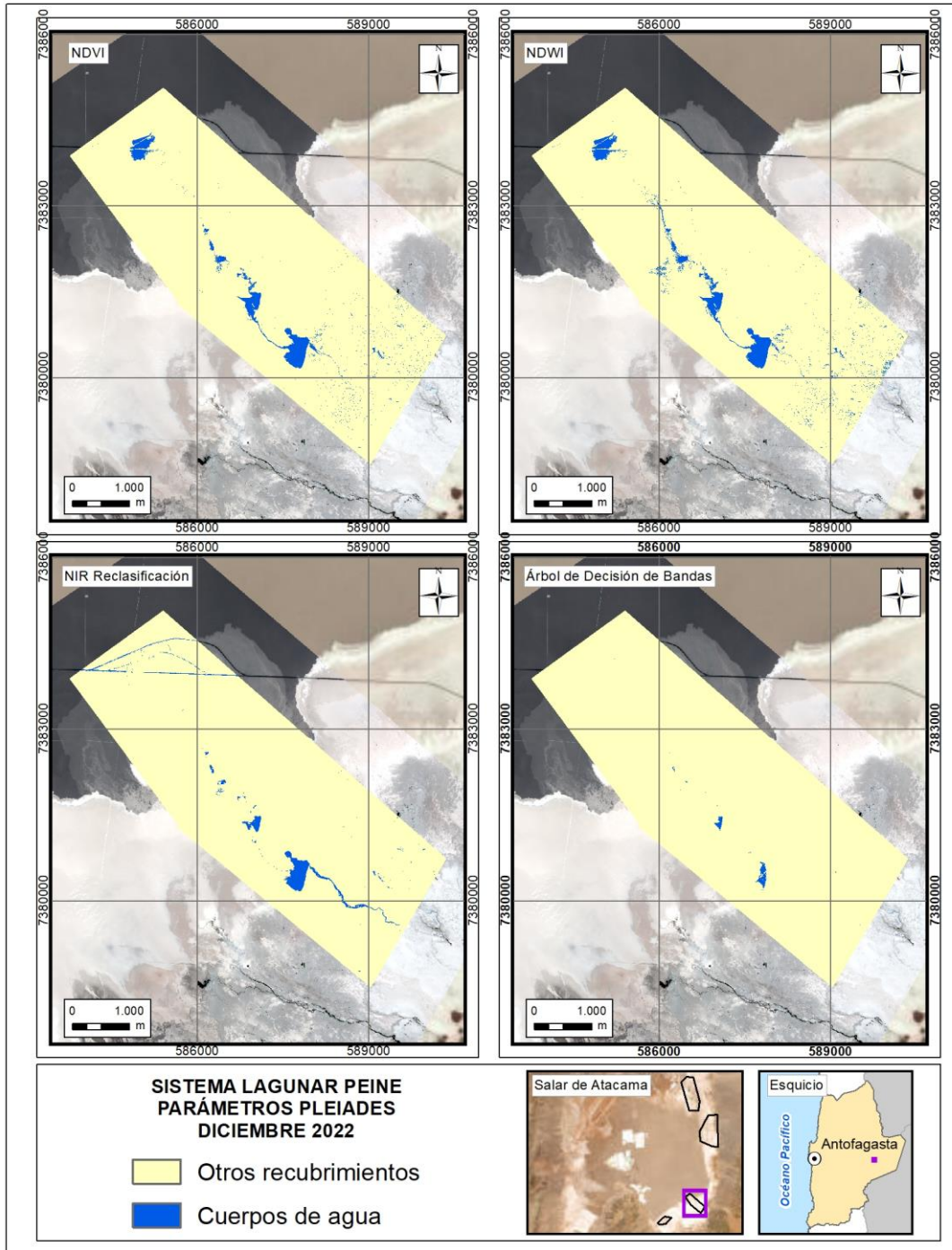
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-19. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Landsat 8, verano 2022.



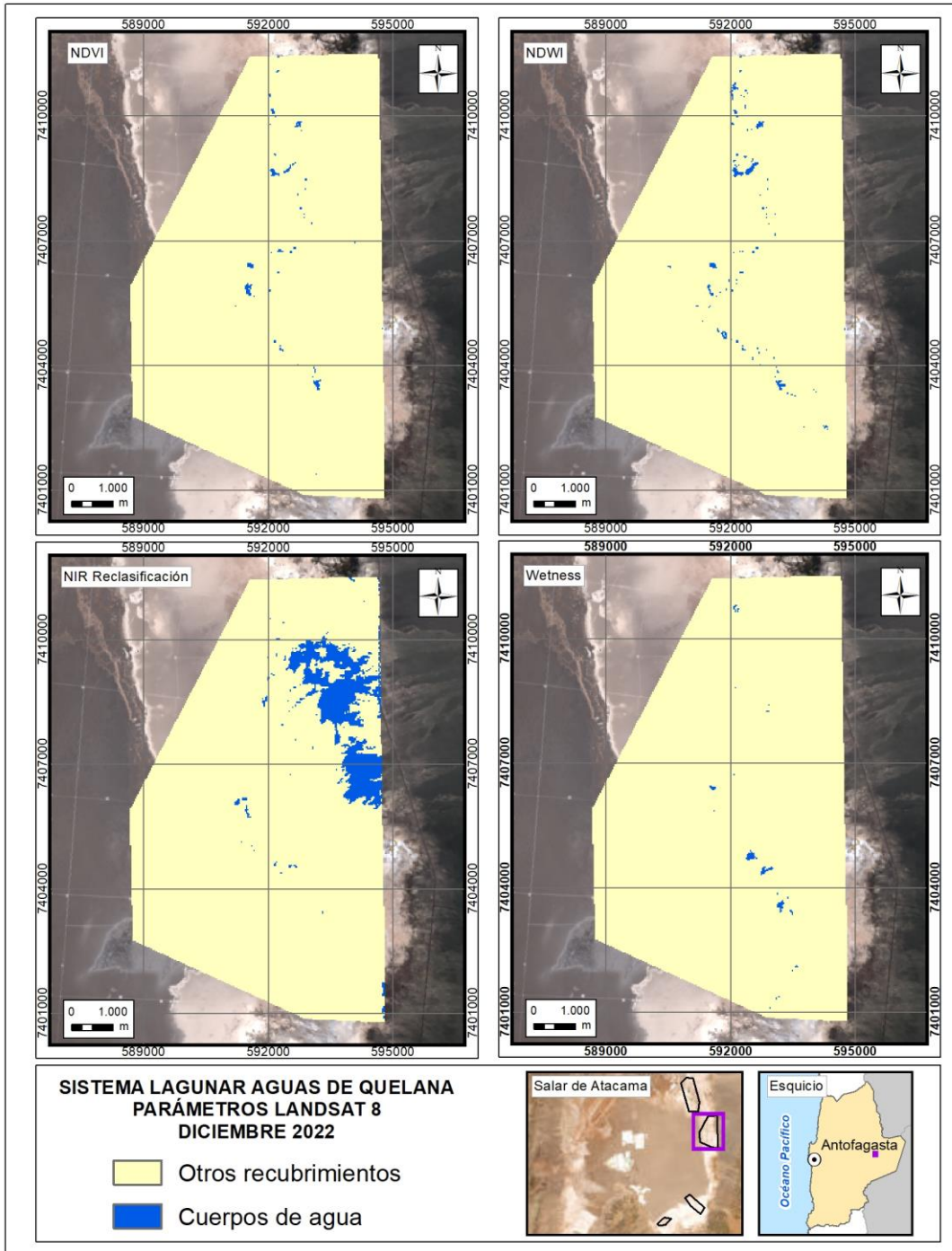
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-20. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Peine, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022.



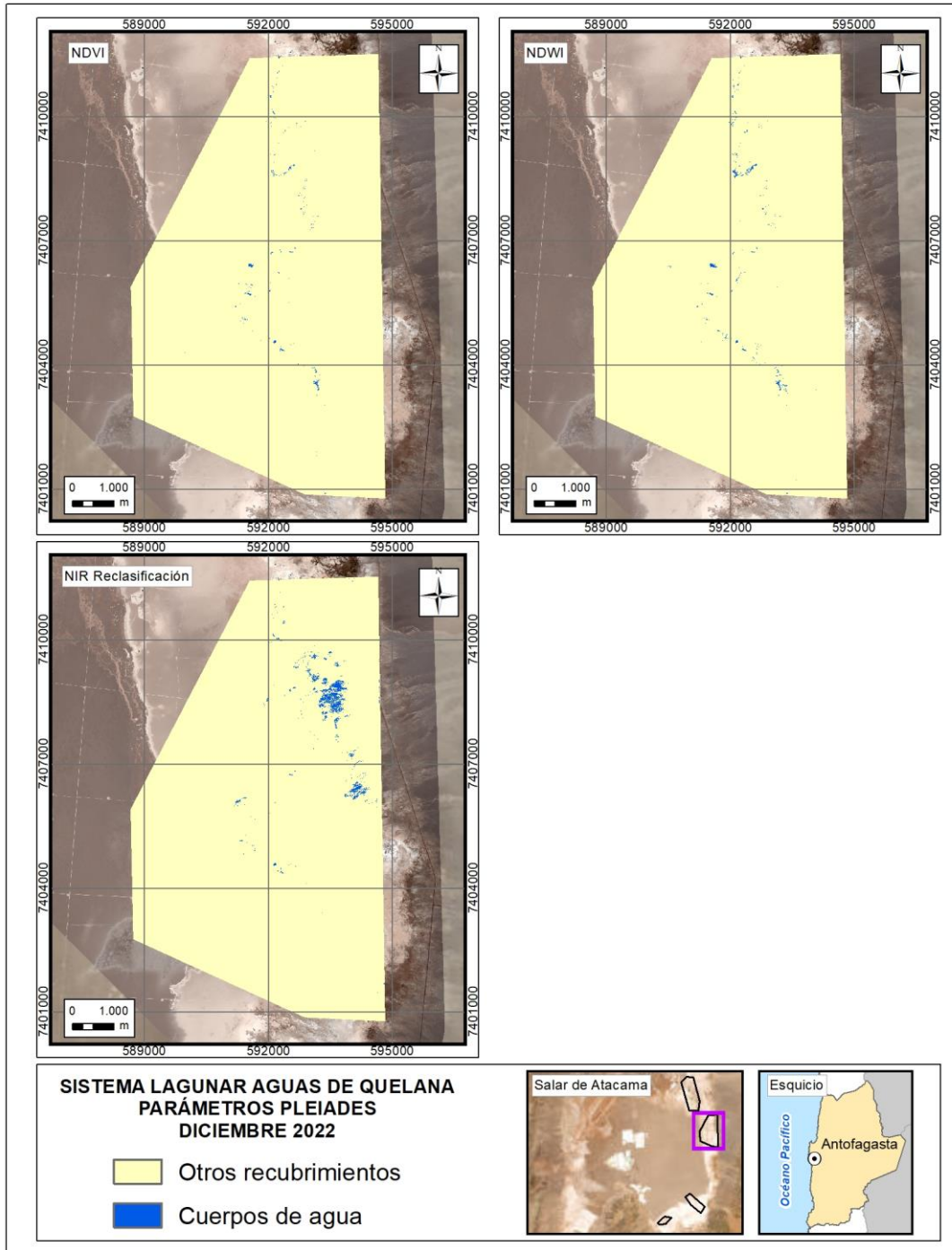
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-21. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Landsat 8, verano 2022.



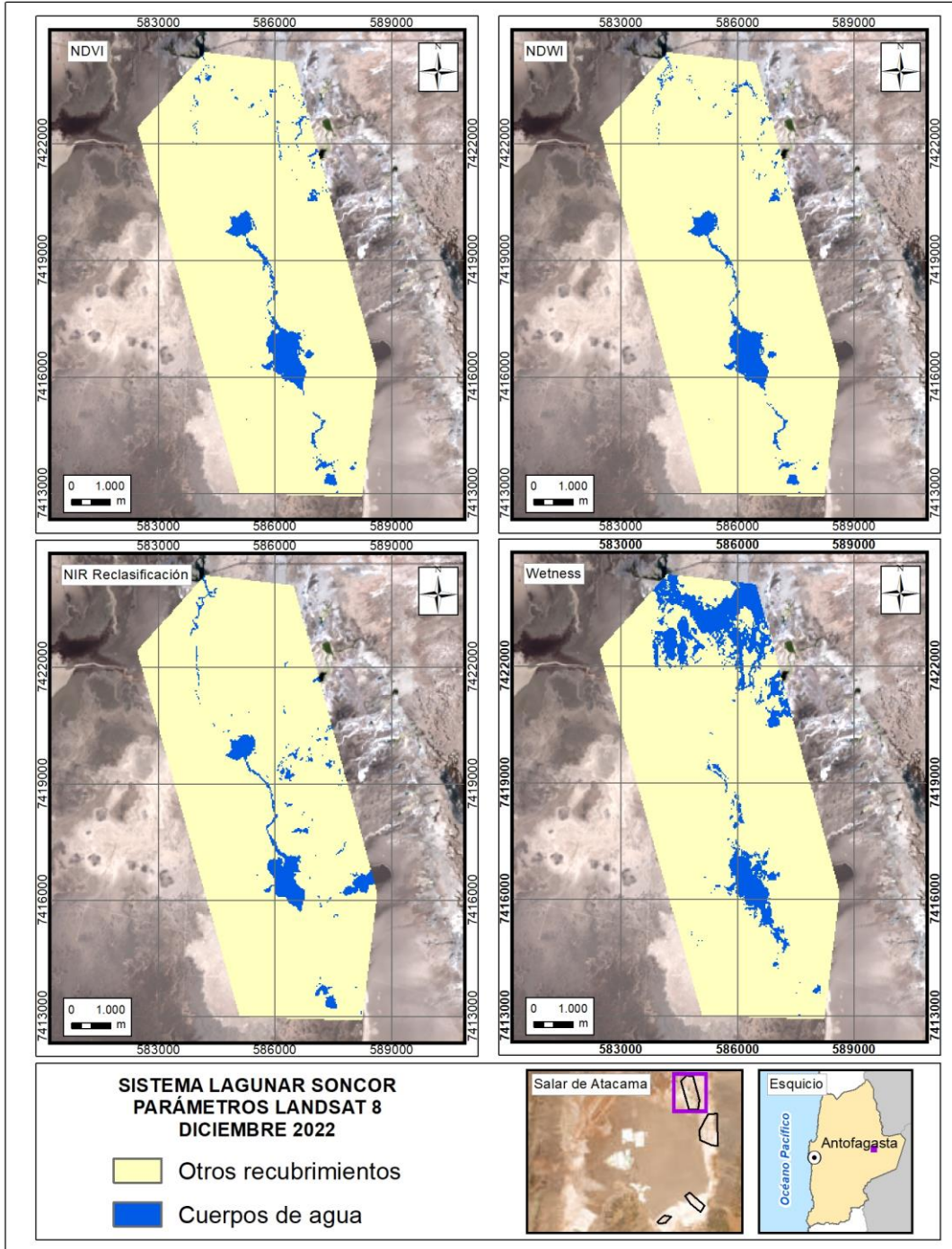
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-22. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Aguas de Quelana, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022.



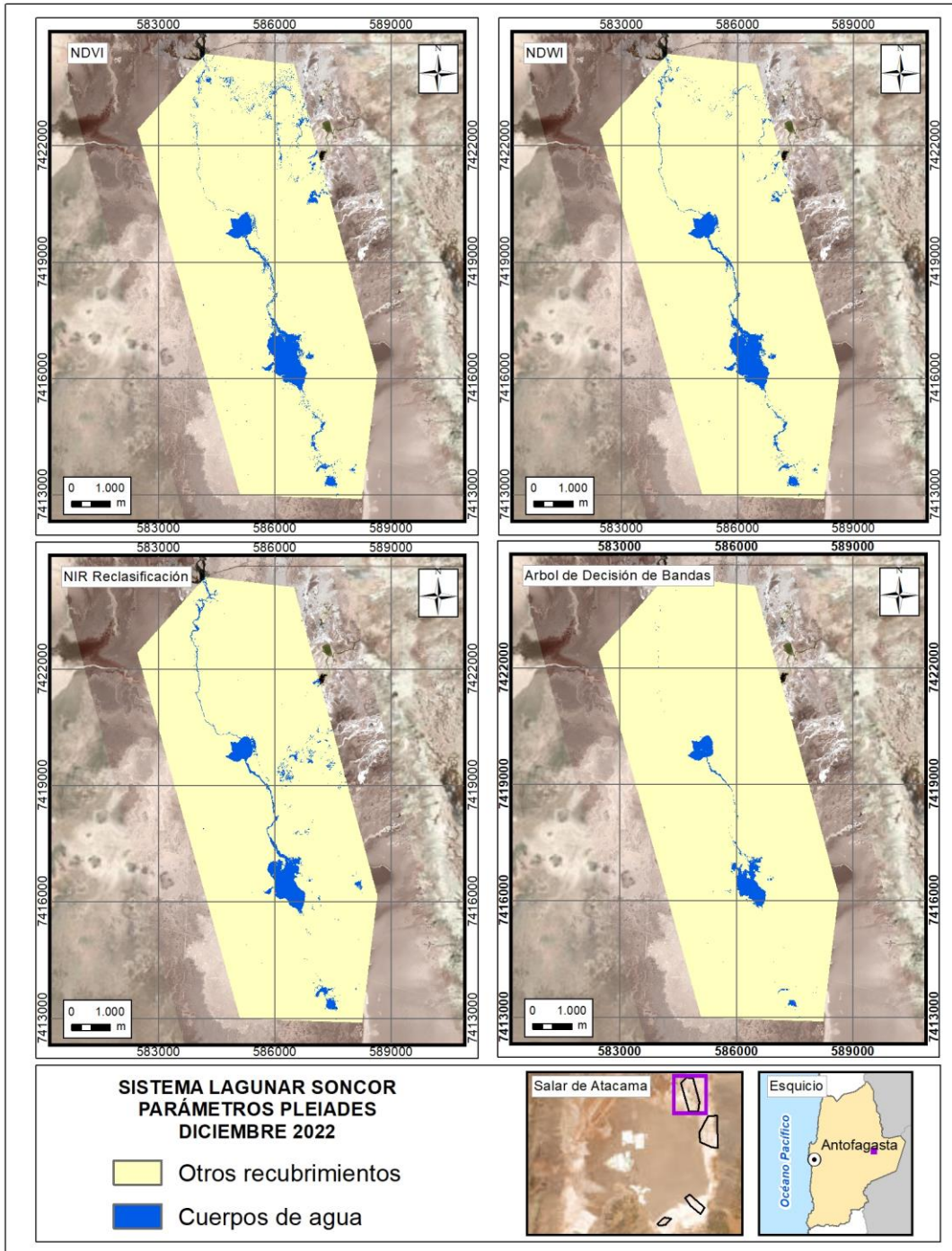
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-23. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Landsat 8, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-24. Parámetros espectrales para el sistema lagunar Soncor, imágenes Pleiades 1-A, verano 2022.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9-25. Imágenes Landsat 2016 – 2022 – Análisis NDWI.

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

| N° | Producto/Sensor | Año | Fecha de adquisición | ID - LANDSAT | Cobertura nubosa* |
|----|-----------------|------|----------------------|--|-------------------|
| 34 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 26-06-2017 | LC08_L1TP_233076_20170626_20170714_01_T1 | 9,28 |
| 35 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 12-07-2017 | LC08_L1TP_233076_20170712_20170726_01_T1 | 3,40 |
| 36 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 28-07-2017 | LC08_L1TP_233076_20170728_20170810_01_T1 | 3,50 |
| 37 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 13-08-2017 | LC08_L1TP_233076_20170813_20170825_01_T1 | 2,71 |
| 38 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 29-08-2017 | LC08_L1TP_233076_20170829_20180301_01_T1 | 2,40 |
| 39 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 14-09-2017 | LC08_L1TP_233076_20170914_20170928_01_T1 | 1,65 |
| 40 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 30-09-2017 | LC08_L1TP_233076_20170930_20171013_01_T1 | 1,72 |
| 41 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 16-10-2017 | LC08_L1TP_233076_20171016_20171024_01_T1 | 4,24 |
| 42 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 01-11-2017 | LC08_L1TP_233076_20171101_20171109_01_T1 | 1,57 |
| 43 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 17-11-2017 | LC08_L1TP_233076_20171117_20171122_01_T1 | 1,38 |
| 44 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 03-12-2017 | LC08_L1TP_233076_20171203_20171207_01_T1 | 3,60 |
| 45 | OLI_TIRS_L1TP | 2017 | 19-12-2017 | LC08_L1TP_233076_20171219_20171224_01_T1 | 15,63* |
| 46 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 04-01-2018 | LC08_L1TP_233076_20180104_20180118_01_T1 | 0,89 |
| 47 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 20-01-2018 | LC08_L1TP_233076_20180120_20180206_01_T1 | 4,26 |
| 48 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 05-02-2018 | LC08_L1TP_233076_20180205_20180221_01_T1 | 21,42* |
| 49 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 21-02-2018 | LC08_L1TP_233076_20180221_20180308_01_T1 | 0,77 |
| 50 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 09-03-2018 | LC08_L1TP_233076_20180309_20180320_01_T1 | 0,77 |
| 51 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 25-03-2018 | LC08_L1TP_233076_20180325_20180404_01_T1 | 3,02 |
| 52 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 10-04-2018 | LC08_L1TP_233076_20180410_20180417_01_T1 | 1,33 |
| 53 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 26-04-2018 | LC08_L1TP_233076_20180426_20180502_01_T1 | 42,69* |
| 54 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 12-05-2018 | LC08_L1TP_233076_20180512_20180517_01_T1 | 1,09 |
| 55 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 28-05-2018 | LC08_L1TP_233076_20180528_20180605_01_T1 | 0,90 |
| 56 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 13-06-2018 | LC08_L1TP_233076_20180613_20180703_01_T1 | 4,85 |
| 57 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 29-06-2018 | LC08_L1TP_233076_20180629_20180716_01_T1 | 2,63 |
| 58 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 15-07-2018 | LC08_L1TP_233076_20180715_20180730_01_T1 | 2,80 |
| 59 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 31-07-2018 | LC08_L1TP_233076_20180731_20180814_01_T1 | 3,60 |
| 60 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 16-08-2018 | LC08_L1TP_233076_20180816_20180829_01_T1 | 3,68 |
| 61 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 01-09-2018 | LC08_L1TP_233076_20180901_20180912_01_T1 | 2,50 |
| 62 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 17-09-2018 | LC08_L1TP_233076_20180917_20180928_01_T1 | 1,70 |
| 63 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 03-10-2018 | LC08_L1TP_233076_20181003_20181010_01_T1 | 2,49 |
| 64 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 19-10-2018 | LC08_L1TP_233076_20181019_20181031_01_T1 | 0,88 |
| 65 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 04-11-2018 | LC08_L1TP_233076_20181104_20181115_01_T1 | 0,62 |
| 66 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 20-11-2018 | LC08_L1TP_233076_20181120_20181129_01_T1 | 1,31 |
| 67 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 06-12-2018 | LC08_L1TP_233076_20181206_20181211_01_T1 | 0,97 |
| 68 | OLI_TIRS_L1TP | 2018 | 22-12-2018 | LC08_L1TP_233076_20181222_20181227_01_T1 | 0,99 |
| 69 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 07-01-2019 | LC08_L1TP_233076_20190107_20190130_01_T1 | 0,60 |
| 70 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 23-01-2019 | LC08_L1TP_233076_20190123_20190205_01_T1 | 0,24 |

| N° | Producto/Sensor | Año | Fecha de adquisición | ID - LANDSAT | Cobertura nubosa* |
|-----|-----------------|------|----------------------|--|-------------------|
| 71 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 08-02-2019 | LC08_L1TP_233076_20190208_20190221_01_T1 | 36,87* |
| 72 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 24-02-2019 | LC08_L1TP_233076_20190224_20190309_01_T1 | 0,67 |
| 73 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 12-03-2019 | LC08_L1TP_233076_20190312_20190325_01_T1 | 0,99 |
| 74 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 28-03-2019 | LC08_L1TP_233076_20190328_20190404_01_T1 | 1,18 |
| 75 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 13-04-2019 | LC08_L1TP_233076_20190413_20190422_01_T1 | 1,00 |
| 76 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 29-04-2019 | LC08_L1TP_233076_20190429_20190508_01_T1 | 1,25 |
| 77 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 15-05-2019 | LC08_L1TP_233076_20190515_20190521_01_T1 | 1,03 |
| 78 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 31-05-2019 | LC08_L1TP_233076_20190531_20190605_01_T1 | 0,96 |
| 79 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 16-06-2019 | LC08_L1TP_233076_20190616_20190620_01_T1 | 31,3* |
| 80 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 02-07-2019 | LC08_L1TP_233076_20190702_20190718_01_T1 | 38,81* |
| 81 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 18-07-2019 | LC08_L1TP_233076_20190718_20190731_01_T1 | 1,25 |
| 82 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 03-08-2019 | LC08_L1TP_233076_20190803_20190819_01_T1 | 1,25 |
| 83 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 19-08-2019 | LC08_L1TP_233076_20190819_20190902_01_T1 | 1,09 |
| 84 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 04-09-2019 | LC08_L1TP_233076_20190904_20190917_01_T1 | 8,14 |
| 85 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 20-09-2019 | LC08_L1TP_233076_20190920_20190926_01_T1 | 2,11 |
| 86 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 06-10-2019 | LC08_L1TP_233076_20191006_20191018_01_T1 | 1,44 |
| 87 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 22-10-2019 | LC08_L1TP_233076_20191022_20191030_01_T1 | 1,01 |
| 88 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 07-11-2019 | LC08_L1TP_233076_20191107_20191115_01_T1 | 0,40 |
| 89 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 23-11-2019 | LC08_L1TP_233076_20191123_20191203_01_T1 | 2,98 |
| 90 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 09-12-2019 | LC08_L1TP_233076_20191209_20191217_01_T1 | 0,84 |
| 91 | OLI_TIRS_L1TP | 2019 | 25-12-2019 | LC08_L1TP_233076_20191225_20200110_01_T1 | 2,11 |
| 92 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 10-01-2020 | LC08_L1TP_233076_20200110_20200114_01_T1 | 16,81* |
| 93 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 26-01-2020 | LC08_L1TP_233076_20200126_20200210_01_T1 | 13,69* |
| 94 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 11-02-2020 | LC08_L1TP_233076_20200211_20200225_01_T1 | 2,08 |
| 95 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 27-02-2020 | LC08_L1TP_233076_20200227_20200313_01_T1 | 0,34 |
| 96 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 14-03-2020 | LC08_L1TP_233076_20200314_20200325_01_T1 | 5,49 |
| 97 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 30-03-2020 | LC08_L1TP_233076_20200330_20200410_01_T1 | 0,71 |
| 98 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 15-04-2020 | LC08_L1TP_233076_20200415_20200423_01_T1 | 0,58 |
| 99 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 01-05-2020 | LC08_L1TP_233076_20200501_20200509_01_T1 | 0,9 |
| 100 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 17-05-2020 | LC08_L1TP_233076_20200517_20200527_01_T1 | 0,85 |
| 101 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 02-06-2020 | LC08_L1TP_233076_20200602_20200608_01_T1 | 3,88 |
| 102 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 18-06-2020 | LC08_L1TP_233076_20200618_20200625_01_T1 | 1,06 |
| 103 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 04-07-2020 | LC08_L1TP_233076_20200704_20200708_01_T1 | 0,75 |
| 104 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 20-07-2020 | LC08_L1TP_233076_20200720_20200807_01_T1 | 68,38* |
| 105 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 05-08-2020 | LC08_L1TP_233076_20200805_20200821_01_T1 | 1,36 |
| 106 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 21-08-2020 | LC08_L1TP_233076_20200821_20200905_01_T1 | 2,06 |
| 107 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 06-09-2020 | LC08_L1TP_233076_20200906_20200918_01_T1 | 4,2 |

| N° | Producto/Sensor | Año | Fecha de adquisición | ID - LANDSAT | Cobertura nubosa* |
|-----|-----------------|------|----------------------|--|-------------------|
| 108 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 22-09-2020 | LC08_L1TP_233076_20200922_20201006_01_T1 | 3,59 |
| 109 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 08-10-2020 | LC08_L1TP_233076_20201008_20201016_01_T1 | 1,45 |
| 110 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 24-10-2020 | LC08_L1TP_233076_20201024_20201105_01_T1 | 1,13 |
| 111 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 09-11-2020 | LC08_L1TP_233076_20201109_20210317_01_T1 | 0,96 |
| 112 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 25-11-2020 | LC08_L1TP_233076_20201125_20210315_01_T1 | 0,4 |
| 113 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 11-12-2020 | LC08_L1TP_233076_20201211_20210313_01_T1 | 0,37 |
| 114 | OLI_TIRS_L1TP | 2020 | 27-12-2020 | LC08_L1TP_233076_20201227_20210311_01_T1 | 18,55* |
| 115 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 12-01-2021 | LC08_L1TP_233076_20210112_20210307_01_T1 | 3,2 |
| 116 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 28-01-2021 | LC08_L1TP_233076_20210128_20210305_01_T1 | 0,53 |
| 117 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 13-02-2021 | LC08_L1TP_233076_20210213_20210304_01_T1 | 0,58 |
| 118 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 01-03-2021 | LC08_L1TP_233076_20210301_20210311_01_T1 | 1,57 |
| 119 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 17-03-2021 | LC08_L1TP_233076_20210317_20210328_01_T1 | 0,64 |
| 120 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 02-04-2021 | LC08_L1TP_233076_20210402_20210409_01_T1 | 0,79 |
| 121 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 18-04-2021 | LC08_L1TP_233076_20210418_20210424_01_T1 | 0,86 |
| 122 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 04-05-2021 | LC08_L1TP_233076_20210504_20210517_01_T1 | 0,74 |
| 123 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 20-05-2021 | LC08_L1TP_233076_20210520_20210528_01_T1 | 5,01 |
| 124 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 05-06-2021 | LC08_L1TP_233076_20210605_20210614_01_T1 | 4,41 |
| 125 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 21-06-2021 | LC08_L1TP_233076_20210621_20210629_01_T1 | 18,57* |
| 126 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 07-07-2021 | LC08_L1TP_233076_20210707_20210713_01_T1 | 2,37 |
| 127 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 23-07-2021 | LC08_L1TP_233076_20210723_20210729_01_T1 | 1,51 |
| 128 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 08-08-2021 | LC08_L1TP_233076_20210808_20210818_01_T1 | 2,09 |
| 129 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 24-08-2021 | LC08_L1TP_233076_20210824_20210831_01_T1 | 1,22 |
| 130 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 09-09-2021 | LC08_L1TP_233076_20210909_20210916_01_T1 | 3,8 |
| 131 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 25-09-2021 | LC08_L1TP_233076_20210925_20211001_01_T1 | 1,01 |
| 132 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 11-10-2021 | LC08_L1TP_233076_20211011_20211019_01_T1 | 0,94 |
| 133 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 27-10-2021 | LC08_L1TP_233076_20211027_20211104_01_T1 | 0,89 |
| 134 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 12-11-2021 | LC08_L1TP_233076_20211112_20211124_01_T1 | 0,59 |
| 135 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 28-11-2021 | LC08_L1TP_233076_20211128_20211208_01_T1 | 0,4 |
| 136 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 14-12-2021 | LC08_L1TP_233076_20211214_20211223_01_T1 | 3,44 |
| 137 | OLI_TIRS_L1TP | 2021 | 30-12-2021 | LC08_L1TP_233076_20211230_20220106_01_T1 | 0,46 |
| 138 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 15-01-2022 | LC08_L2SP_233076_20220115_20220123_02_T1 | 17,48* |
| 139 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 31-01-2022 | LC08_L2SP_233076_20220131_20220205_02_T1 | 3,86 |
| 140 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 16-02-2022 | LC08_L2SP_233076_20220216_20220223_02_T1 | 1,59 |
| 141 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 04-03-2022 | LC08_L2SP_233076_20220304_20220314_02_T1 | 12,73* |
| 142 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 20-03-2022 | LC08_L2SP_233076_20220320_20220329_02_T1 | 17,14* |
| 143 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 05-04-2022 | LC08_L2SP_233076_20220405_20220412_02_T1 | 0,83 |
| 144 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 21-04-2022 | LC08_L2SP_233076_20220421_20220428_02_T1 | 0,79 |

| N° | Producto/Sensor | Año | Fecha de adquisición | ID - LANDSAT | Cobertura nubosa* |
|-----|-----------------|------|----------------------|--|-------------------|
| 145 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 07-05-2022 | LC08_L2SP_233076_20220507_20220512_02_T1 | 11,05* |
| 146 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 23-05-2022 | LC08_L2SP_233076_20220523_20220602_02_T1 | 1,17 |
| 147 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 08-06-2022 | LC08_L2SP_233076_20220608_20220616_02_T1 | 5,85 |
| 148 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 10-07-2022 | LC08_L2SP_233076_20220710_20220722_02_T1 | 13,28* |
| 149 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 26-07-2022 | LC08_L2SP_233076_20220726_20220802_02_T1 | 1,12 |
| 150 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 11-08-2022 | LC08_L2SP_233076_20220811_20220818_02_T1 | 1,65 |
| 151 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 27-08-2022 | LC08_L2SP_233076_20220827_20220909_02_T1 | 1,23 |
| 152 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 12-09-2022 | LC08_L2SP_233076_20220912_20220922_02_T1 | 3,89 |
| 153 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 28-09-2022 | LC08_L2SP_233076_20220928_20221005_02_T1 | 0,99 |
| 154 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 14-10-2022 | LC08_L2SP_233076_20221014_20221021_02_T1 | 1,08 |
| 155 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 30-10-2022 | LC08_L2SP_233076_20221030_20221108_02_T1 | 1,13 |
| 156 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 15-11-2022 | LC08_L2SP_233076_20221115_20230113_02_T1 | 0,63 |
| 157 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 01-12-2022 | LC08_L2SP_233076_20221201_20221212_02_T1 | 0,58 |
| 158 | OLI_TIRS_L2SP | 2022 | 17-12-2022 | LC08_L2SP_233076_20221217_20221227_02_T1 | 0,36 |

*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; sus resultados se analizan por la imagen de salida, pero podría no considerarse en la medida que se presente como un valor extremo en la serie de datos.

Anexo C-2

Registro Superficie cubierta por Lagunas (1985-2022)

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) |
| Lag Aguas de Quelana | 01-08-2022 | 183,019 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| Lag Aguas de Quelana | 01-08-2022 | 360,039 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| Lag Aguas de Quelana | 01-12-2022 | 62,322 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| Lag Aguas de Quelana | 01-12-2022 | 177,829 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| 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 |
| 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 |

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

| Nombre | Fecha | Superficie (m2) | Imagen Satelital | Fuente |
|---------------|------------|-----------------|---|---|
| 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) |
| LAGUNAS_PEINE | 01-08-2022 | 504,796 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| LAGUNAS_PEINE | 01-08-2022 | 628,203 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| LAGUNAS_PEINE | 01-12-2022 | 242,284 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| LAGUNAS_PEINE | 01-12-2022 | 276,620 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| 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 |
| 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 |

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

| Nombre | Fecha | Superficie (m2) | Imagen Satéлитal | Fuente |
|-------------|------------|-----------------|---|---|
| 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) |
| PUNTA_BRAVA | 01-08-2022 | 451,057 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| PUNTA_BRAVA | 01-08-2022 | 569,345 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| PUNTA_BRAVA | 01-12-2022 | 253,216 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| PUNTA_BRAVA | 01-12-2022 | 269,378 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| SONCOR | 01-03-2007 | 1,924,000 | Minima Historica) Satéлитe alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye) | CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5 |
| SONCOR | 01-04-2010 | 2,028,000 | Satéлитe alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye) | CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5 |
| SONCOR | 01-04-2011 | 2,339,000 | Satéлитe alta resolución (QuickBird/Worldview/GeoEye) | CEA_Apendice B (Tabla 4.9), Anexo 2 Adenda5 |
| SONCOR | 01-04-2013 | 2,342,000 | Satéлитe 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 | Satéлитe 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 |
| 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) |
| SONCOR | 01-08-2022 | 1,900,976 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| SONCOR | 01-08-2022 | 1,962,905 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |
| SONCOR | 01-12-2022 | 1,354,906 | PLEIADES 1A | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |

Anexo C: Superficie cubierta por Lagunas

| Nombre | Fecha | Superficie (m2) | Imagen Satelital | Fuente |
|--------|------------|-----------------|------------------|---------------------------------|
| SONCOR | 01-12-2022 | 1,848,238 | LANDSAT 8 | Apogeos y Reporte CEDREM (2022) |

| NOMBRE | FECHA | SUPERFICIE | UNIDAD | SC_ALAG_TIPM | C_FUENTES_B | ESTACION | OBSERVACION | PROPIETARIO |
|----------------------|------------|------------|--------|--------------|---------------|----------|-------------|-------------|
| Lagunas de Peine | 31-10-1972 | 2031022 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 31-10-1972 | 557761 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 31-10-1972 | 4856771 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 31-10-1972 | 1224432 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 24-03-1973 | 1694120 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 24-03-1973 | 617199 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 24-03-1973 | 192469 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 24-03-1973 | 473290 | m2 | LANDSAT 1 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 23-03-1975 | 667002 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 23-03-1975 | 373150 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 23-03-1975 | 59458 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 23-03-1975 | 2586376 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 23-08-1975 | 1339934 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 23-08-1975 | 2727012 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 23-08-1975 | 244982 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 23-08-1975 | 405419 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 30-11-1975 | 1626147 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 30-11-1975 | 315509 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 30-11-1975 | 2469 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 30-11-1975 | 254340 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 28-02-1976 | 2469 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 28-02-1976 | 1433495 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 28-02-1976 | 264210 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 28-02-1976 | 251343 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 17-03-1976 | 355292 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 17-03-1976 | 297101 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 17-03-1976 | 2469 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 17-03-1976 | 1866896 | m2 | LANDSAT 2 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 25-12-1984 | 373349 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 25-12-1984 | 859631 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 25-12-1984 | 96741 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 25-12-1984 | 2721881 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 21-07-1985 | 1629314 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 21-07-1985 | 5594631 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 21-07-1985 | 1158818 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 21-07-1985 | 1665409 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 24-07-1986 | 1263722 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 24-07-1986 | 506101 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 24-07-1986 | 3442617 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 24-07-1986 | 1435219 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 31-12-1986 | 358334 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 31-12-1986 | 19047 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 31-12-1986 | 2126707 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 31-12-1986 | 553777 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 16-11-1987 | 22328 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lagunas de Peine | 16-11-1987 | 369996 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 16-11-1987 | 365194 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 16-11-1987 | 2129696 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 29-07-1988 | 1338159 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 29-07-1988 | 438273 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 29-07-1988 | 2846447 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 29-07-1988 | 722028 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 18-11-1988 | 1974062 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 18-11-1988 | 22531 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 18-11-1988 | 387782 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 18-11-1988 | 430300 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 04-12-1988 | 25794 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 04-12-1988 | 397703 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 04-12-1988 | 383183 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 04-12-1988 | 1960445 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 08-07-1989 | 539705 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 08-07-1989 | 3347779 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 08-07-1989 | 1191216 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 08-07-1989 | 784975 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 21-11-1989 | 1925749 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 21-11-1989 | 17430 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 21-11-1989 | 448874 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 21-11-1989 | 366156 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 03-07-1990 | 2904150 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 03-07-1990 | 666385 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 03-07-1990 | 1125568 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 03-07-1990 | 452249 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 08-11-1990 | 22366 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 08-11-1990 | 380441 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 08-11-1990 | 444708 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 08-11-1990 | 1957165 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 22-07-1991 | 447196 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 22-07-1991 | 1422734 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 22-07-1991 | 2556616 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 22-07-1991 | 533394 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lagunas de Peine | 29-12-1991 | 550178 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 29-12-1991 | 413405 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 29-12-1991 | 2065618 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 29-12-1991 | 24237 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 24-07-1992 | 505140 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 24-07-1992 | 370509 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 24-07-1992 | 2752042 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 24-07-1992 | 1487858 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 29-11-1992 | 474552 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 29-11-1992 | 1958691 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 29-11-1992 | 18175 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 29-11-1992 | 391079 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 11-07-1993 | 559166 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 11-07-1993 | 2587834 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 11-07-1993 | 377514 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 11-07-1993 | 1150344 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 18-12-1993 | 16473 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 18-12-1993 | 372084 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 18-12-1993 | 1916557 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 18-12-1993 | 419174 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 14-07-1994 | 355899 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 14-07-1994 | 2424867 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 14-07-1994 | 1107566 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 14-07-1994 | 529683 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 05-12-1994 | 378064 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 05-12-1994 | 21671 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 05-12-1994 | 1876447 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 05-12-1994 | 549633 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 17-07-1995 | 460240 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 17-07-1995 | 1186808 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 17-07-1995 | 2784103 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 17-07-1995 | 592229 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 08-12-1995 | 501341 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 08-12-1995 | 1754413 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 08-12-1995 | 371990 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |

| | | | | | | | | |
|----------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lag Aguas de Quelana | 08-12-1995 | 17323 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 19-07-1996 | 1160102 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 19-07-1996 | 571222 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 19-07-1996 | 2365357 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 19-07-1996 | 359144 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 10-12-1996 | 1900653 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 10-12-1996 | 242495 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 10-12-1996 | 26799 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 10-12-1996 | 420437 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 22-07-1997 | 956845 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 22-07-1997 | 1333278 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 22-07-1997 | 3466598 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 22-07-1997 | 426821 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 13-12-1997 | 386181 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 13-12-1997 | 17400 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 13-12-1997 | 1676280 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 13-12-1997 | 392729 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 25-07-1998 | 3285523 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 25-07-1998 | 330643 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 25-07-1998 | 1372282 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 25-07-1998 | 867141 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 01-01-1999 | 2849696 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 01-01-1999 | 517566 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 01-01-1999 | 1089565 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 01-01-1999 | 667911 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 20-07-1999 | 1319253 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 20-07-1999 | 1144895 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 20-07-1999 | 388652 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 20-07-1999 | 3775976 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 27-12-1999 | 331909 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 27-12-1999 | 453178 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 27-12-1999 | 1781352 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 27-12-1999 | 33126 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 07-08-2000 | 1094729 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 07-08-2000 | 810589 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |

| | | | | | | | | |
|----------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lag Aguas de Quelana | 07-08-2000 | 347332 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 07-08-2000 | 4011897 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 29-12-2000 | 1751075 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 29-12-2000 | 37449 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 29-12-2000 | 319687 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 29-12-2000 | 425372 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 25-07-2001 | 604547 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 25-07-2001 | 711400 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 25-07-2001 | 110599 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 25-07-2001 | 2460564 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 16-12-2001 | 1938067 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 16-12-2001 | 411225 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 16-12-2001 | 32338 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 16-12-2001 | 392819 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 28-07-2002 | 1875406 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 28-07-2002 | 918807 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 28-07-2002 | 344757 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 28-07-2002 | 177222 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 19-12-2002 | 399585 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 19-12-2002 | 35752 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 19-12-2002 | 2037654 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 19-12-2002 | 396083 | m2 | LANDSAT 7 + ETM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 23-07-2003 | 891853 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 23-07-2003 | 1375778 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 23-07-2003 | 515232 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 23-07-2003 | 4112342 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 14-12-2003 | 361455 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 14-12-2003 | 1748121 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 14-12-2003 | 408509 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 14-12-2003 | 39618 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 25-07-2004 | 3354748 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 25-07-2004 | 793923 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 25-07-2004 | 1183904 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 25-07-2004 | 512334 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 17-01-2005 | 538086 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lagunas de Peine | 17-01-2005 | 641632 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 17-01-2005 | 172889 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 17-01-2005 | 2400233 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 12-07-2005 | 956341 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 12-07-2005 | 3313844 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 12-07-2005 | 787125 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 12-07-2005 | 455794 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 17-11-2005 | 594404 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 17-11-2005 | 3138637 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 17-11-2005 | 670294 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 17-11-2005 | 314401 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 31-07-2006 | 729266 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 31-07-2006 | 323269 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 31-07-2006 | 857922 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 31-07-2006 | 3088075 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 06-12-2006 | 317514 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 06-12-2006 | 7870 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 06-12-2006 | 1440996 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 06-12-2006 | 277660 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 18-07-2007 | 3019477 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 18-07-2007 | 399081 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 18-07-2007 | 841721 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 18-07-2007 | 759145 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 11-02-2008 | 197192 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 11-02-2008 | 613393 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 11-02-2008 | 630010 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 11-02-2008 | 2170289 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 21-08-2008 | 284195 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 21-08-2008 | 2874042 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 21-08-2008 | 665498 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 21-08-2008 | 734303 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 27-12-2008 | 1625959 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 27-12-2008 | 424516 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 27-12-2008 | 26292 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 27-12-2008 | 341991 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lagunas de Peine | 07-07-2009 | 725709 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 07-07-2009 | 744000 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 07-07-2009 | 381537 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 07-07-2009 | 3131564 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 24-08-2009 | 715189 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 24-08-2009 | 318308 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 24-08-2009 | 679013 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 24-08-2009 | 3178457 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 14-12-2009 | 339665 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 14-12-2009 | 443593 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 14-12-2009 | 1627200 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 14-12-2009 | 19176 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 26-07-2010 | 286037 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 26-07-2010 | 738658 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 26-07-2010 | 2823499 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 26-07-2010 | 744253 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 17-12-2010 | 389986 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 17-12-2010 | 341144 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 17-12-2010 | 33001 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 17-12-2010 | 1621501 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 14-08-2011 | 51834 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 14-08-2011 | 489030 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 14-08-2011 | 2351405 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 14-08-2011 | 469253 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 02-11-2011 | 539802 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 02-11-2011 | 640551 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 02-11-2011 | 2759559 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 02-11-2011 | 399549 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 23-07-2012 | 2585421 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 23-07-2012 | 118192 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 23-07-2012 | 559654 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 23-07-2012 | 544325 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 30-12-2012 | 32139 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 30-12-2012 | 1682158 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 30-12-2012 | 329450 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|---------|----|-----------------|---------------|----------|--|-----|
| Lagunas de Peine | 30-12-2012 | 433036 | m2 | LANDSAT 5 TM | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 18-07-2013 | 342481 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 18-07-2013 | 3689697 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 18-07-2013 | 859080 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 18-07-2013 | 796557 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 25-12-2013 | 49858 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 25-12-2013 | 1496310 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 25-12-2013 | 305140 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 25-12-2013 | 543632 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 21-07-2014 | 44595 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| La Punta La Brava | 21-07-2014 | 450525 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lagunas de Peine | 21-07-2014 | 450333 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Soncor | 21-07-2014 | 2011741 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Invierno | | ALB |
| Lag Aguas de Quelana | 12-12-2014 | 8700 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Soncor | 12-12-2014 | 1476550 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| Lagunas de Peine | 12-12-2014 | 304307 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |
| La Punta La Brava | 12-12-2014 | 289616 | m2 | LANDSAT 8 | Argongra 2015 | Verano | | ALB |



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)”

ANEXO

Láminas – Variaciones Anuales Superficies
Sector/Monitoreo 2016 - 2022



Región de Antofagasta

Marzo 2023

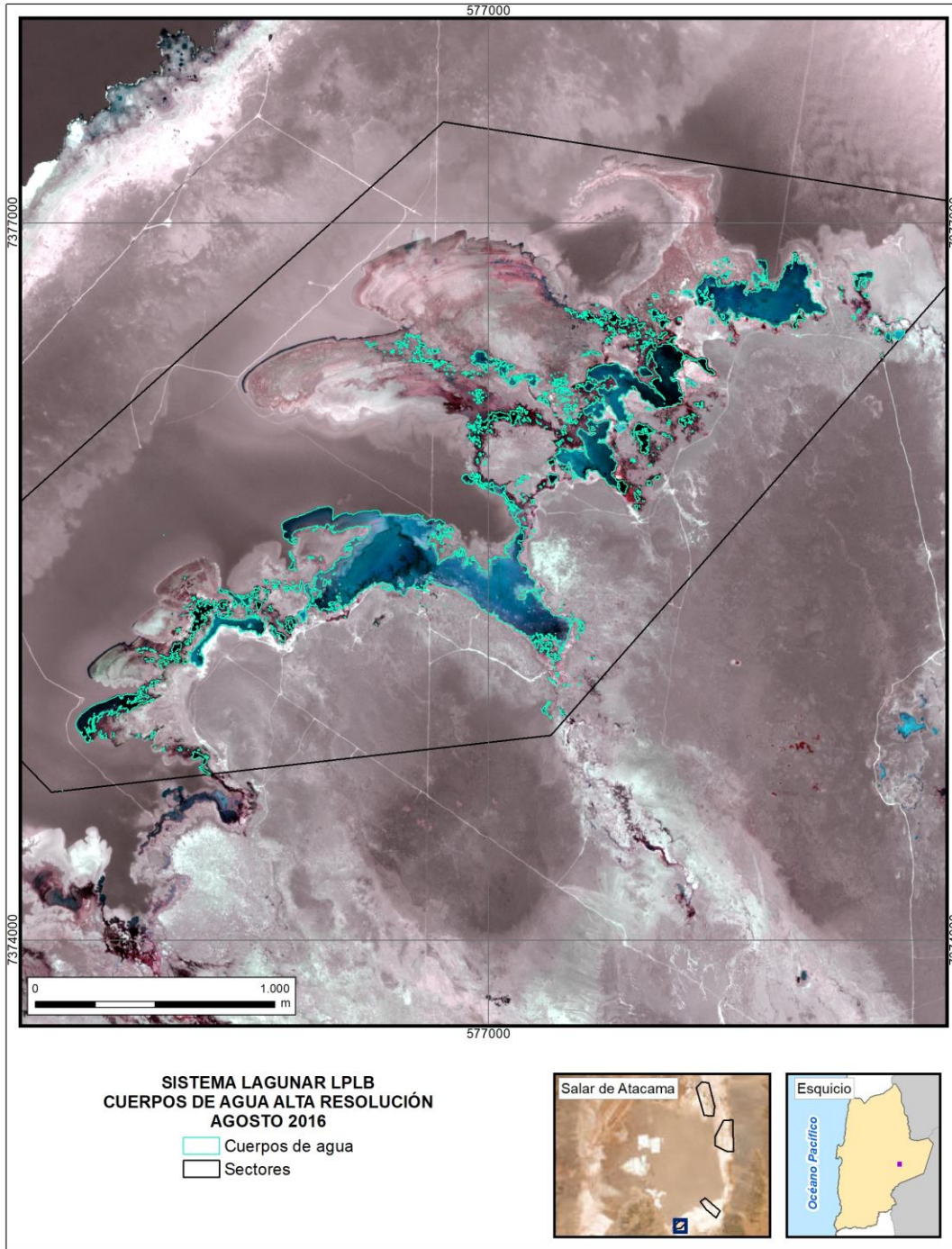
TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|------|---|----|
| 1 | ANEXO: Superficies según Sector/Monitoreo – Pleiades 1A | 4 |
| 1.1 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016..... | 4 |
| 1.2 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017..... | 5 |
| 1.3 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018..... | 6 |
| 1.4 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019..... | 7 |
| 1.5 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020..... | 8 |
| 1.6 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021..... | 9 |
| 1.7 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022..... | 10 |
| 1.8 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016..... | 11 |
| 1.9 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017..... | 12 |
| 1.10 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018..... | 13 |
| 1.11 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019..... | 14 |
| 1.12 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020..... | 15 |
| 1.13 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021..... | 16 |
| 1.14 | Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022..... | 17 |
| 1.15 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016 | 18 |
| 1.16 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017 | 19 |
| 1.17 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018 | 20 |
| 1.18 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019 | 21 |
| 1.19 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020 | 22 |
| 1.20 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021 | 23 |
| 1.21 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022 | 24 |
| 1.22 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016 | 25 |
| 1.23 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017 | 26 |
| 1.24 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018 | 27 |
| 1.25 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019 | 28 |
| 1.26 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020 | 29 |
| 1.27 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021 | 30 |
| 1.28 | Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022 | 31 |
| 1.29 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016 | 32 |
| 1.30 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017 | 33 |
| 1.31 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018 | 34 |
| 1.32 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019 | 35 |
| 1.33 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020 | 36 |
| 1.34 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021 | 37 |
| 1.35 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022 | 38 |
| 1.36 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016 | 39 |
| 1.37 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017 | 40 |
| 1.38 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018 | 41 |
| 1.39 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019 | 42 |
| 1.40 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020 | 43 |
| 1.41 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021 | 44 |
| 1.42 | Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022 | 45 |
| 1.43 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016..... | 46 |
| 1.44 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017 | 47 |

| | | |
|------|--|----|
| 1.45 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018..... | 48 |
| 1.46 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019..... | 49 |
| 1.47 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020..... | 50 |
| 1.48 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021..... | 51 |
| 1.49 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022..... | 52 |
| 1.50 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016..... | 53 |
| 1.51 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017..... | 54 |
| 1.52 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018..... | 55 |
| 1.53 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019..... | 56 |
| 1.54 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020..... | 57 |
| 1.55 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021..... | 58 |
| 1.56 | Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022..... | 59 |

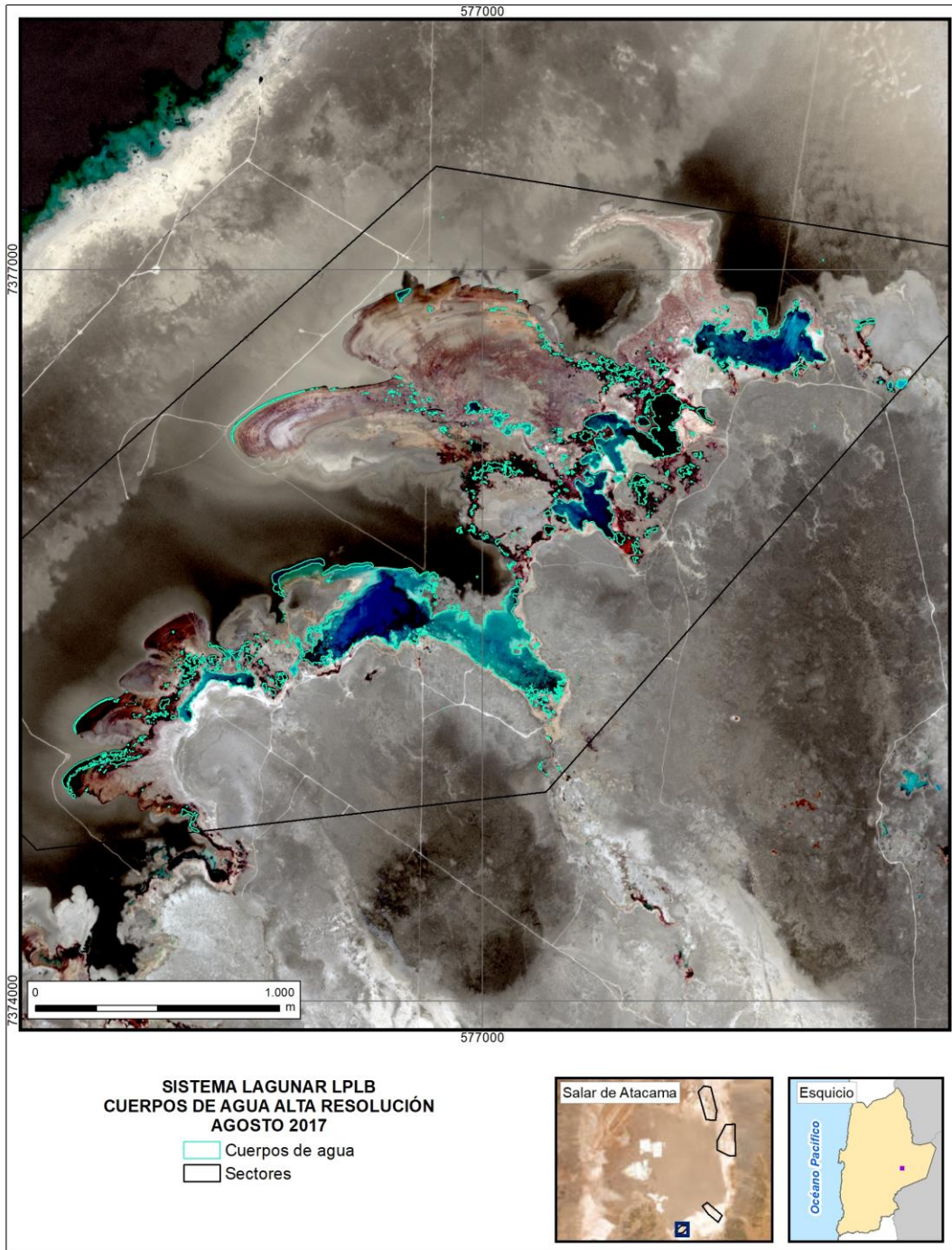
1 ANEXO: SUPERFICIES SEGÚN SECTOR/MONITOREO – PLEIADES 1A

1.1 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016



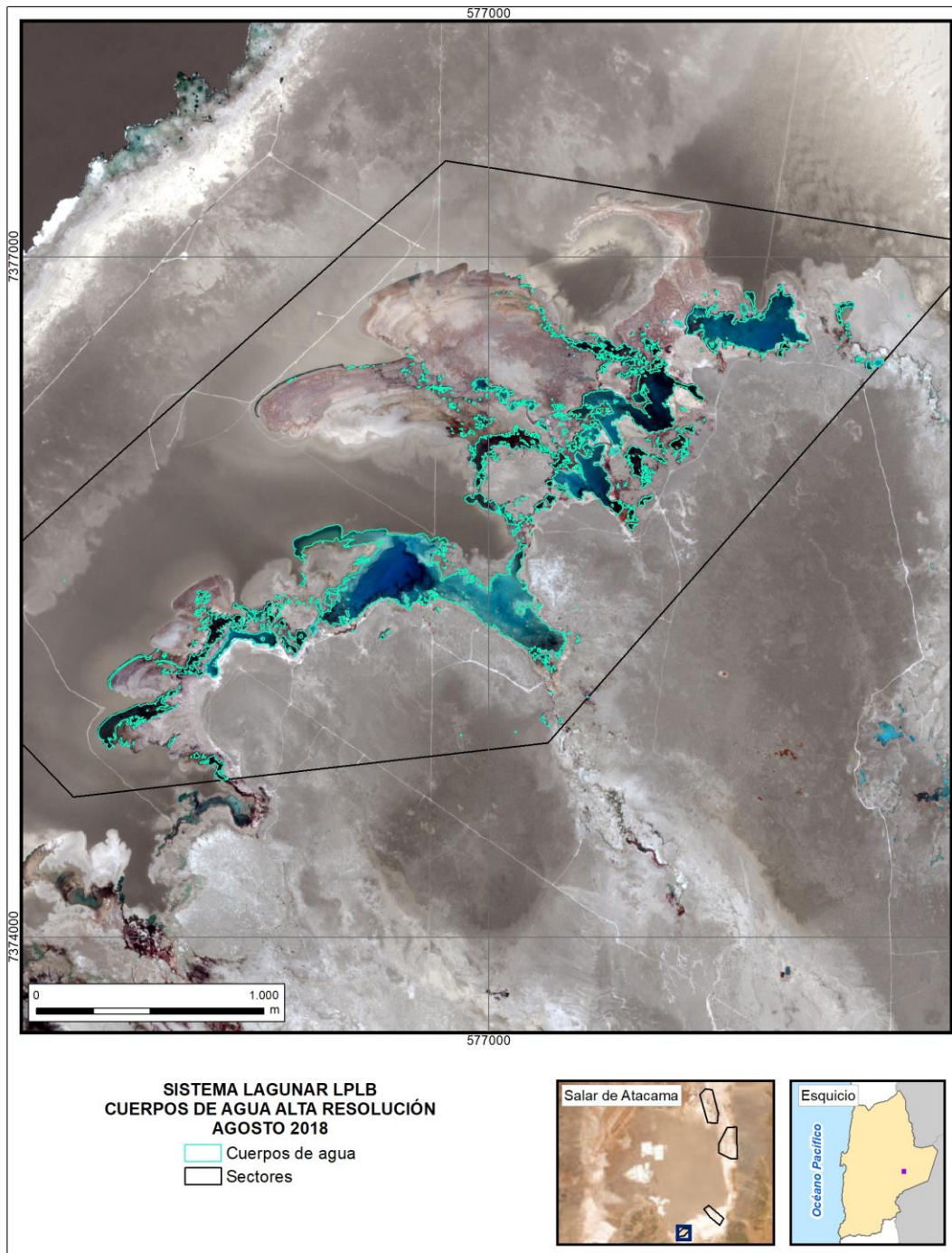
Fuente: Elaboración propia

1.2 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017



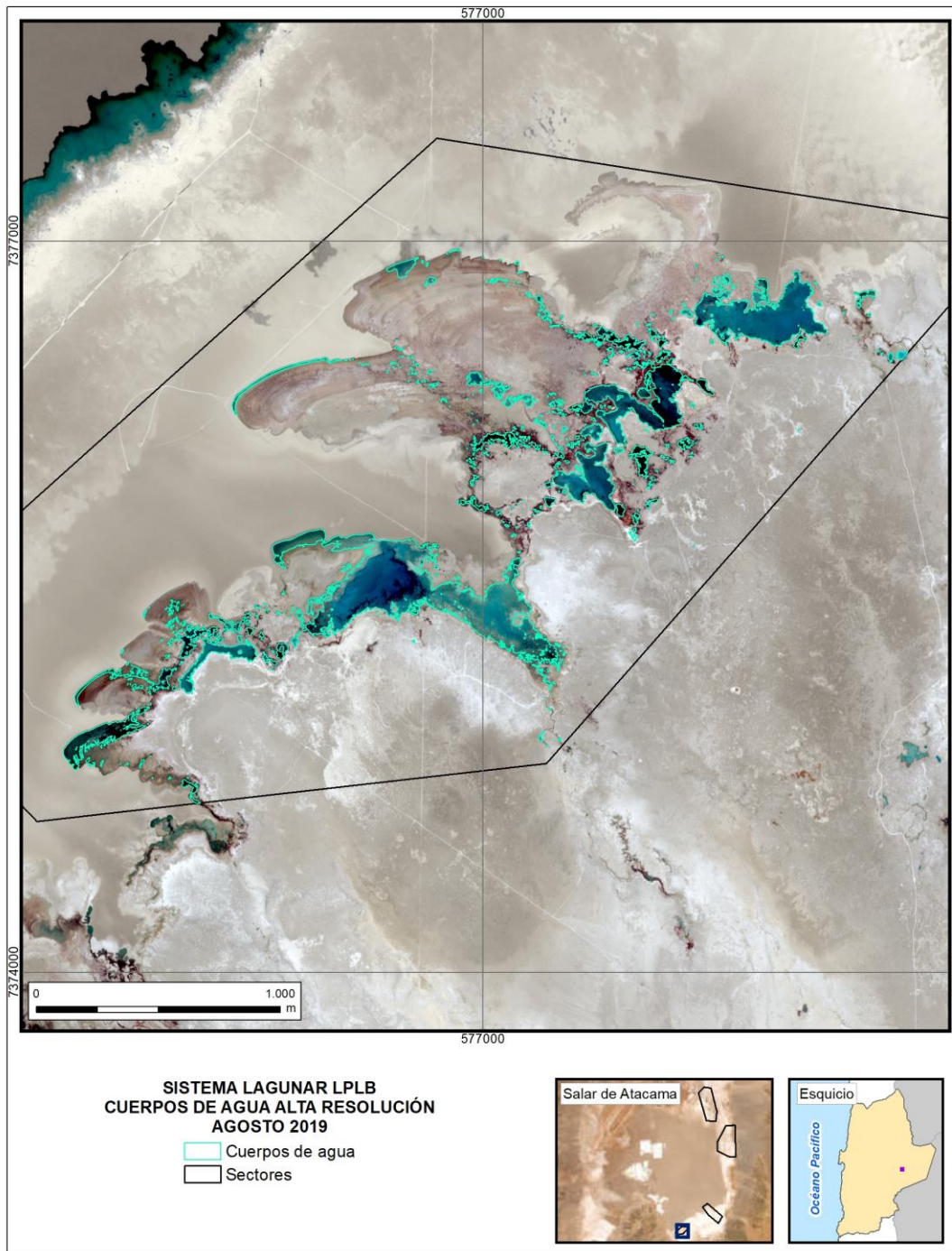
Fuente: Elaboración propia

1.3 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018



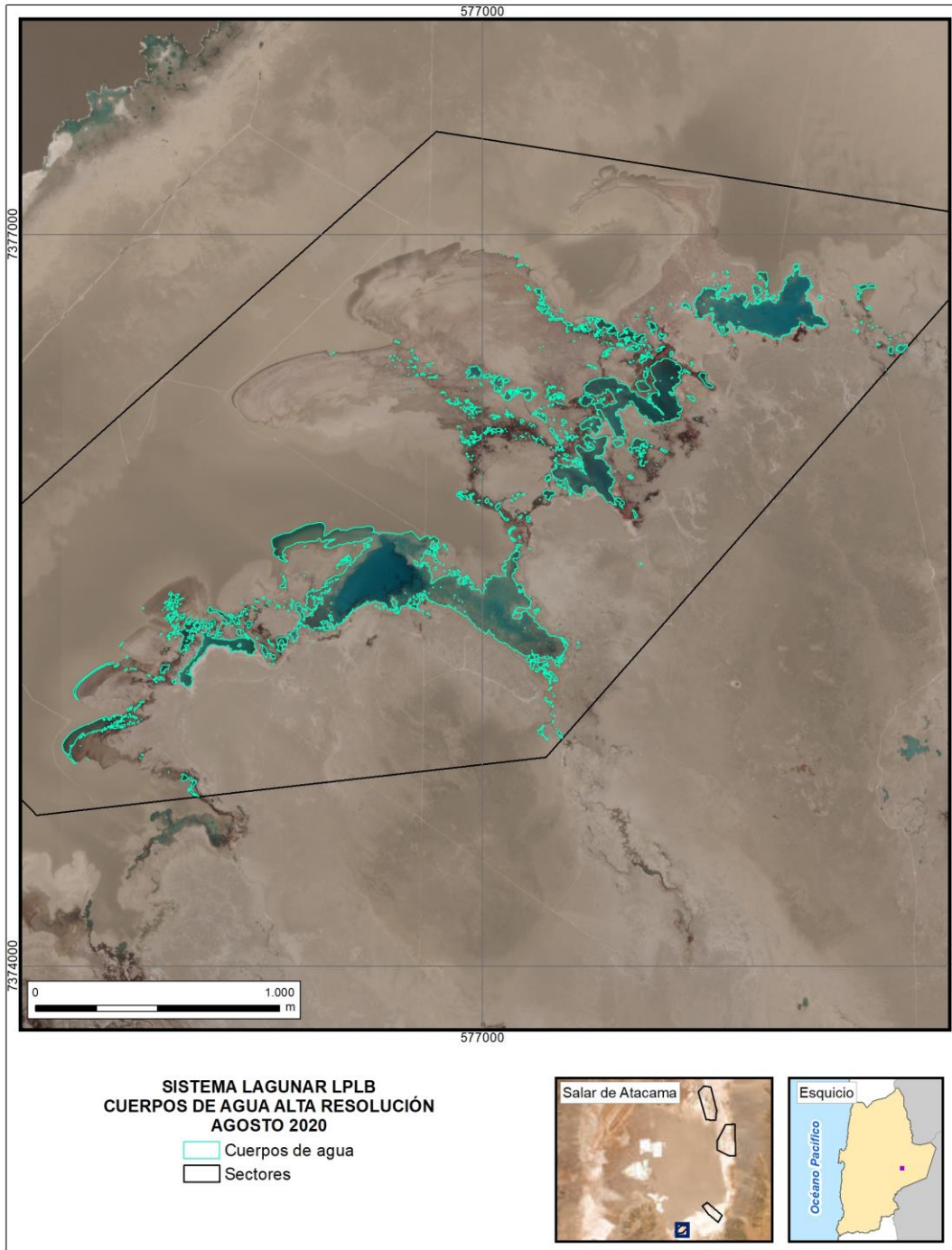
Fuente: Elaboración propia

1.4 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019



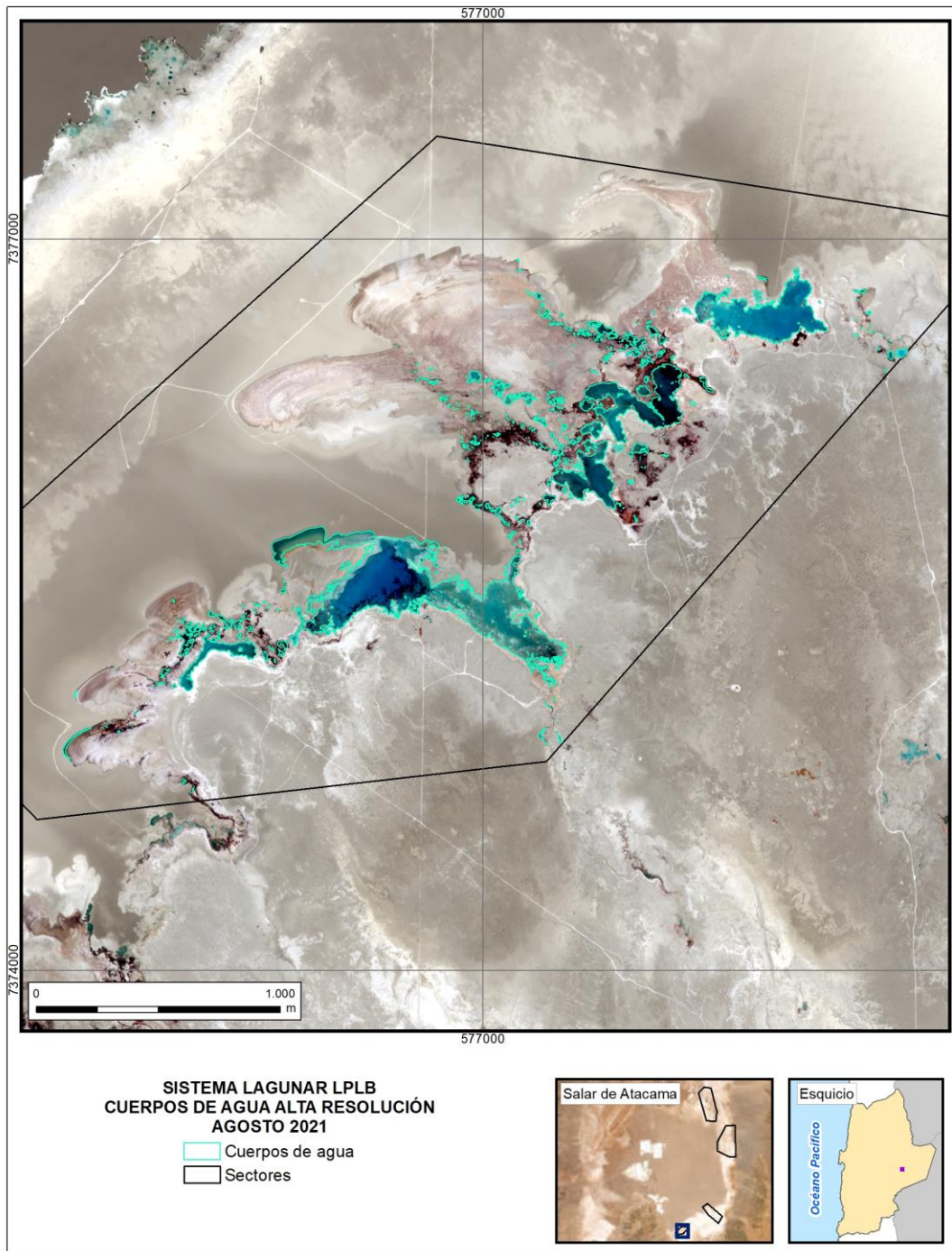
Fuente: Elaboración propia

1.5 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020



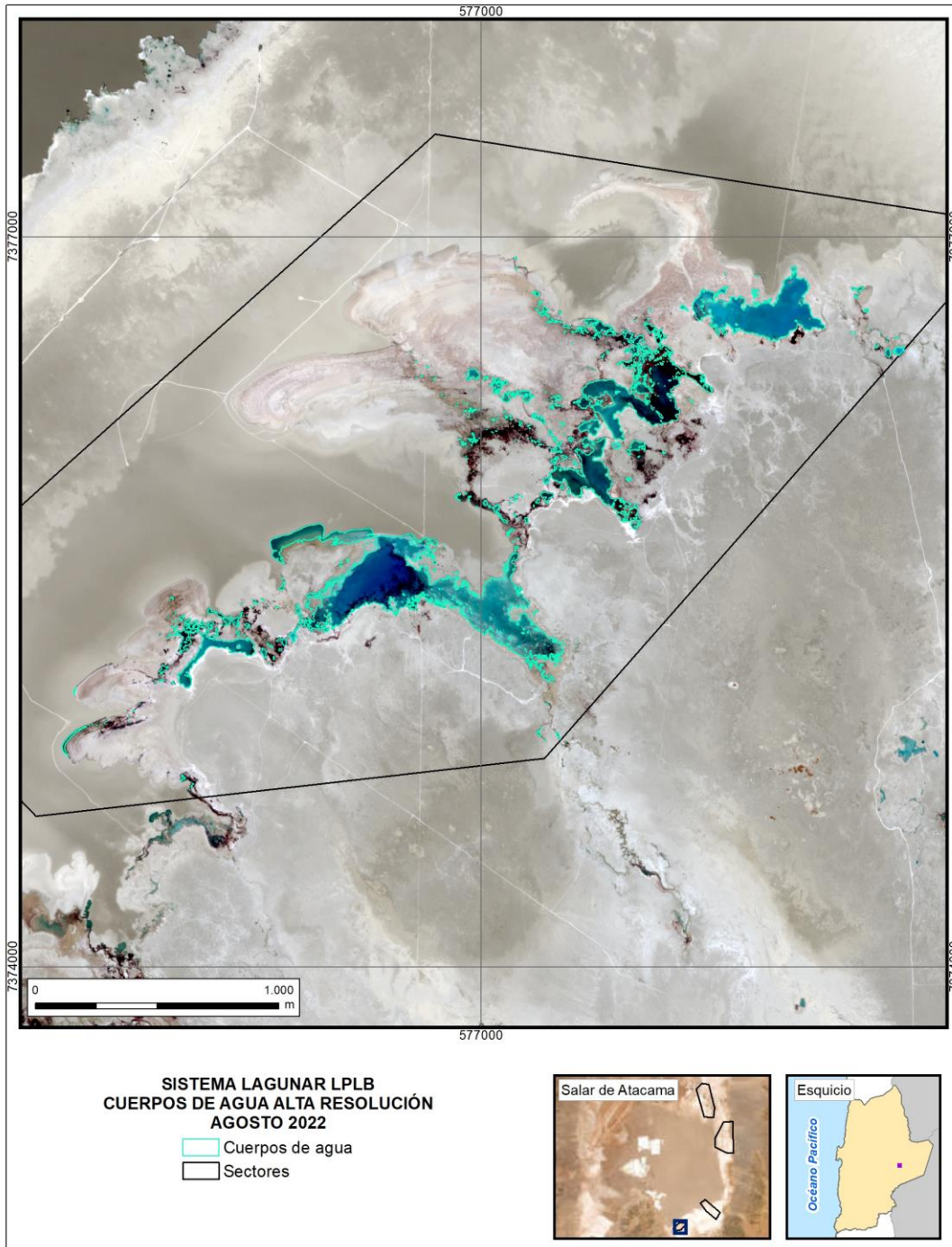
Fuente: Elaboración propia

1.6 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021



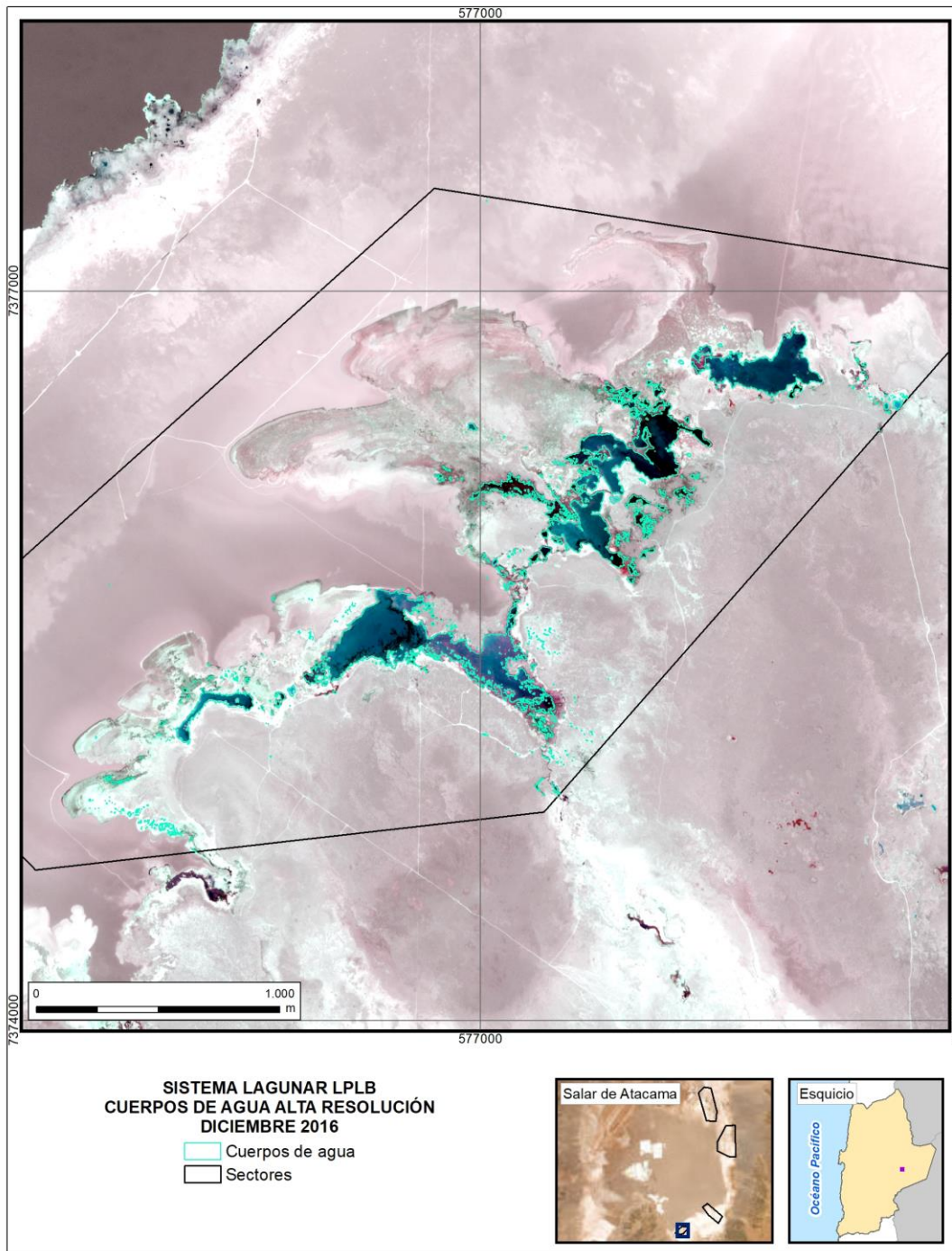
Fuente: Elaboración propia

1.7 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022



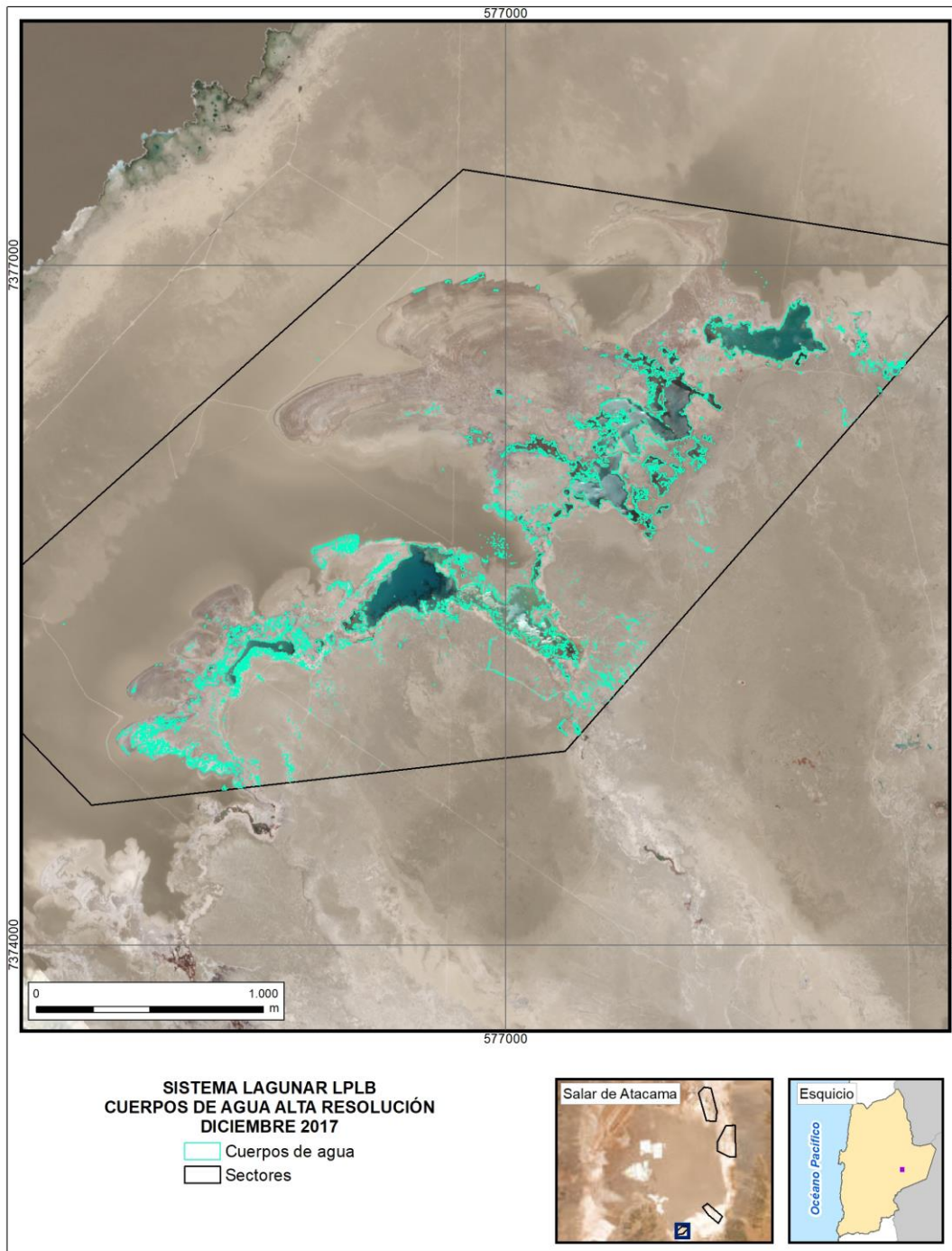
Fuente: Elaboración propia

1.8 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016



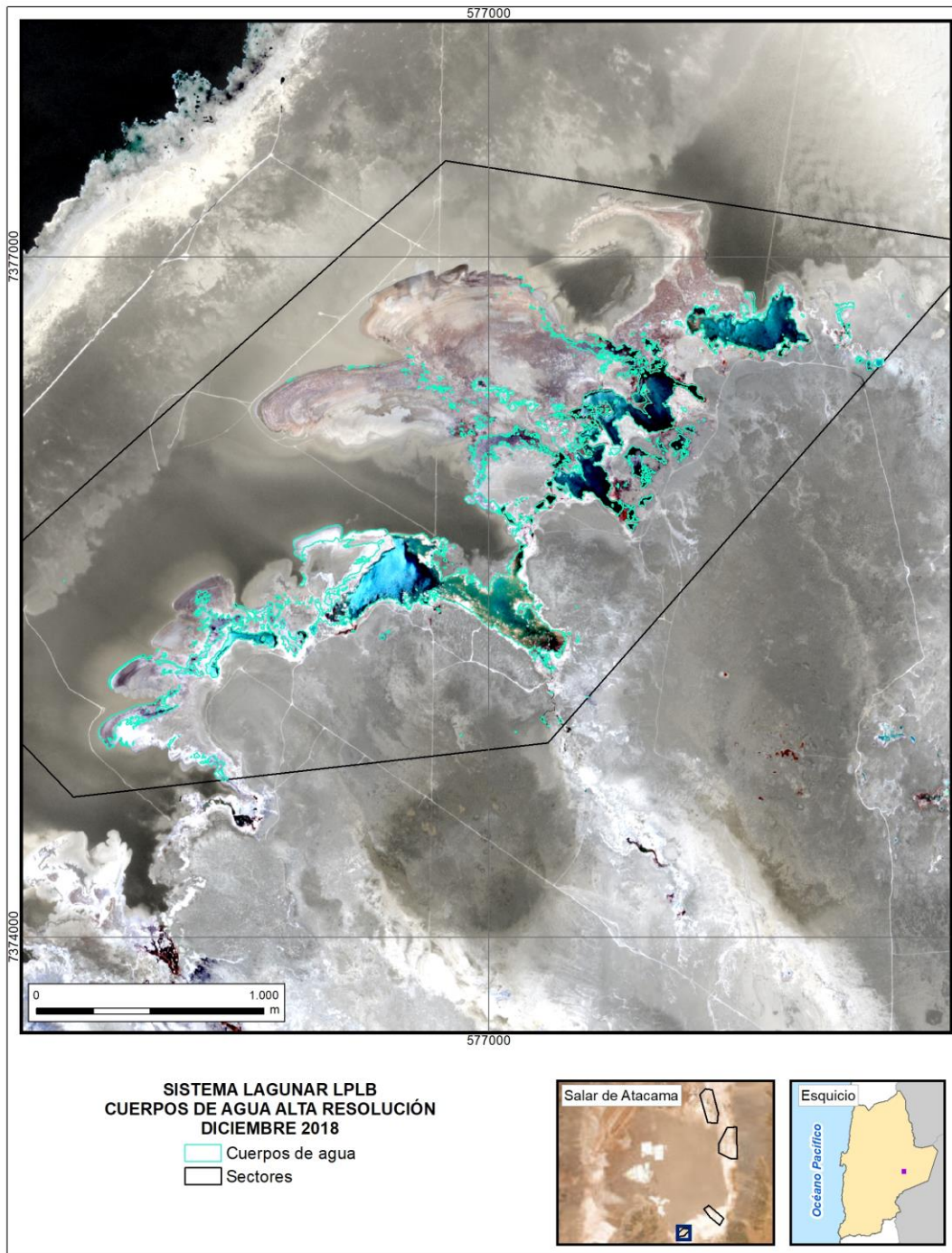
Fuente: Elaboración propia

1.9 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017



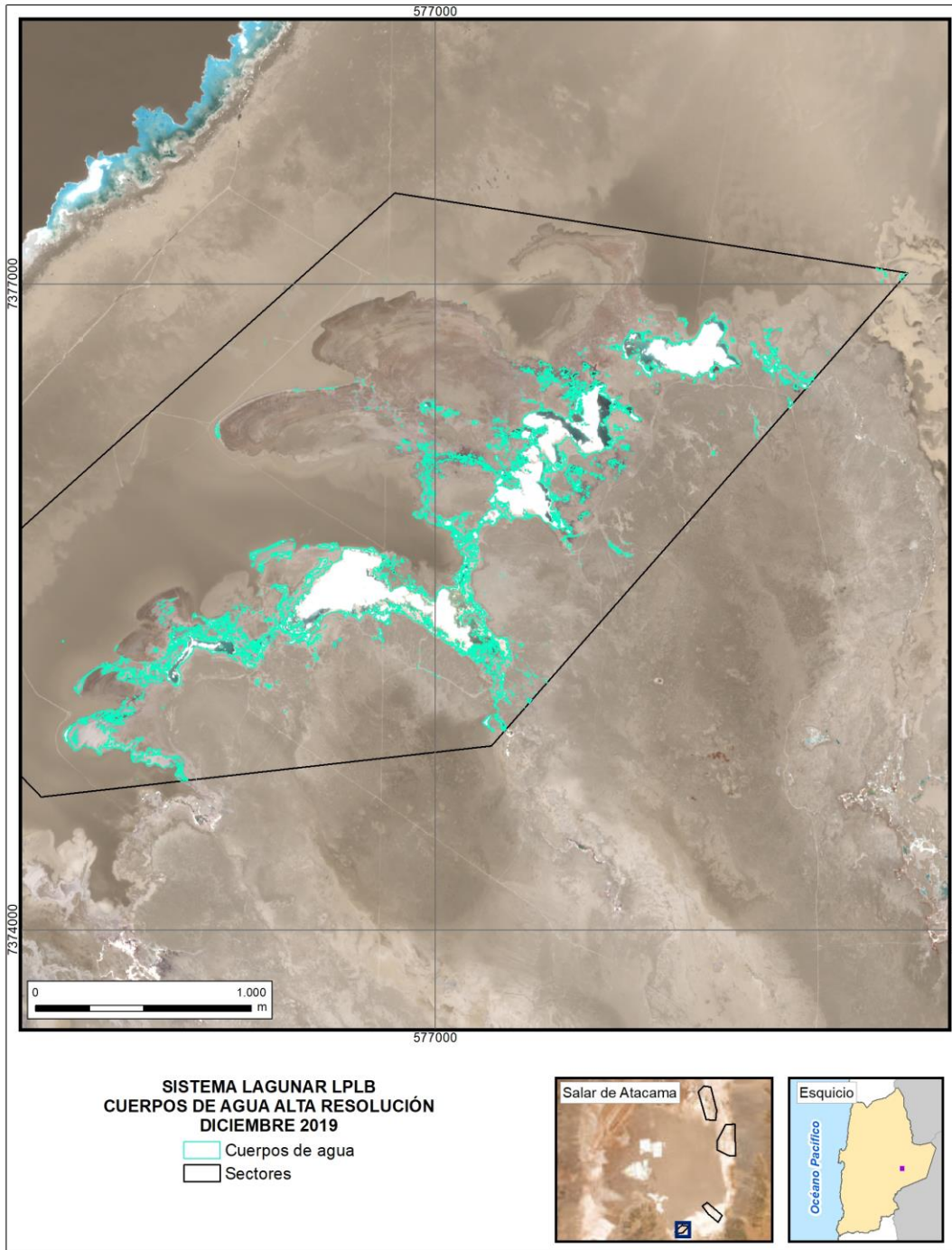
Fuente: Elaboración propia

1.10 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018



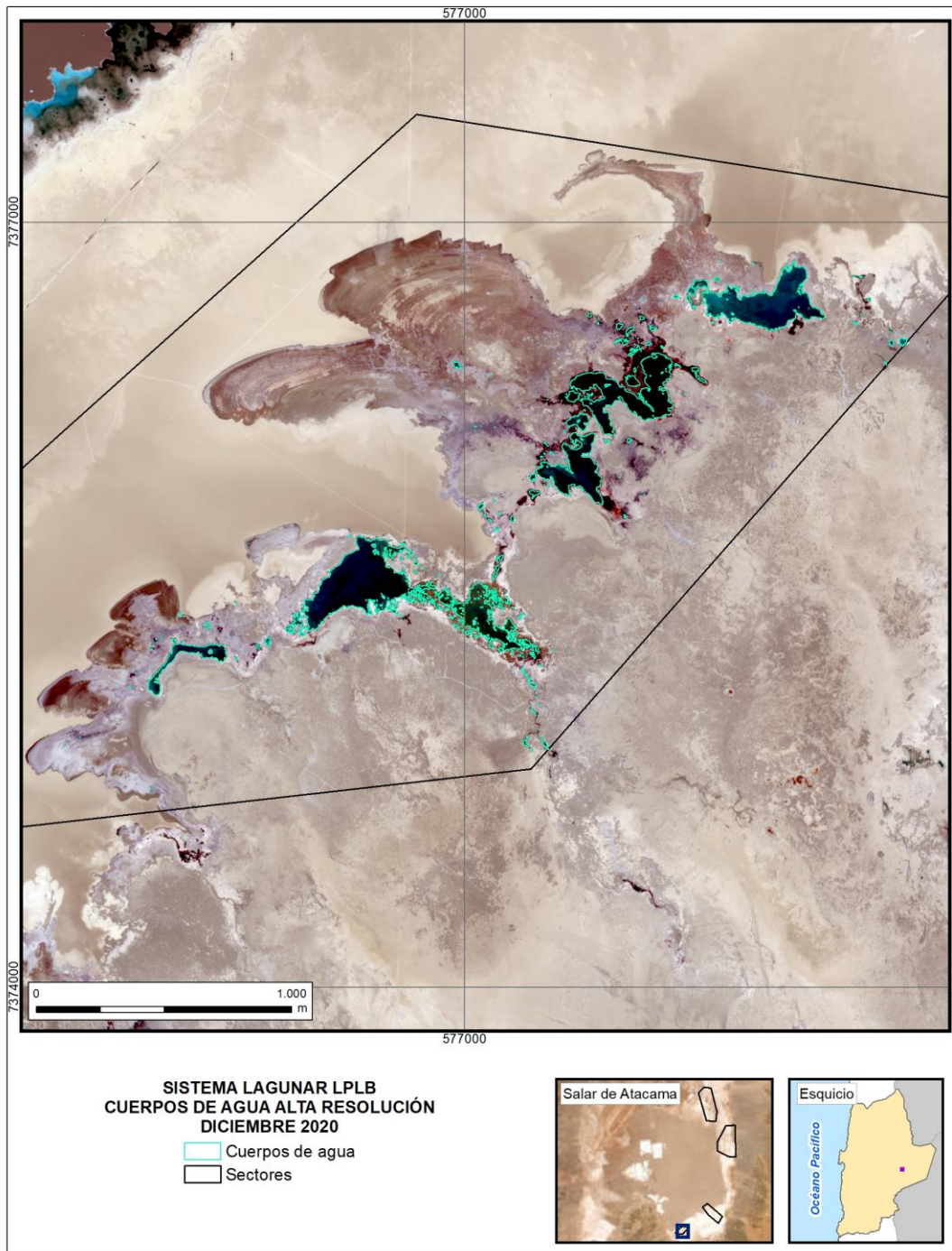
Fuente: Elaboración propia

1.11 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019



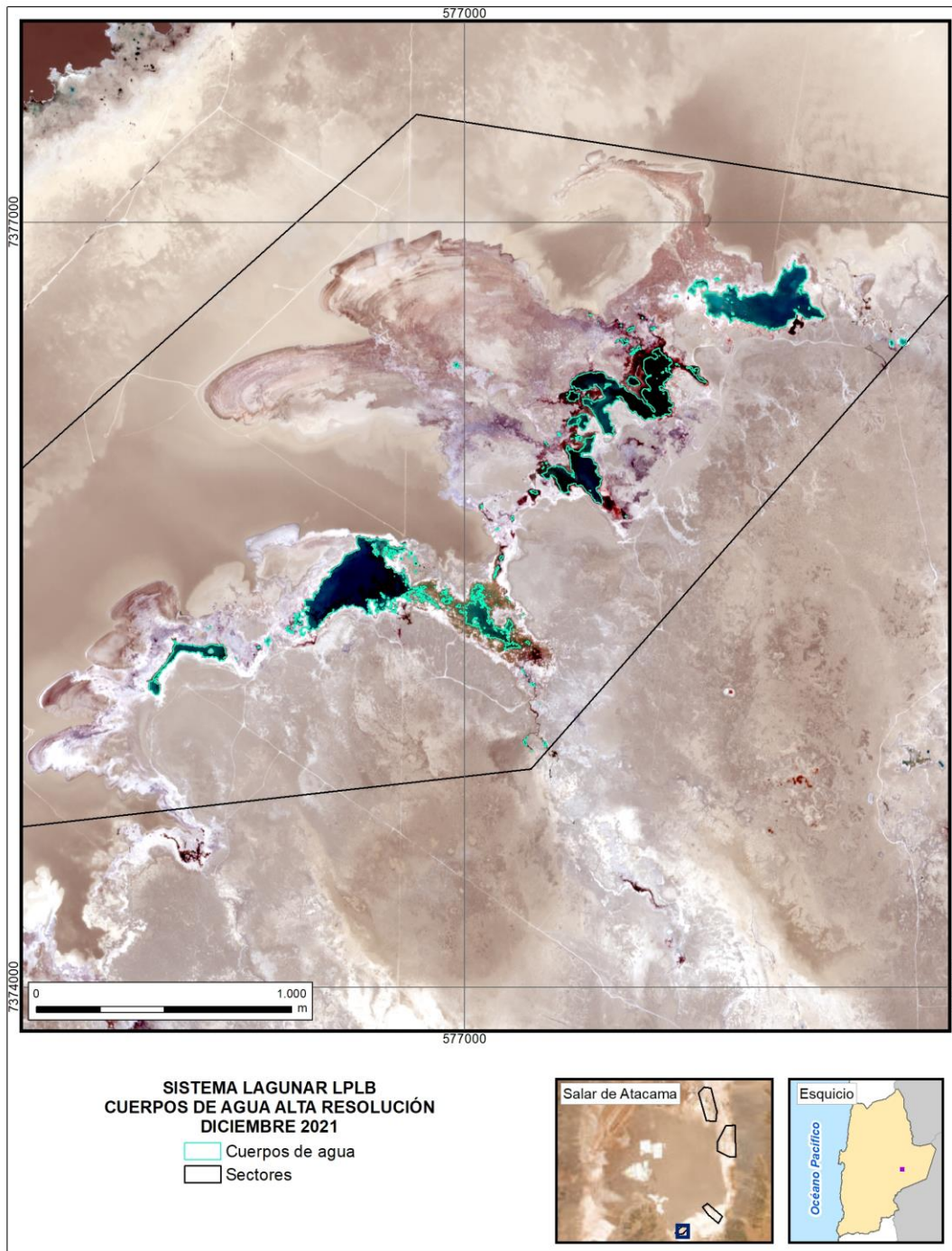
Fuente: Elaboración propia

1.12 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020



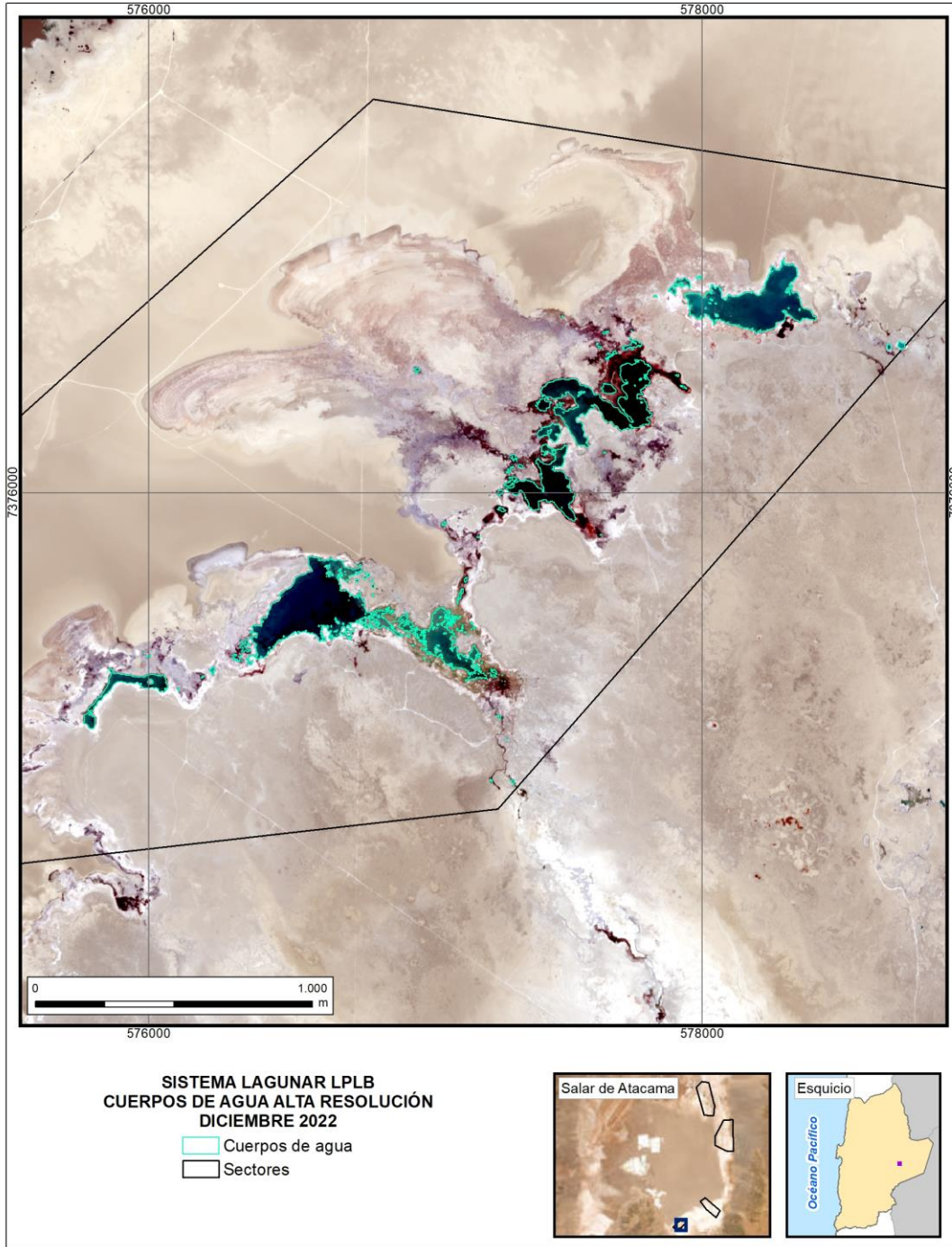
Fuente: Elaboración propia

1.13 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021



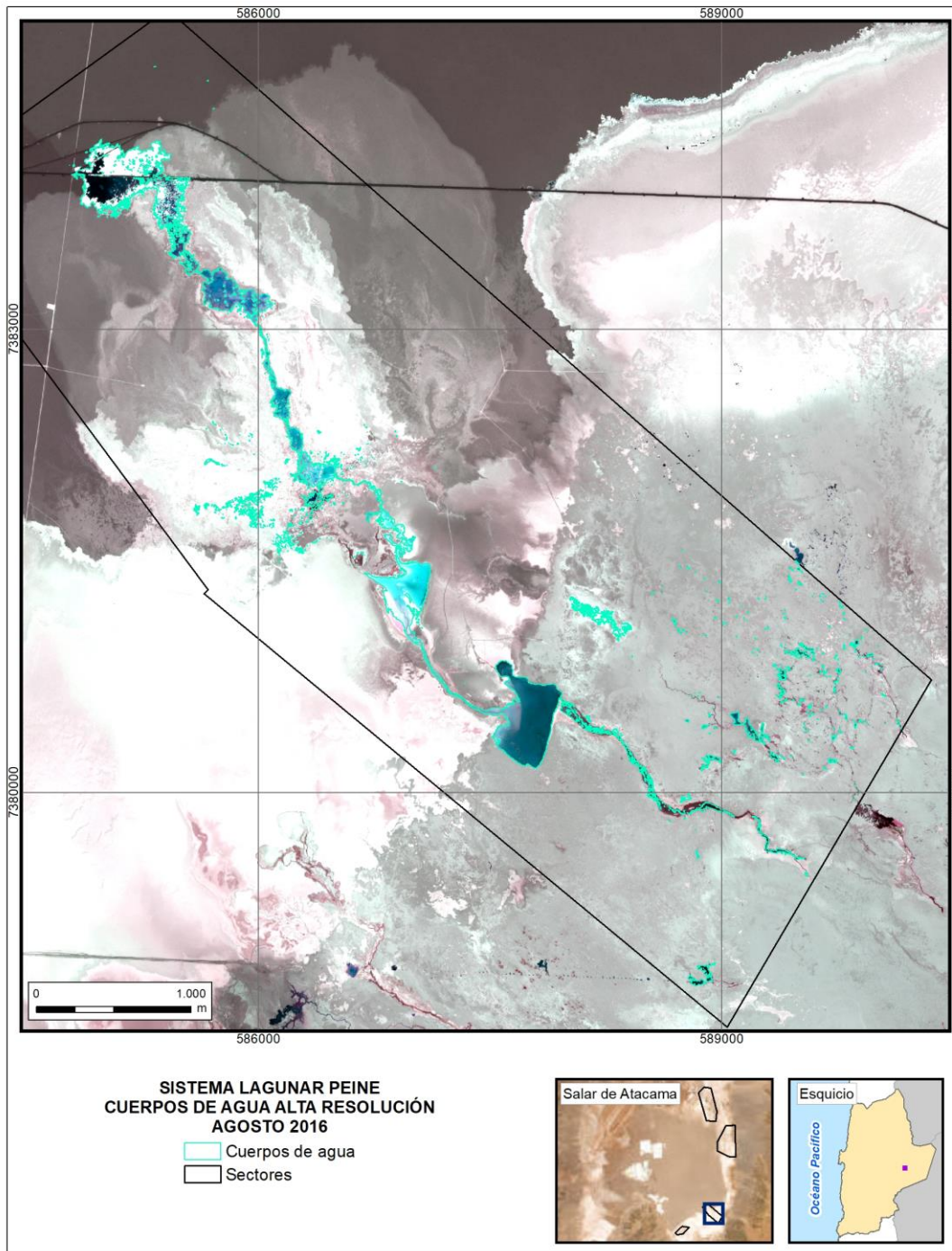
Fuente: Elaboración propia

1.14 Sector La Punta y La Brava – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022



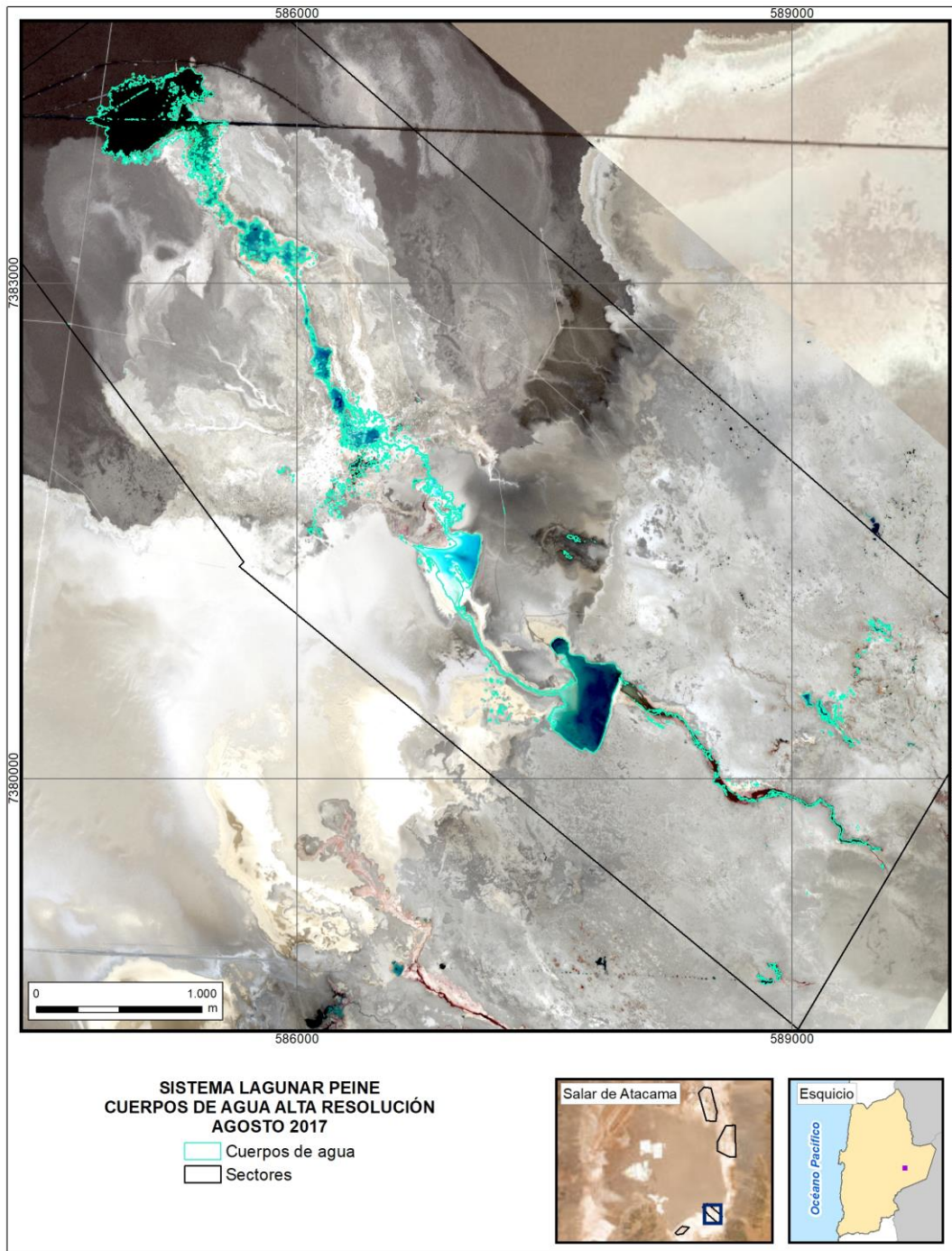
Fuente: Elaboración propia

1.15 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016



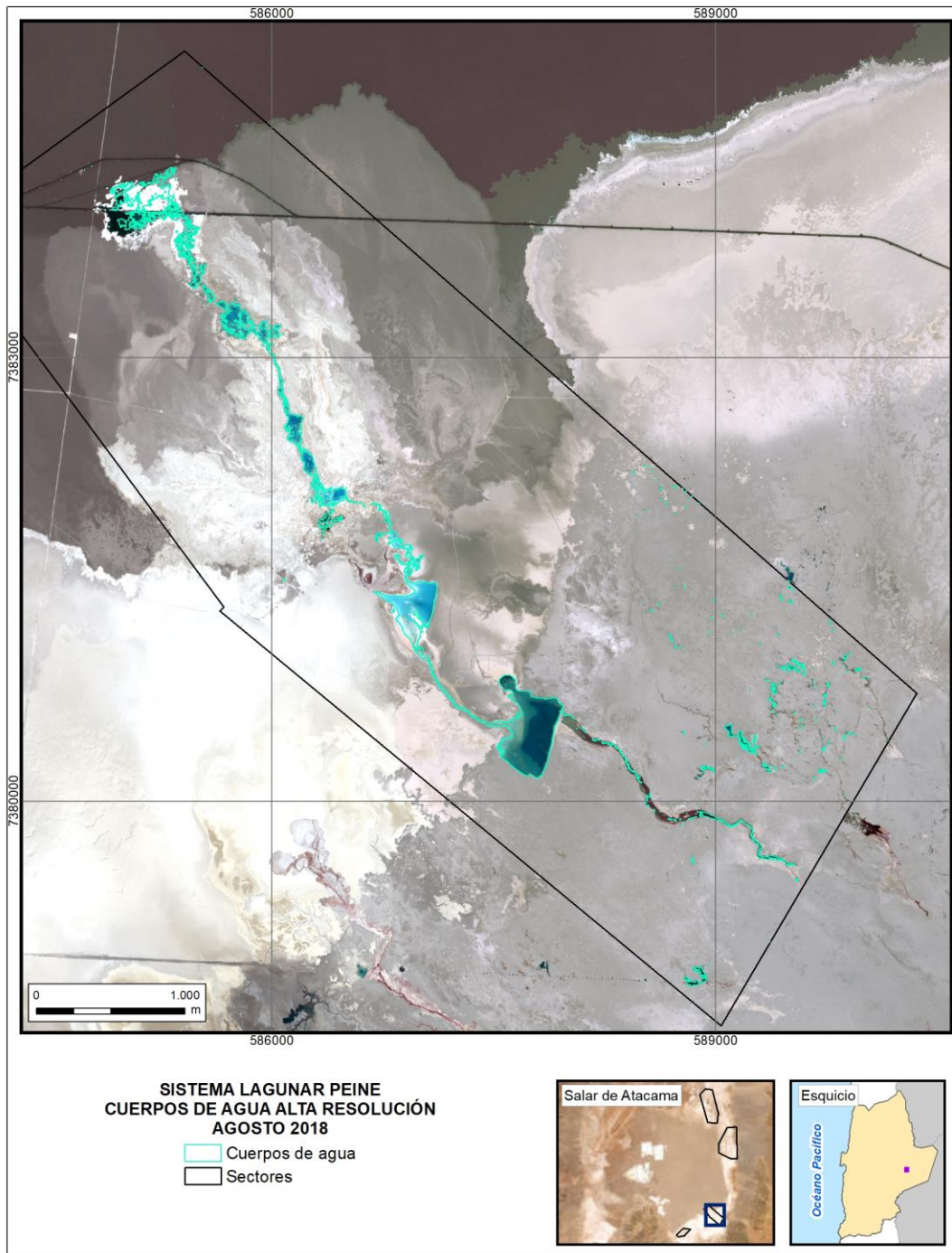
Fuente: Elaboración propia

1.16 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017



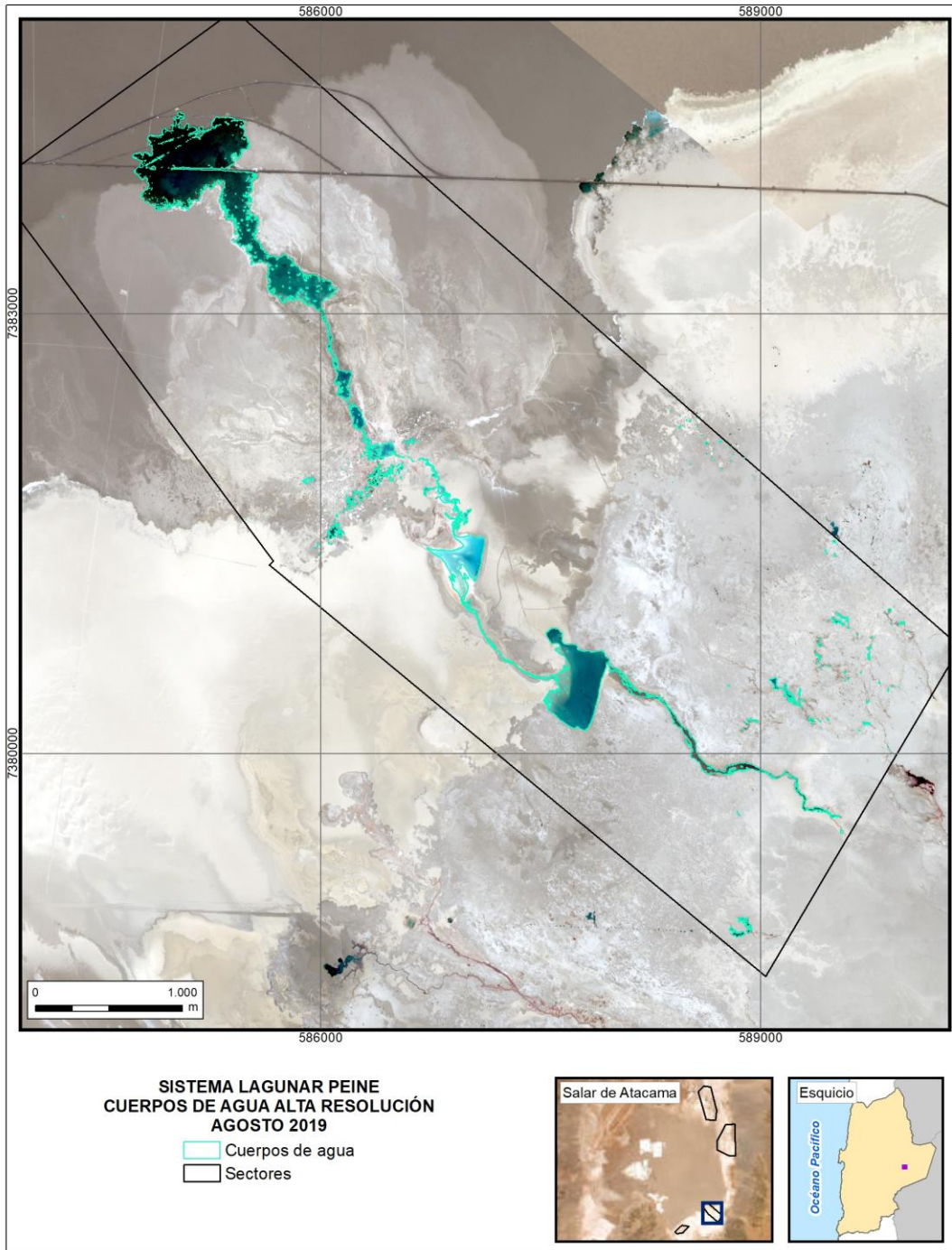
Fuente: Elaboración propia

1.17 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018



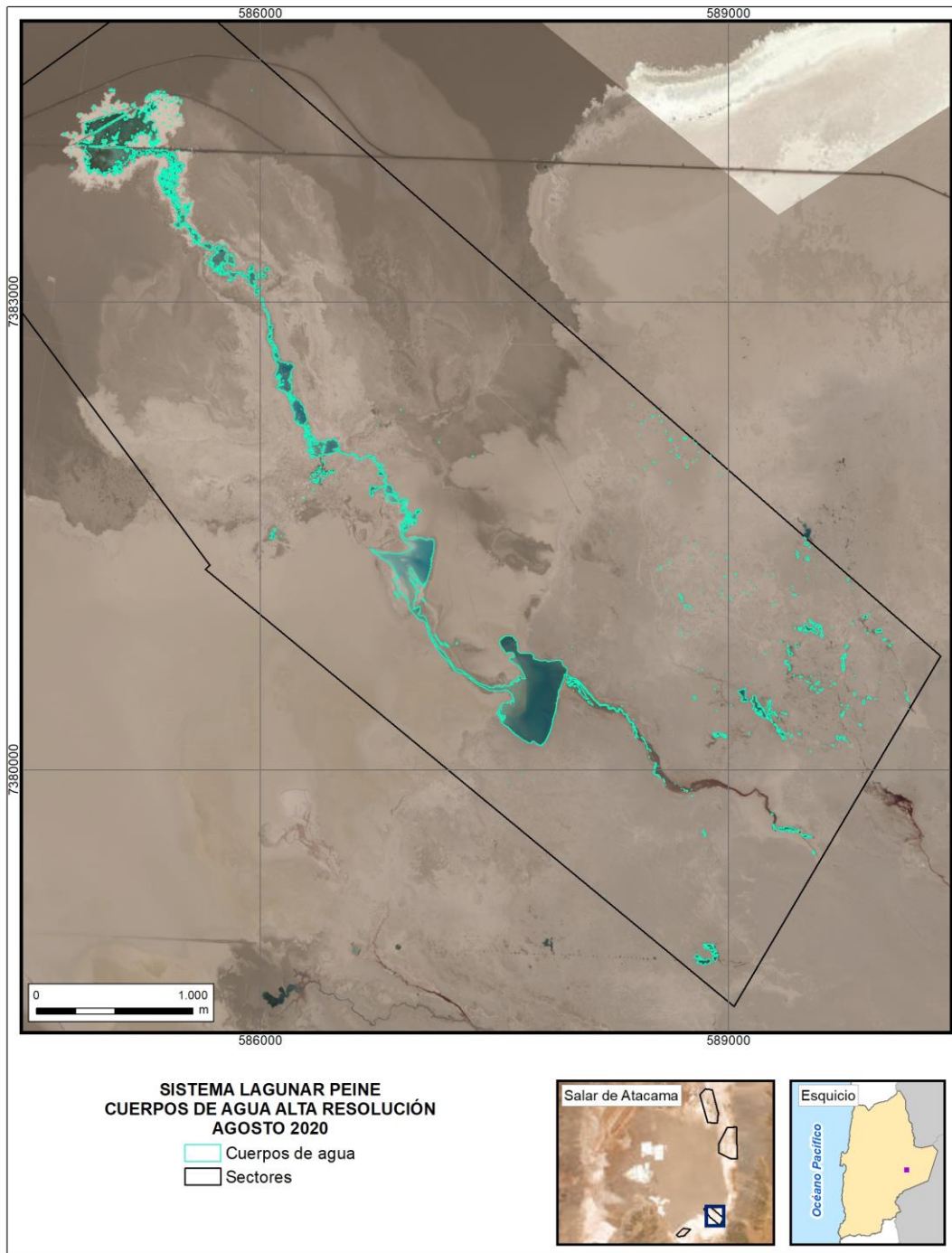
Fuente: Elaboración propia

1.18 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019



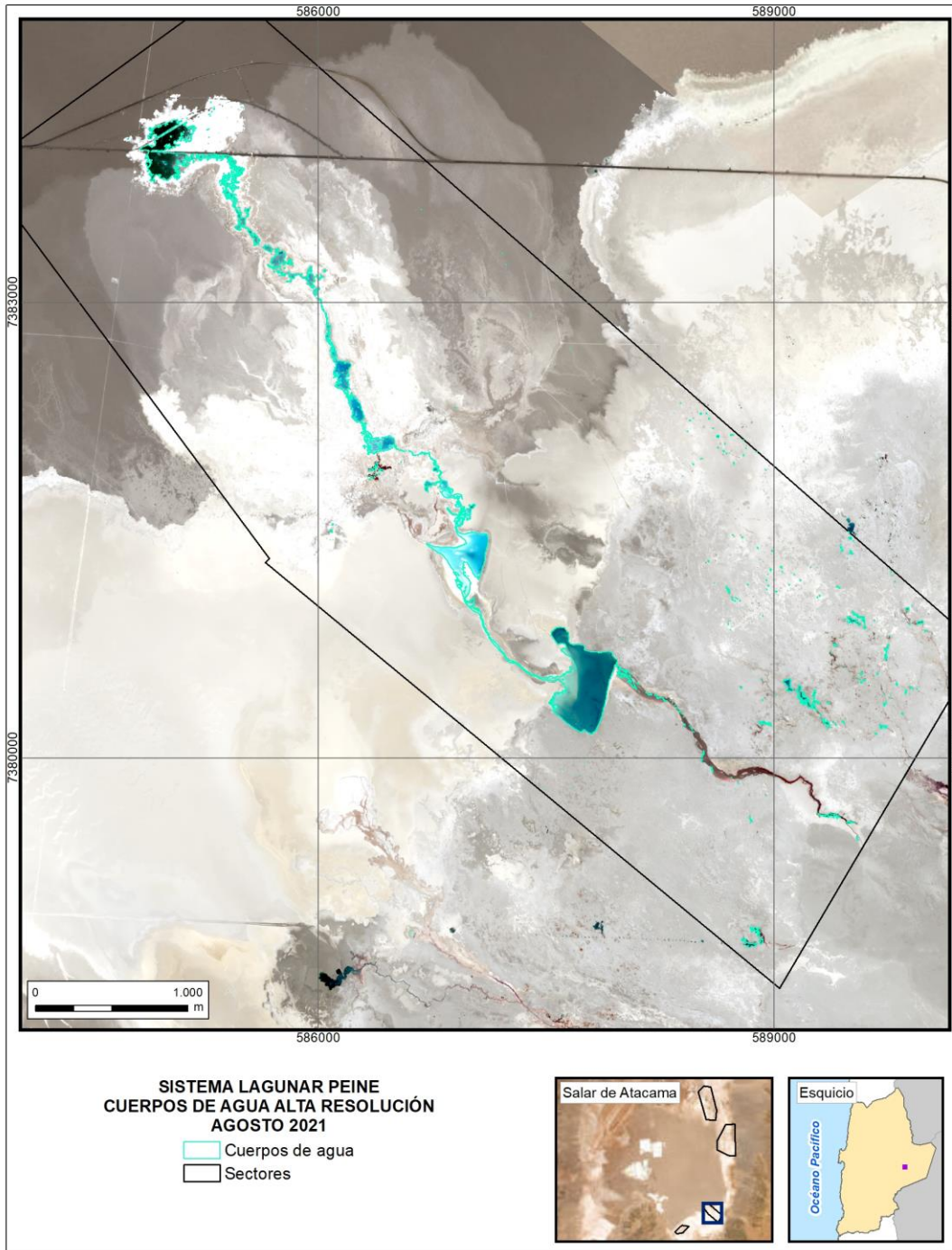
Fuente: Elaboración propia

1.19 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020



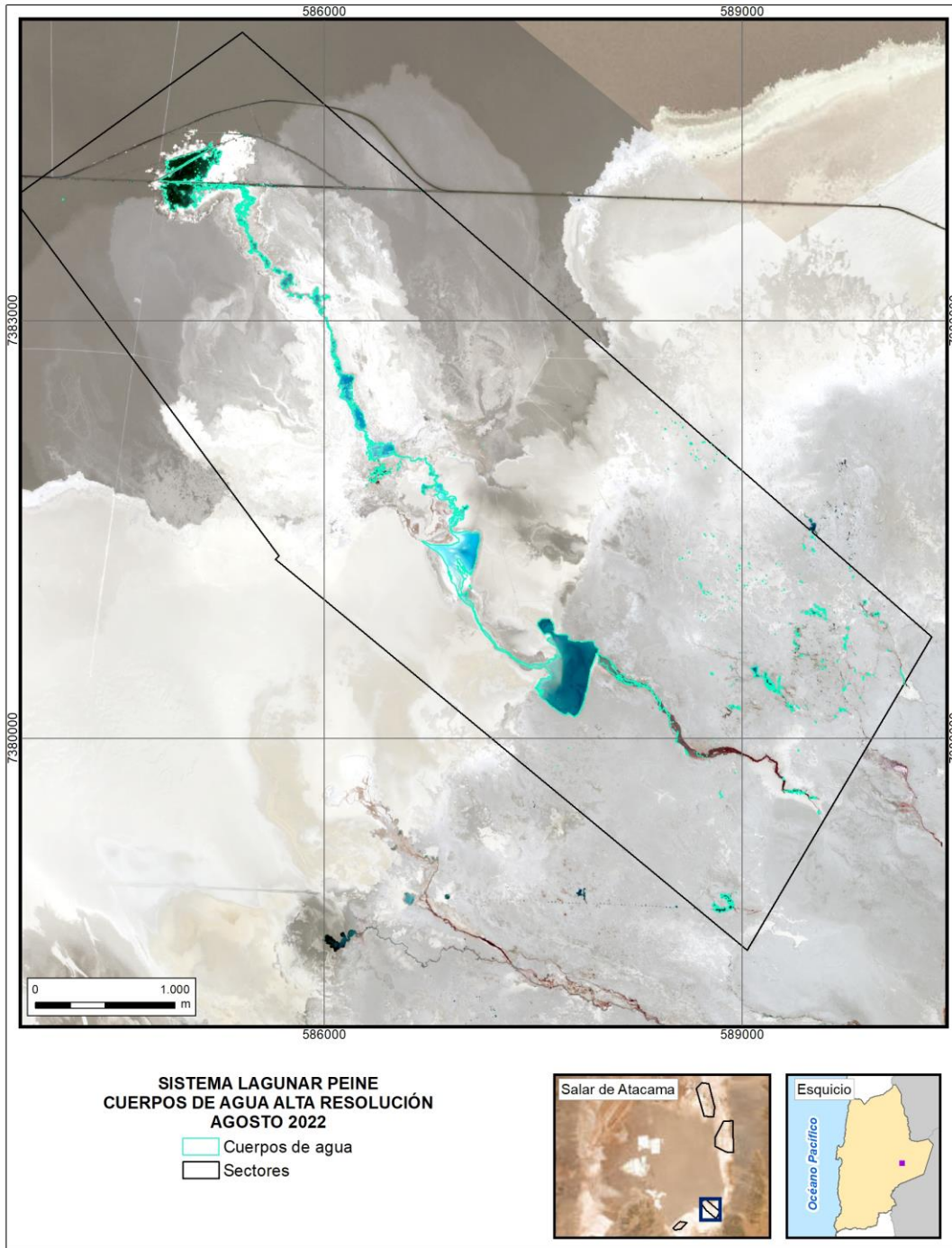
Fuente: Elaboración propia

1.20 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021



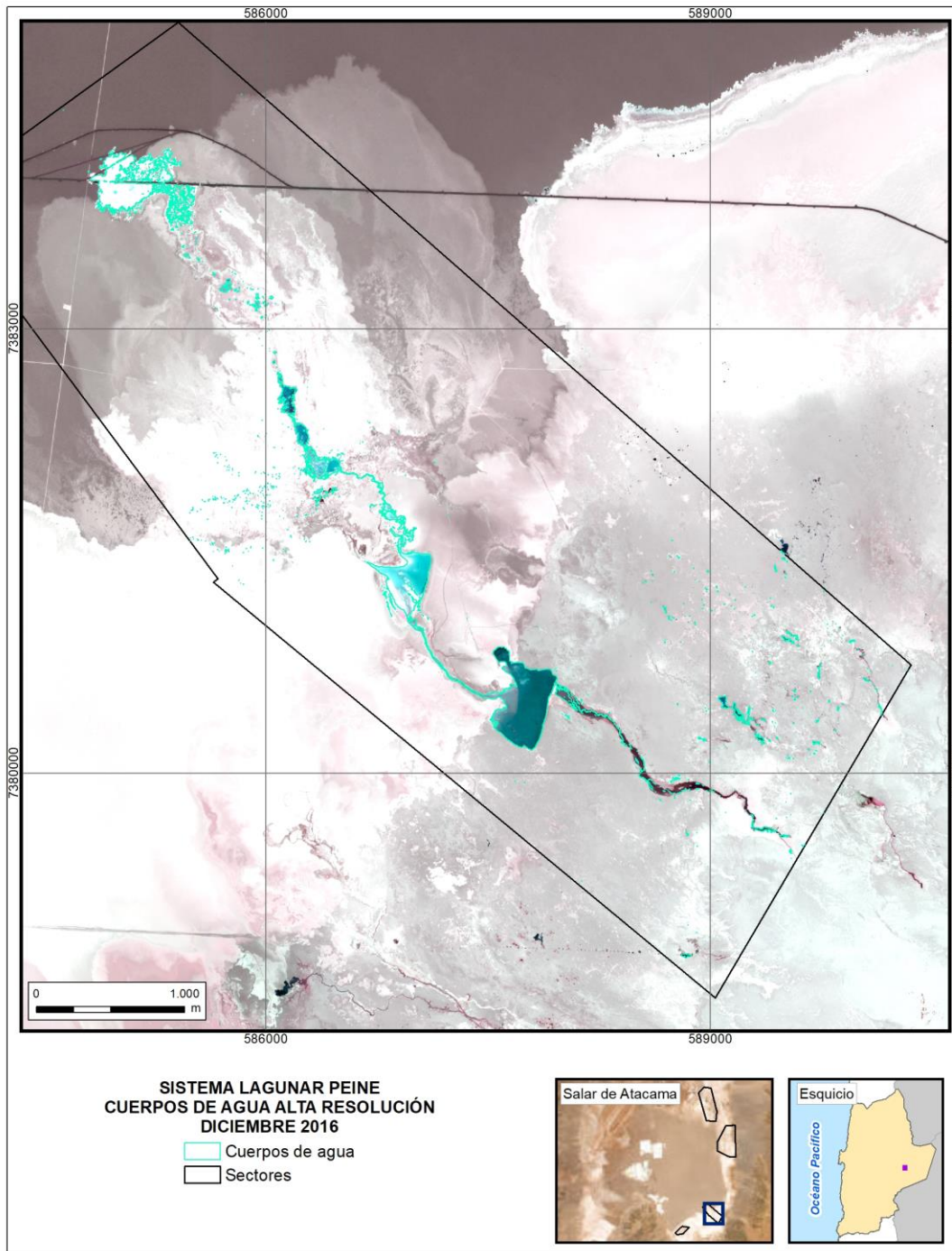
Fuente: Elaboración propia

1.21 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022



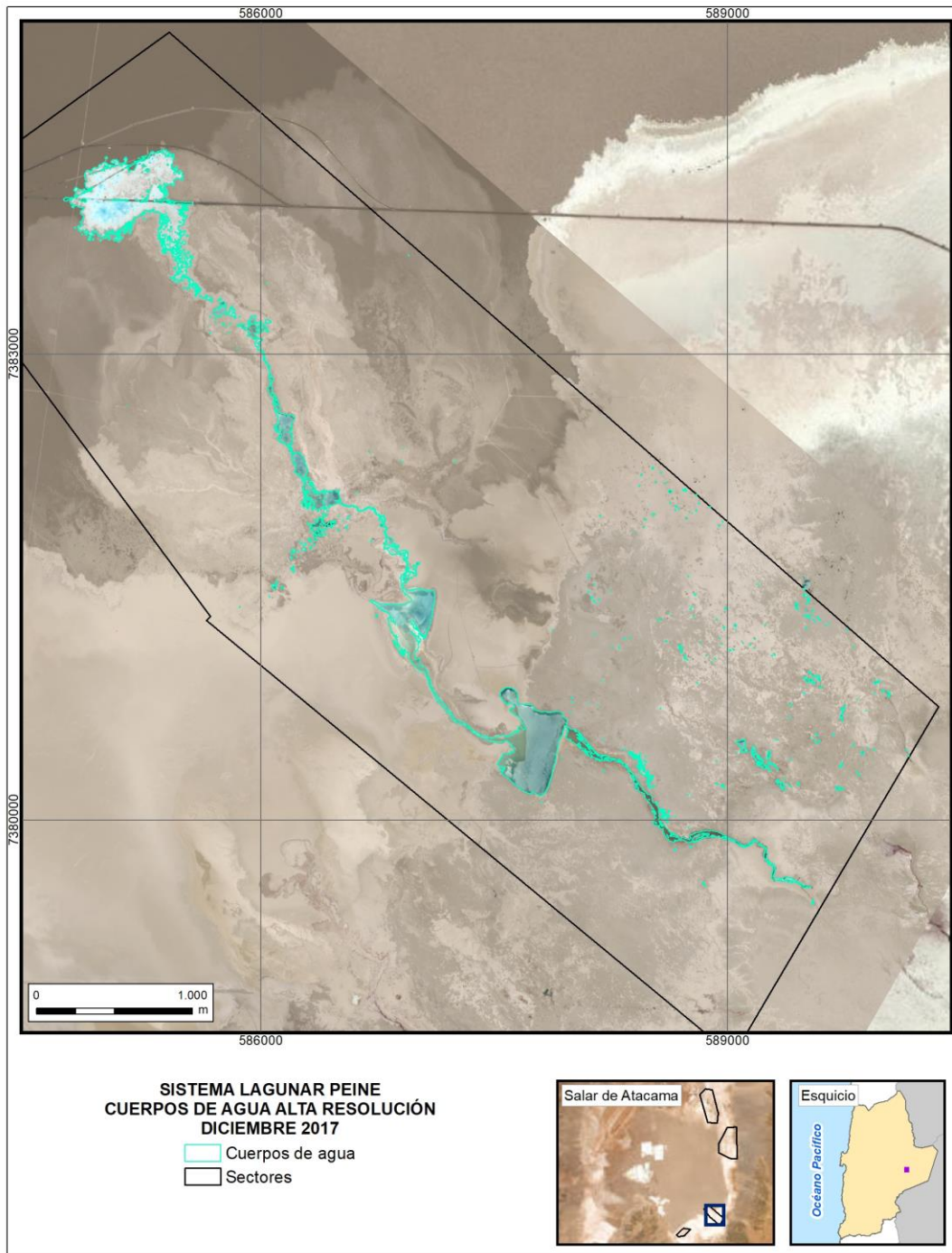
Fuente: Elaboración propia

1.22 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016



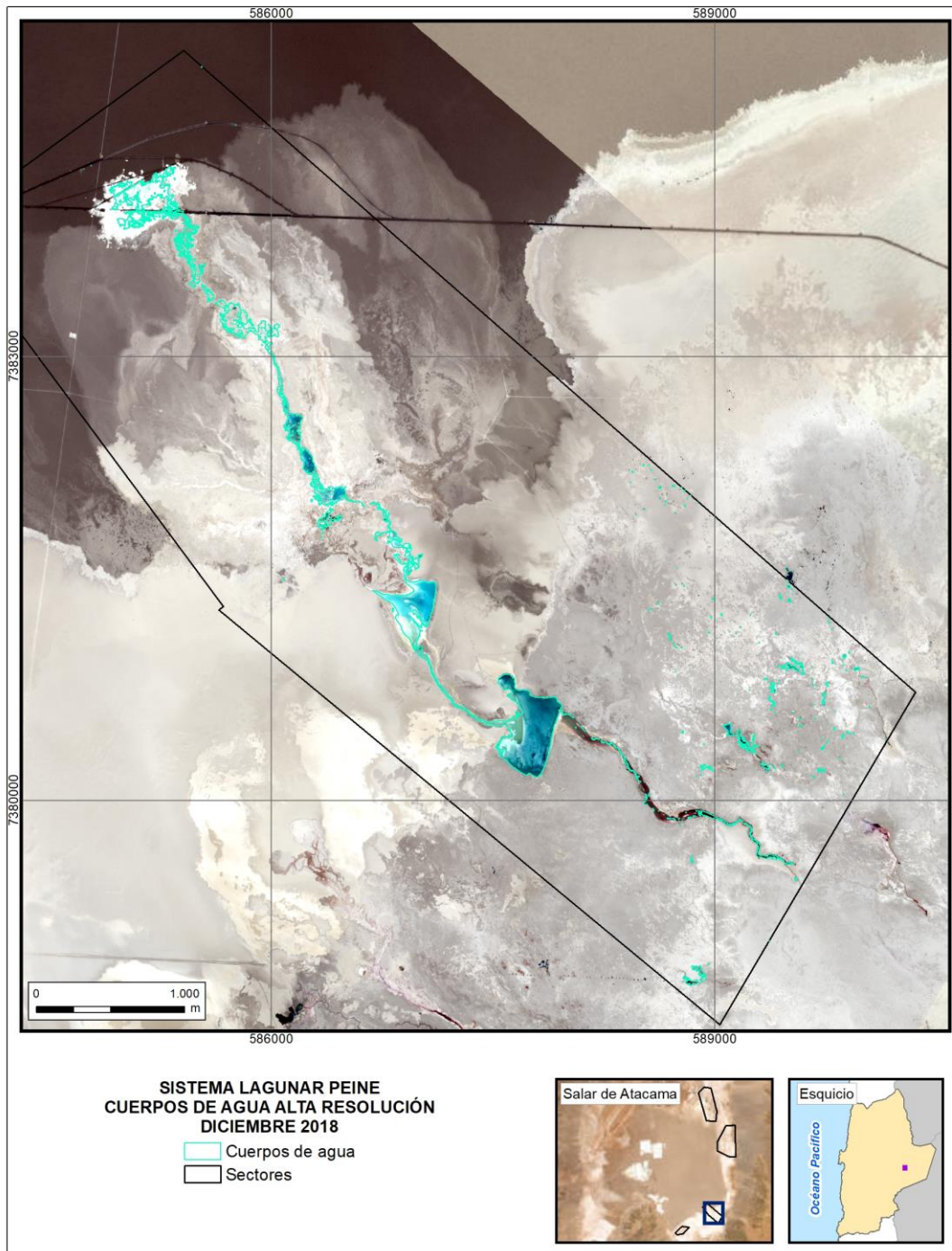
Fuente: Elaboración propia

1.23 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017



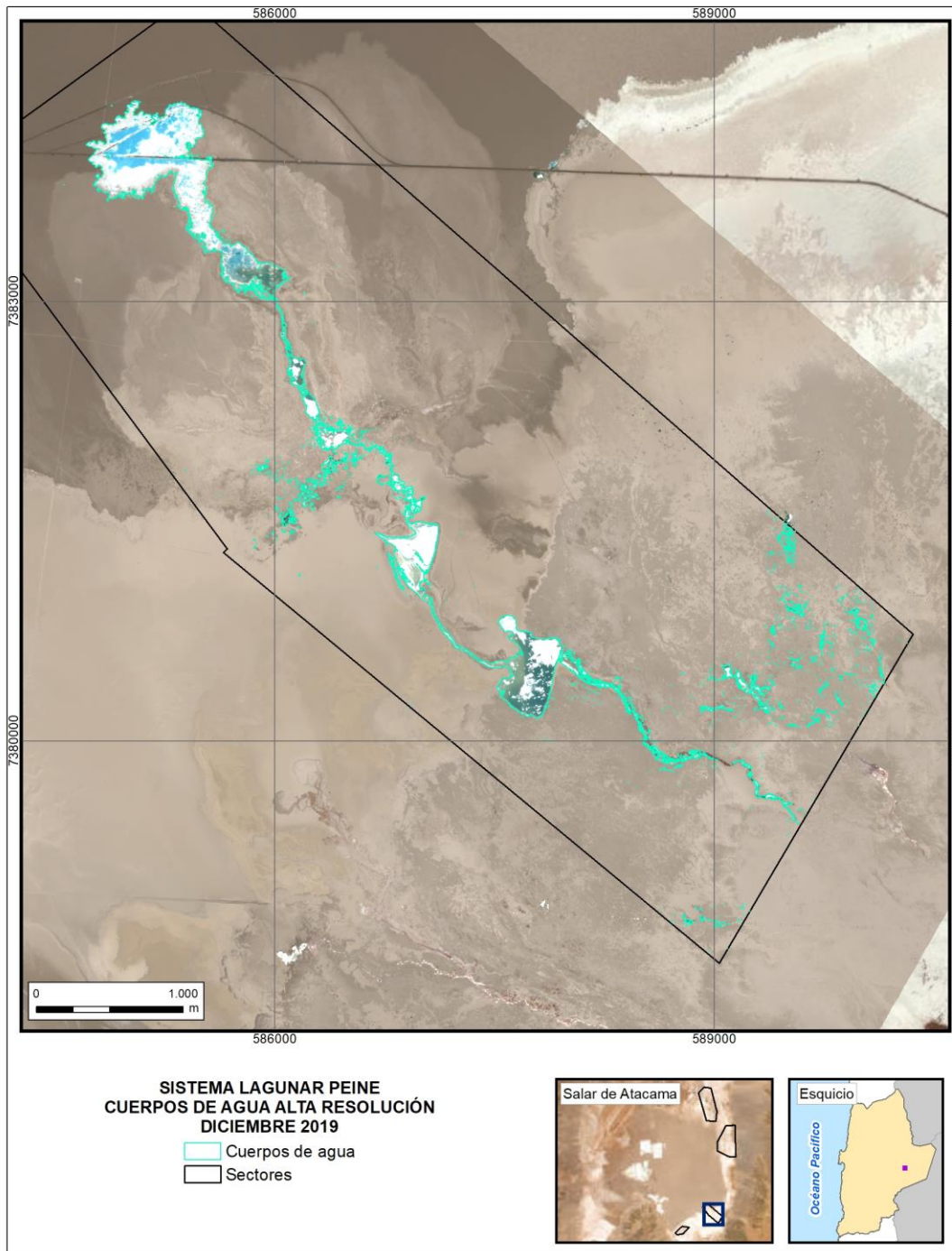
Fuente: Elaboración propia

1.24 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018



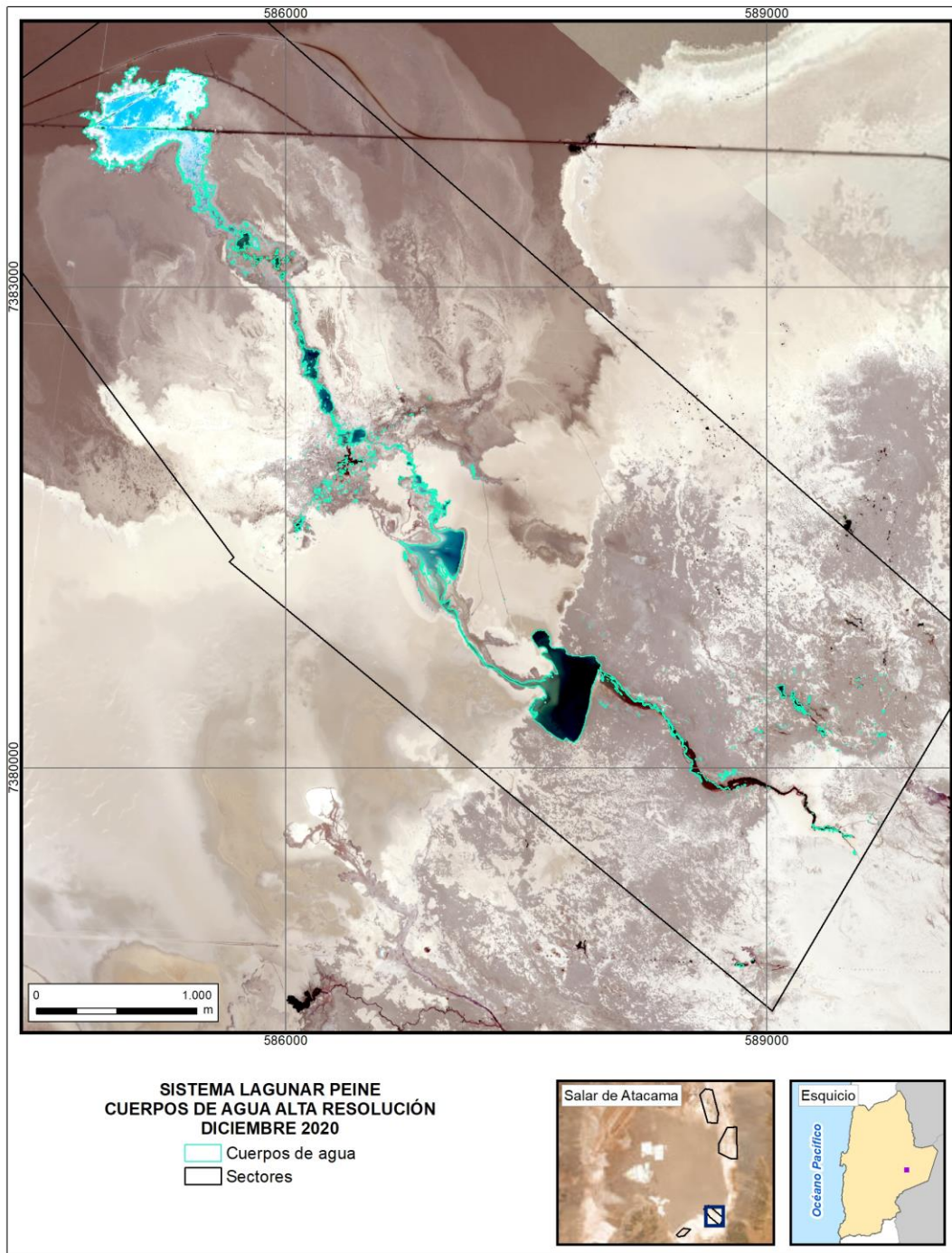
Fuente: Elaboración propia

1.25 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019



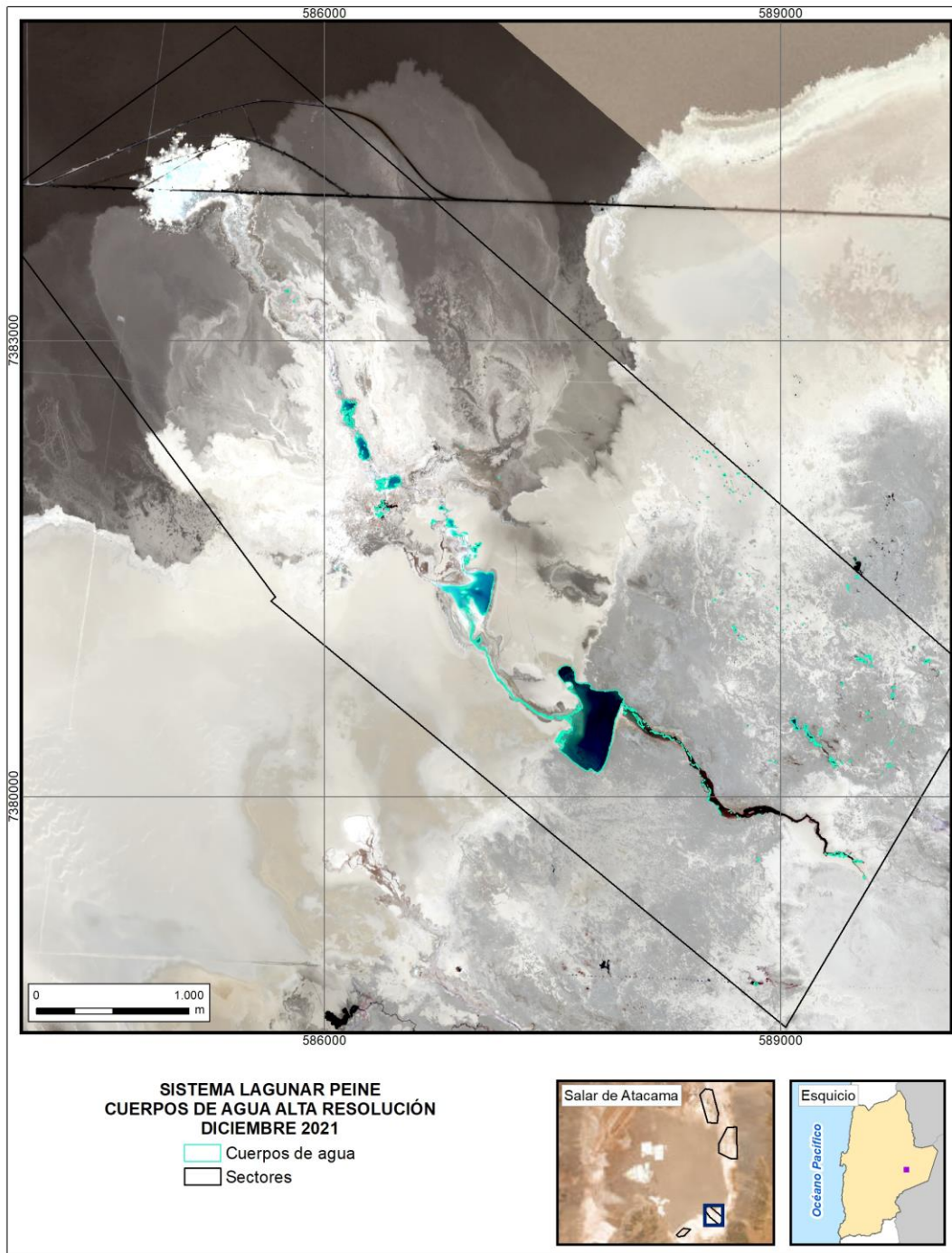
Fuente: Elaboración propia

1.26 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020



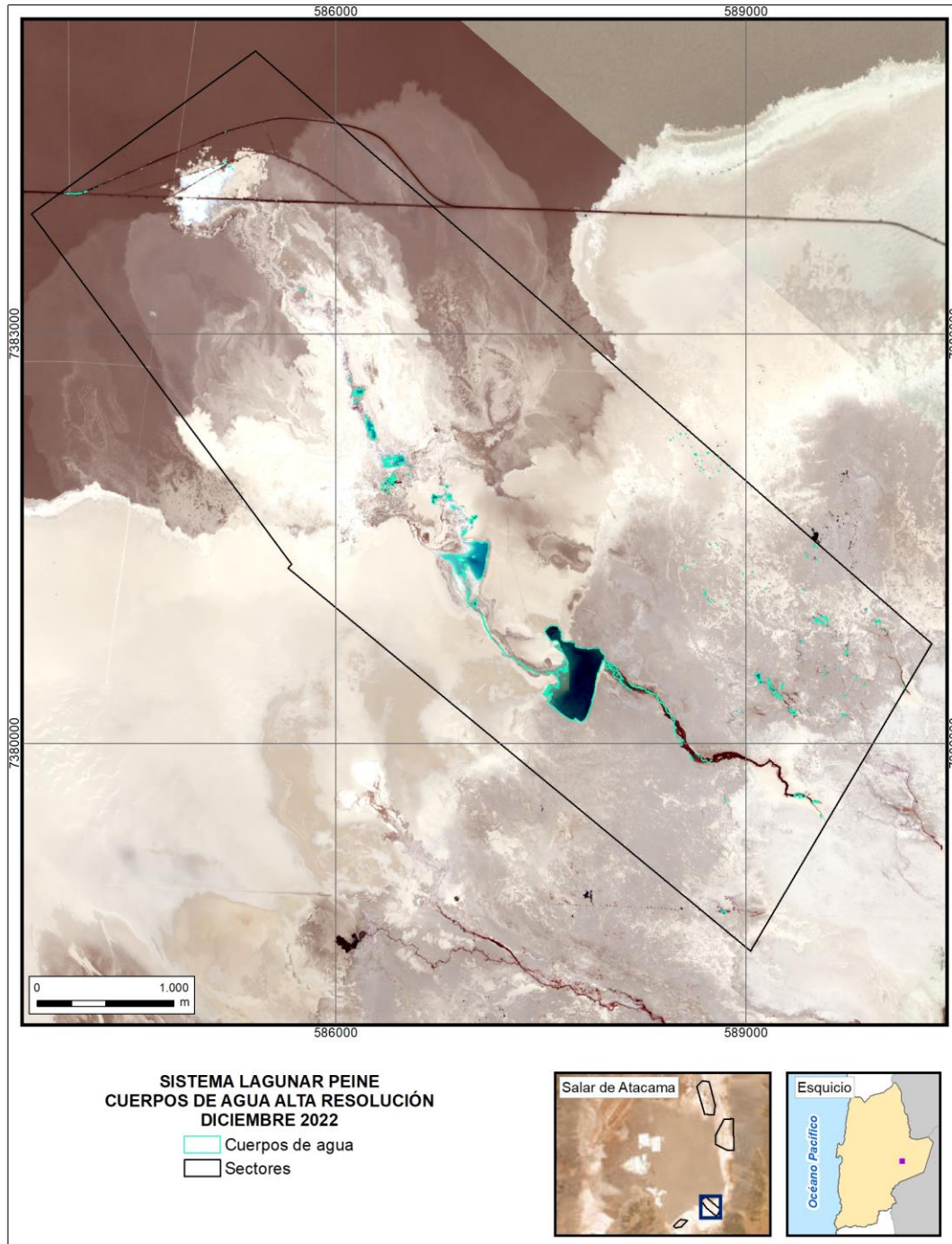
Fuente: Elaboración propia

1.27 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021



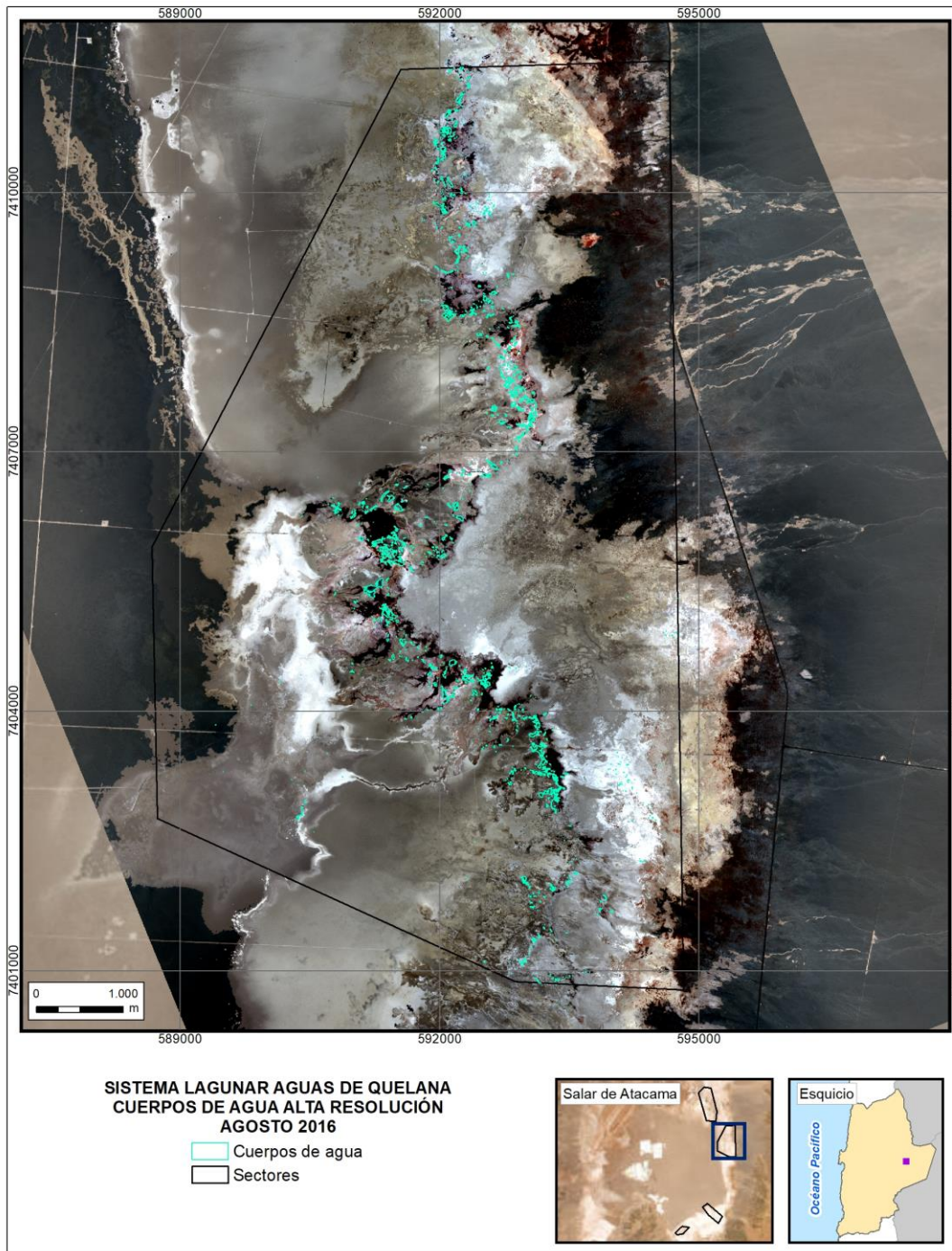
Fuente: Elaboración propia

1.28 Sector Peine – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022



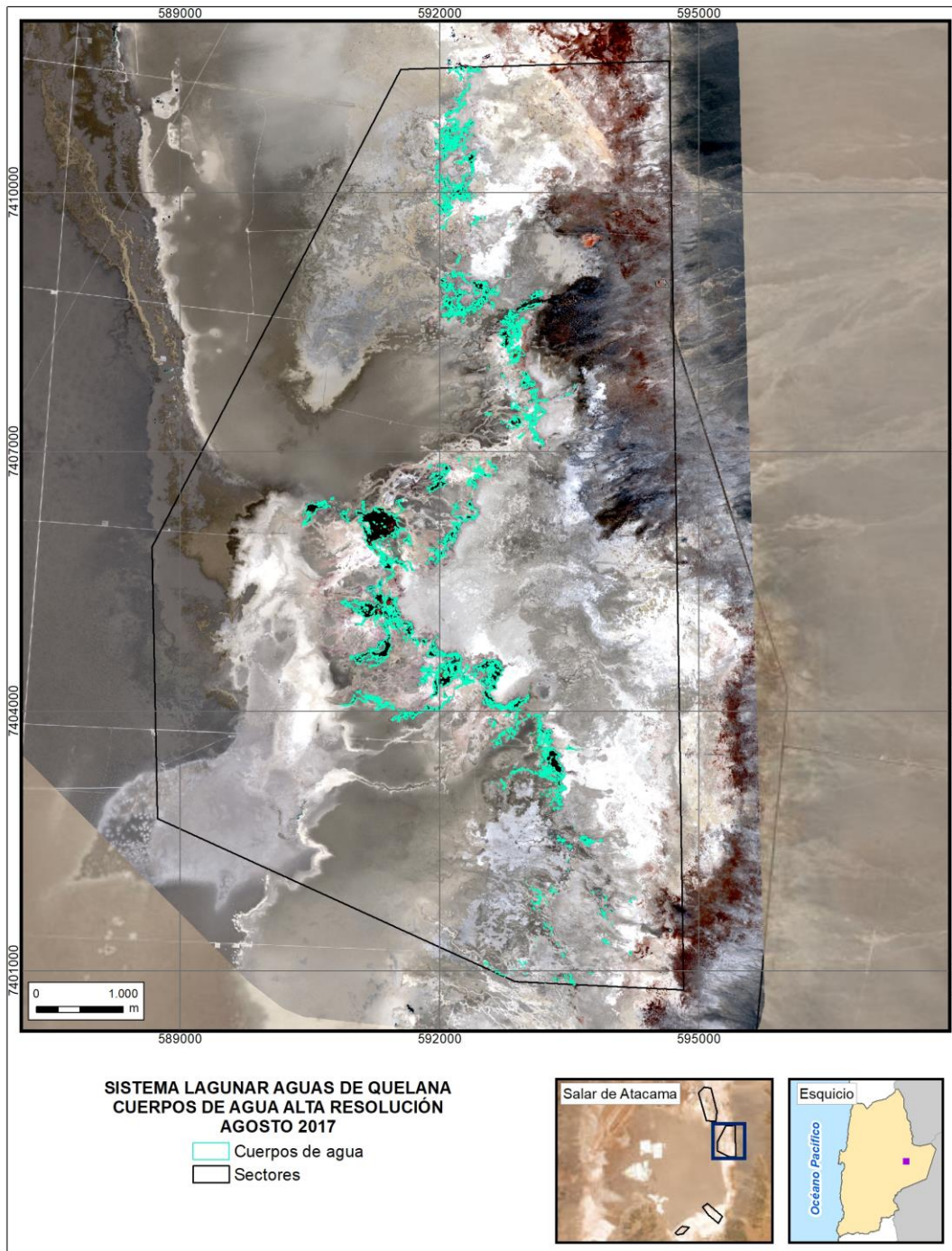
Fuente: Elaboración propia

1.29 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016



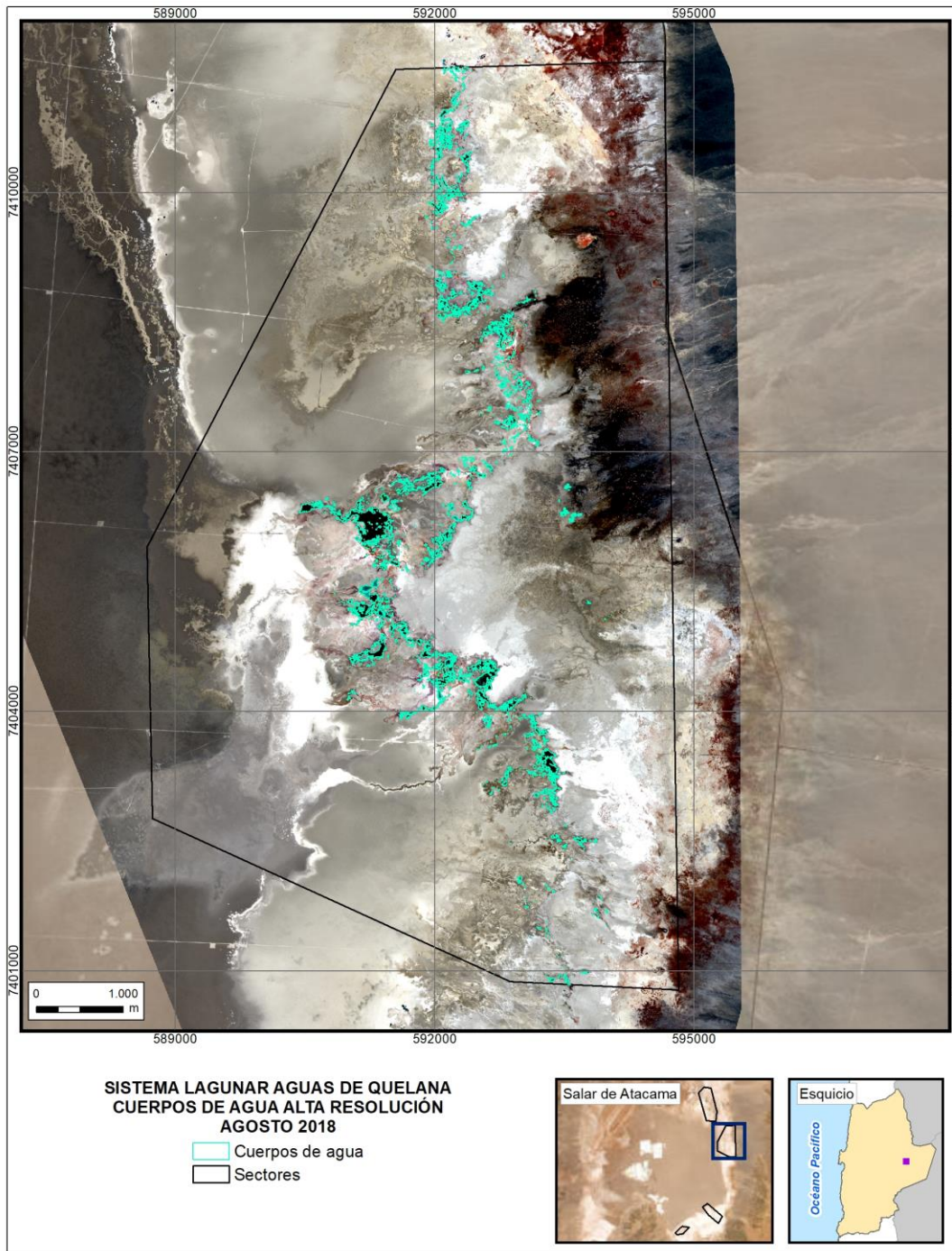
Fuente: Elaboración propia

1.30 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017



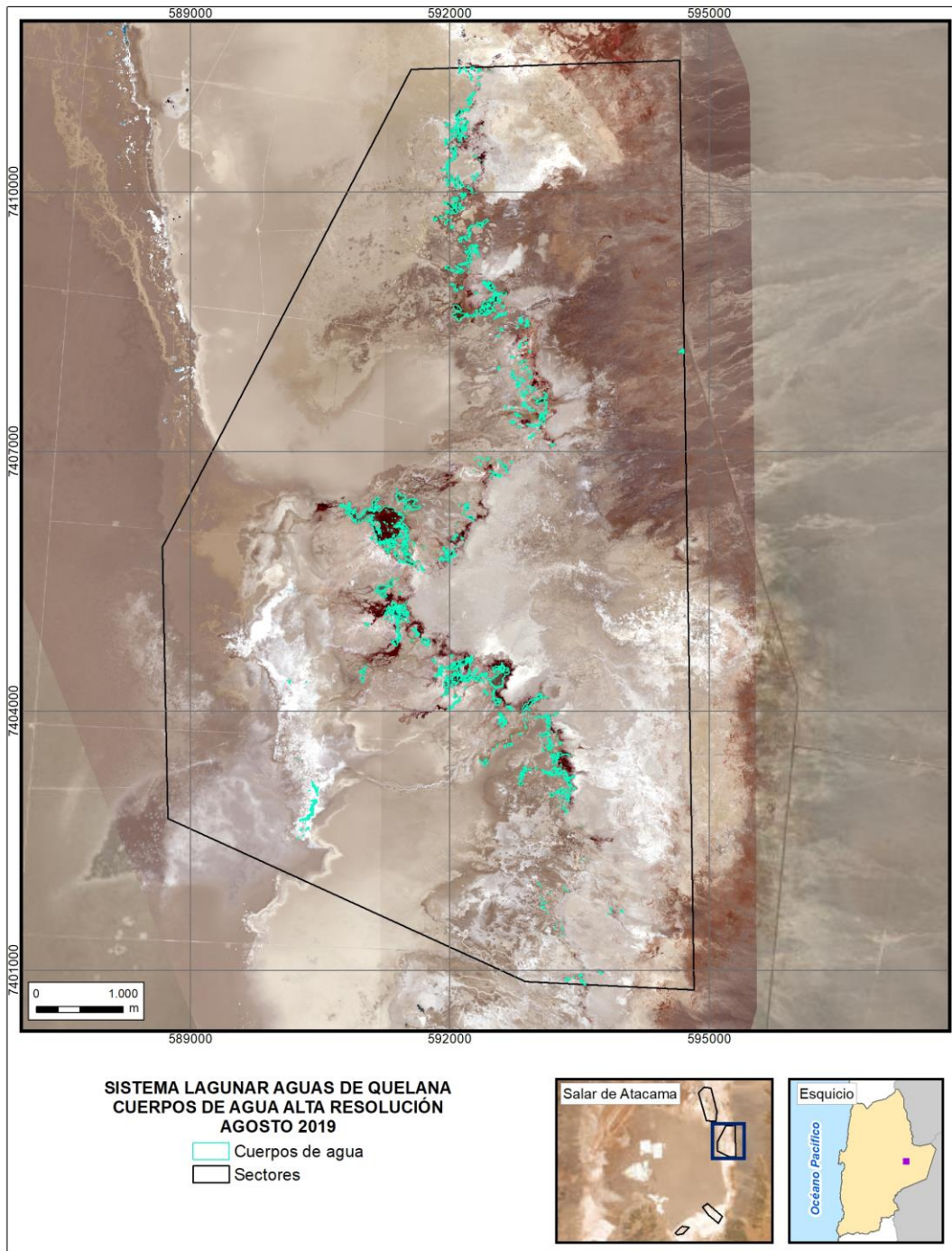
Fuente: Elaboración propia

1.31 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018



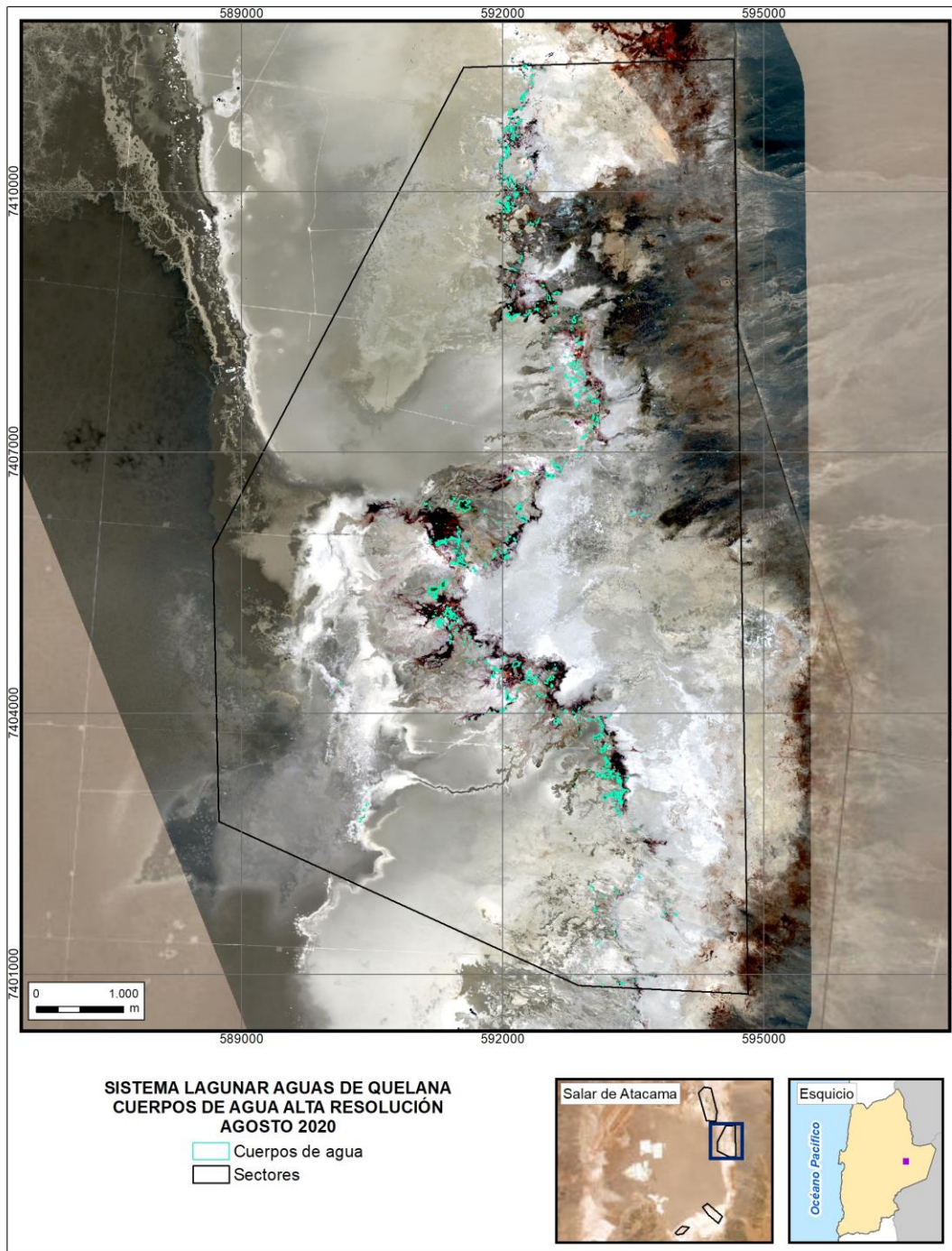
Fuente: Elaboración propia

1.32 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019



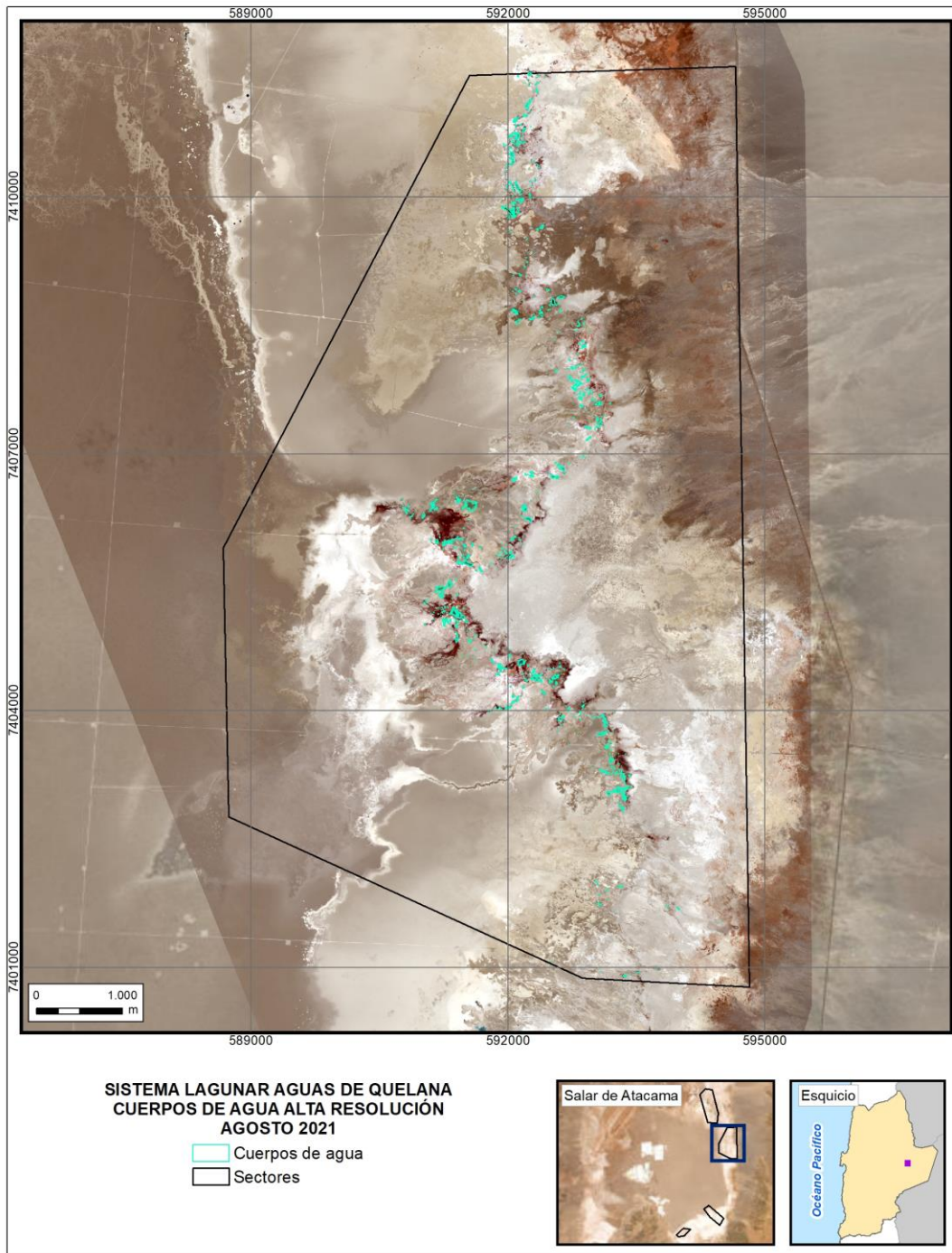
Fuente: Elaboración propia

1.33 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020



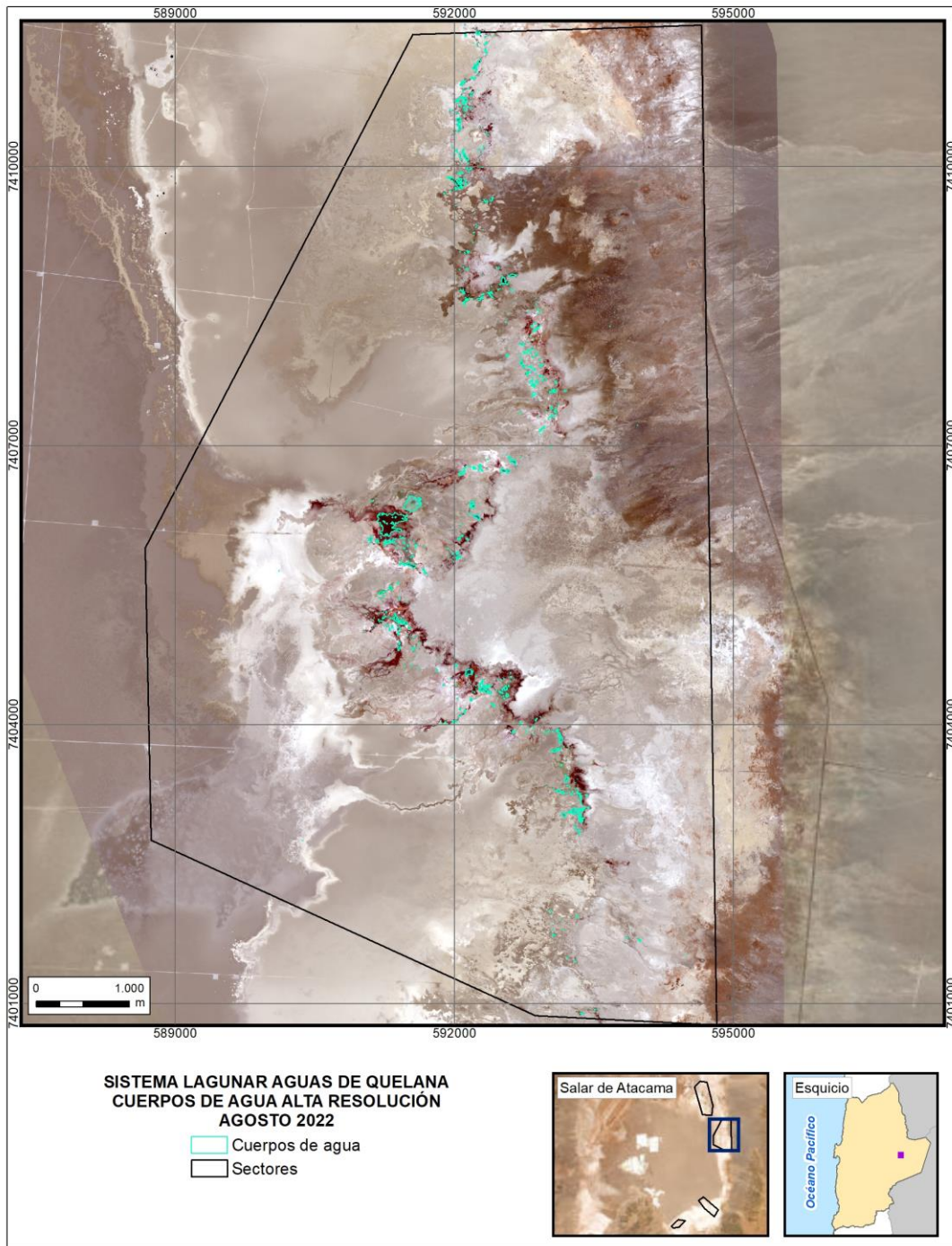
Fuente: Elaboración propia

1.34 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021



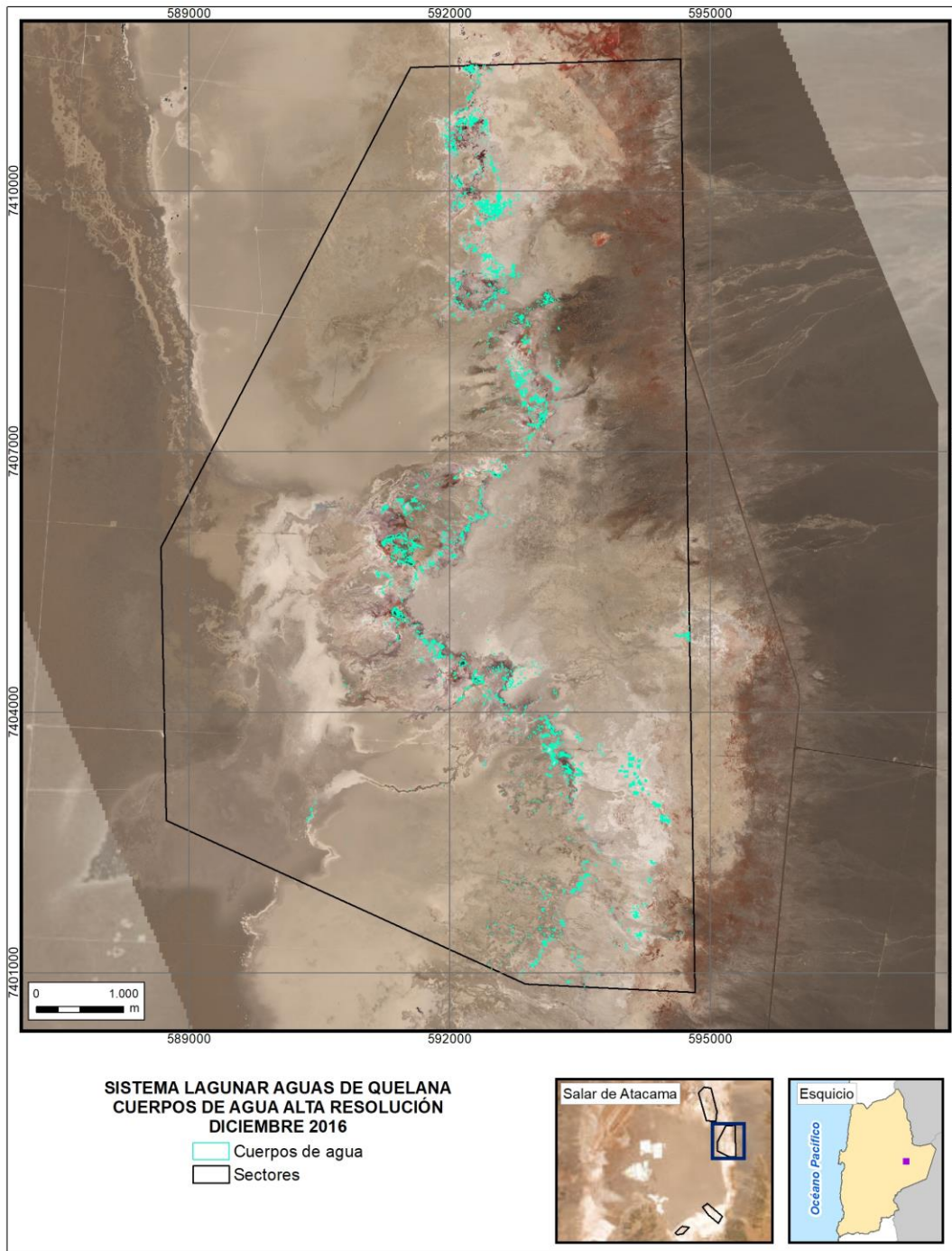
Fuente: Elaboración propia

1.35 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022



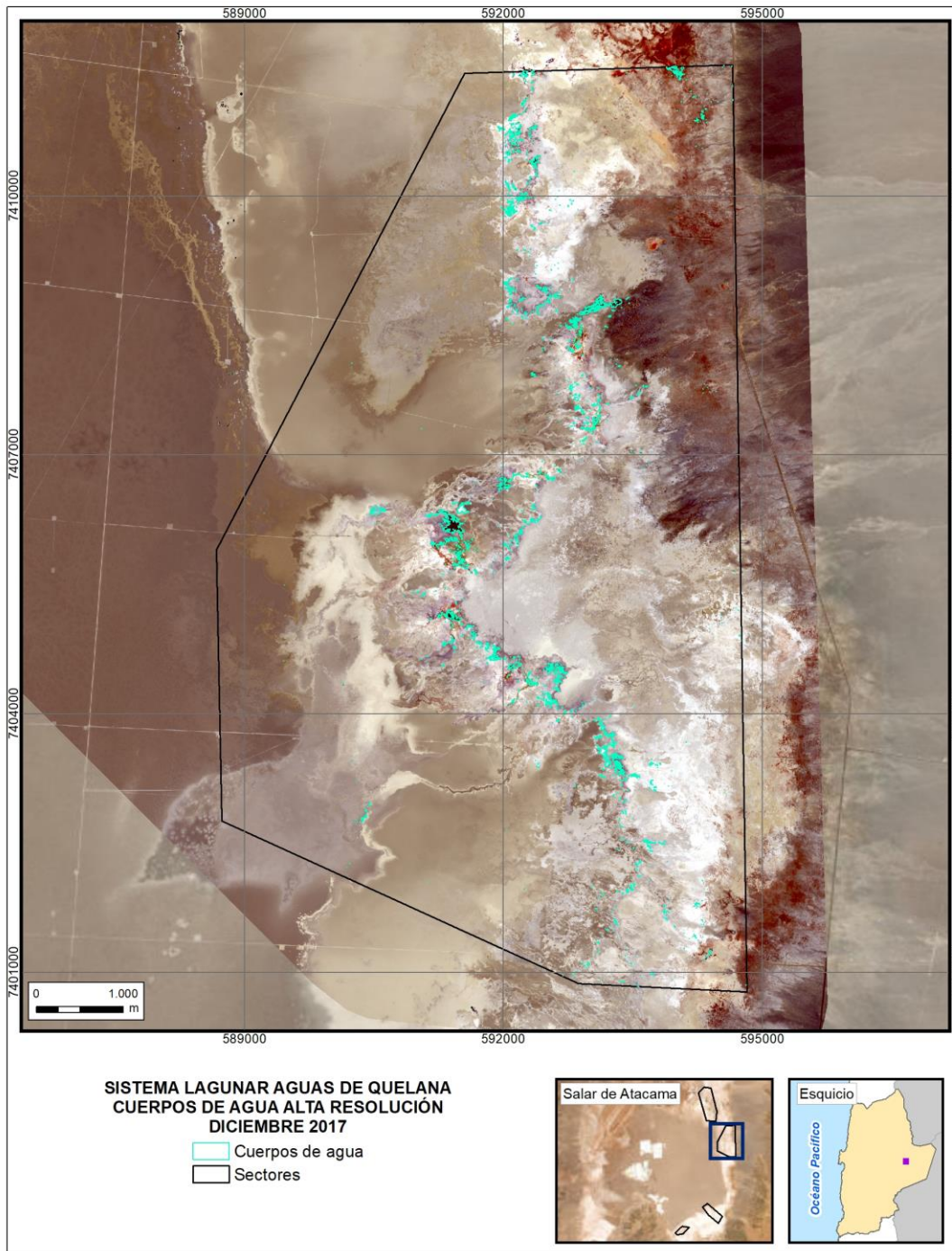
Fuente: Elaboración propia

1.36 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016



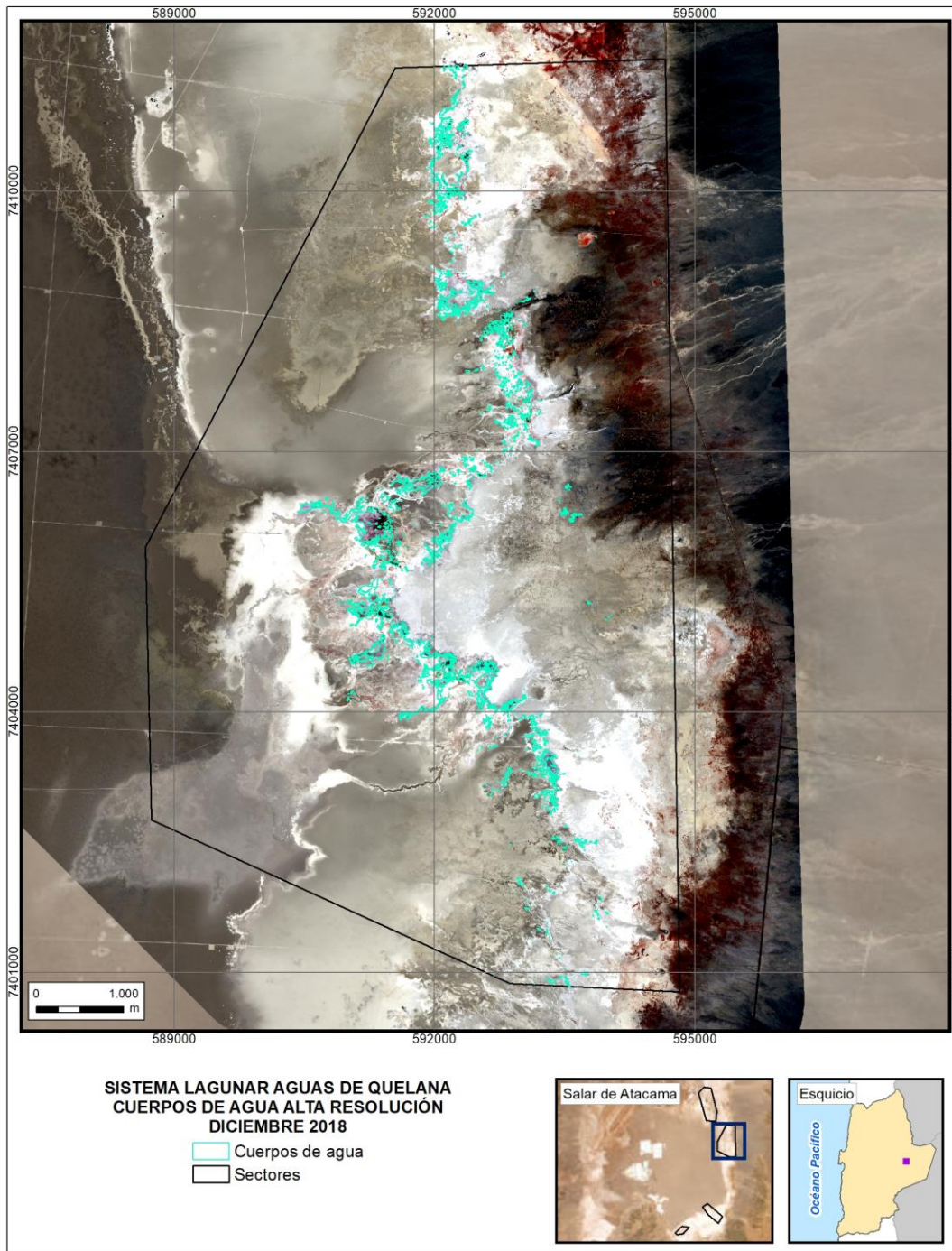
Fuente: Elaboración propia

1.37 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017



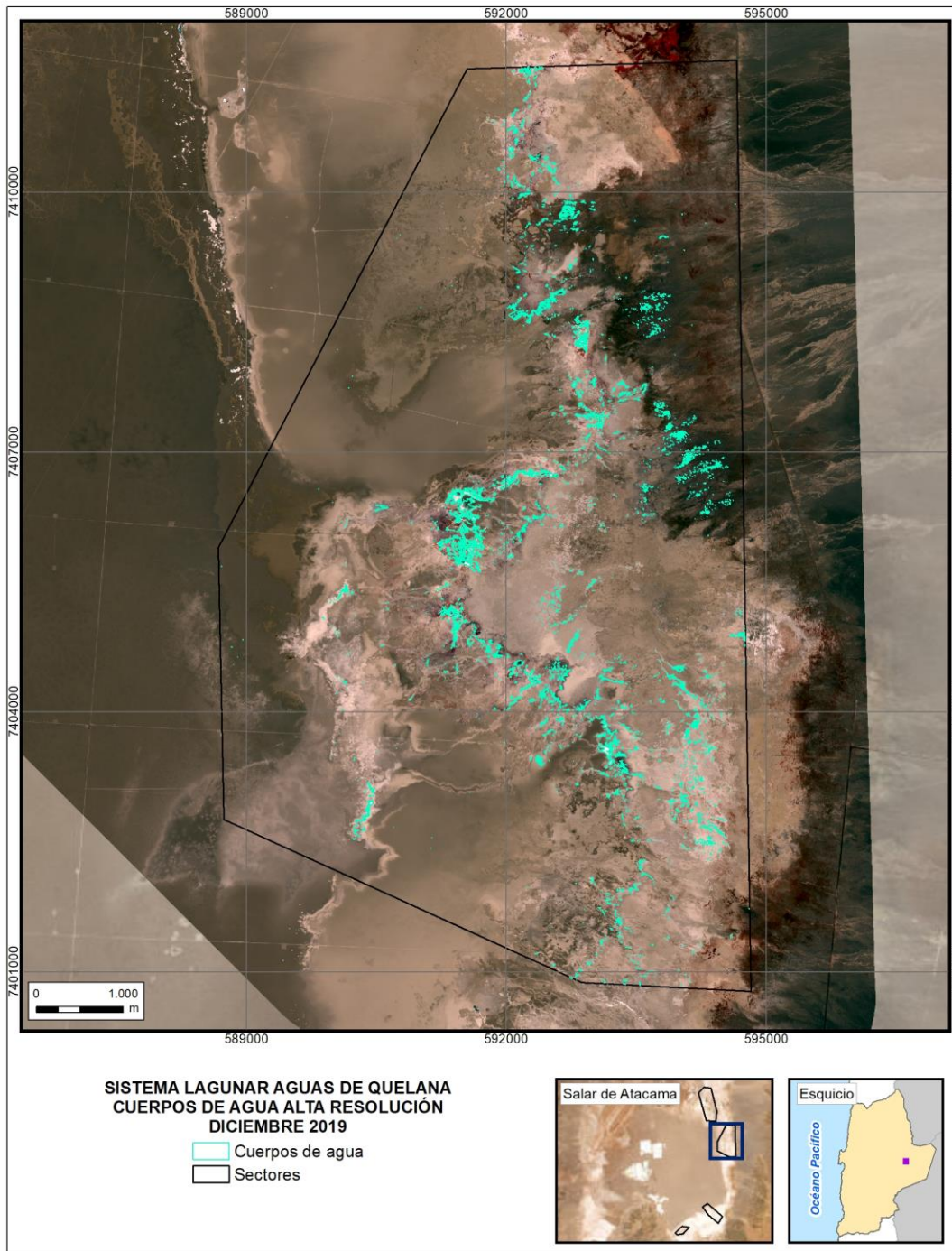
Fuente: Elaboración propia

1.38 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018



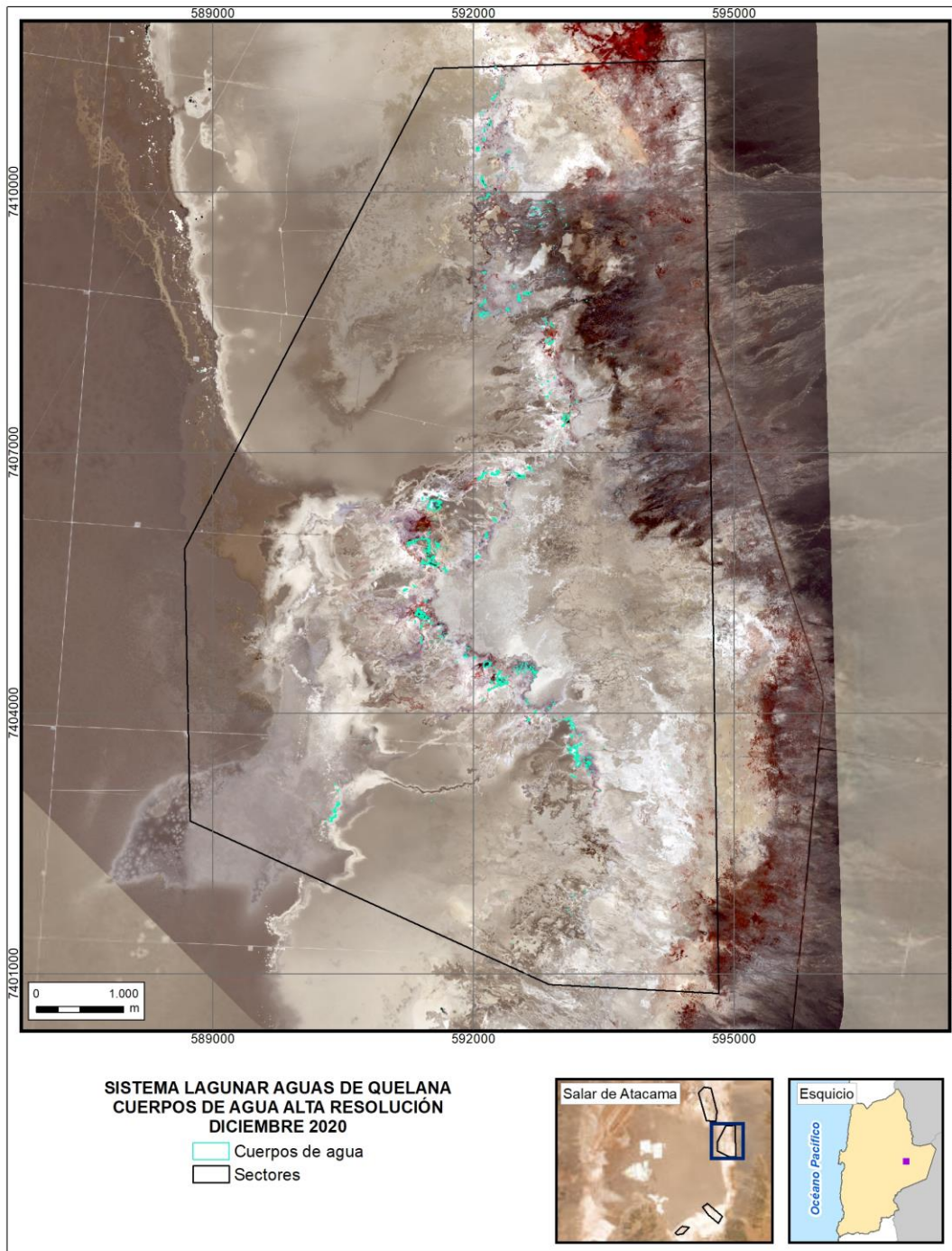
Fuente: Elaboración propia

1.39 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019



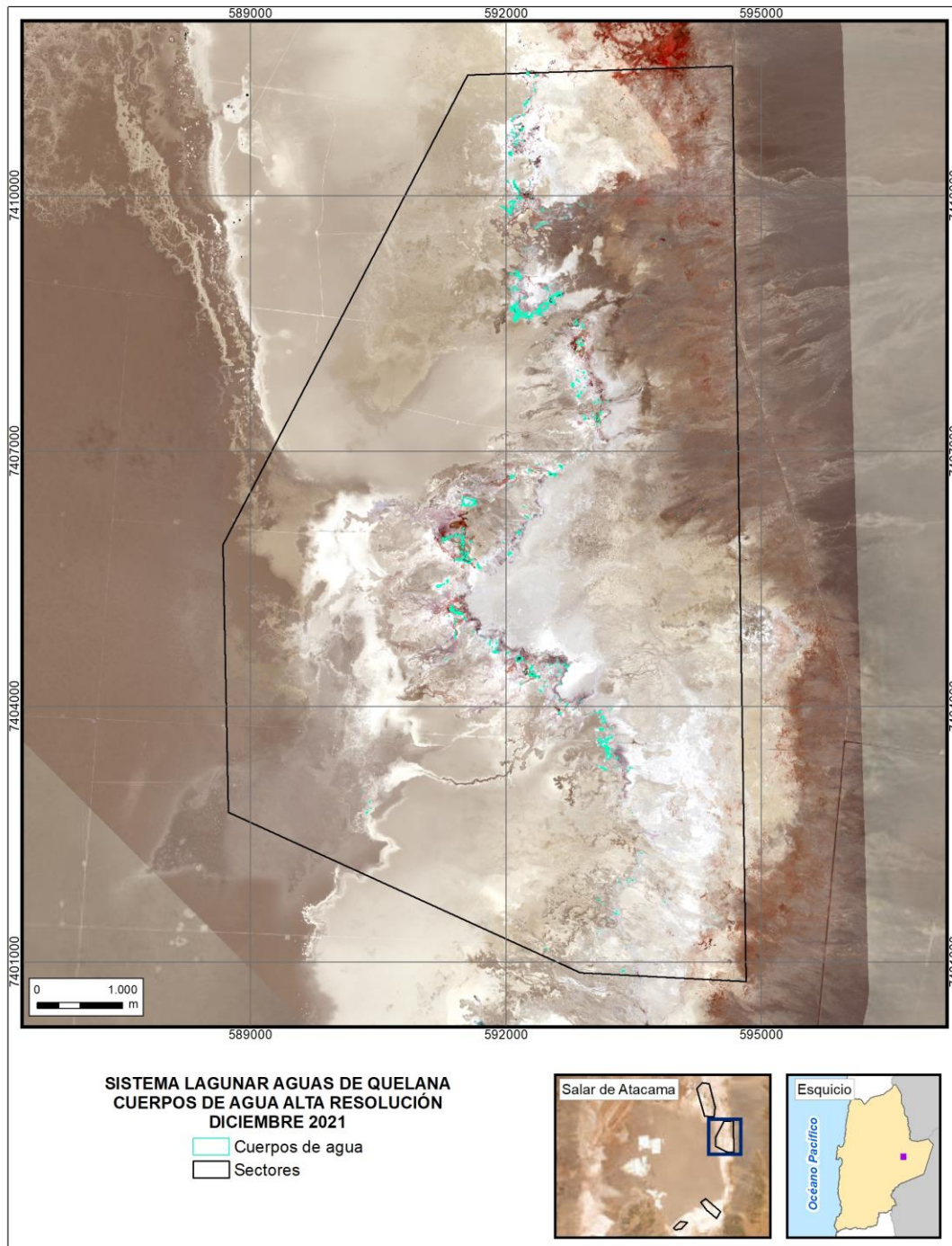
Fuente: Elaboración propia

1.40 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020



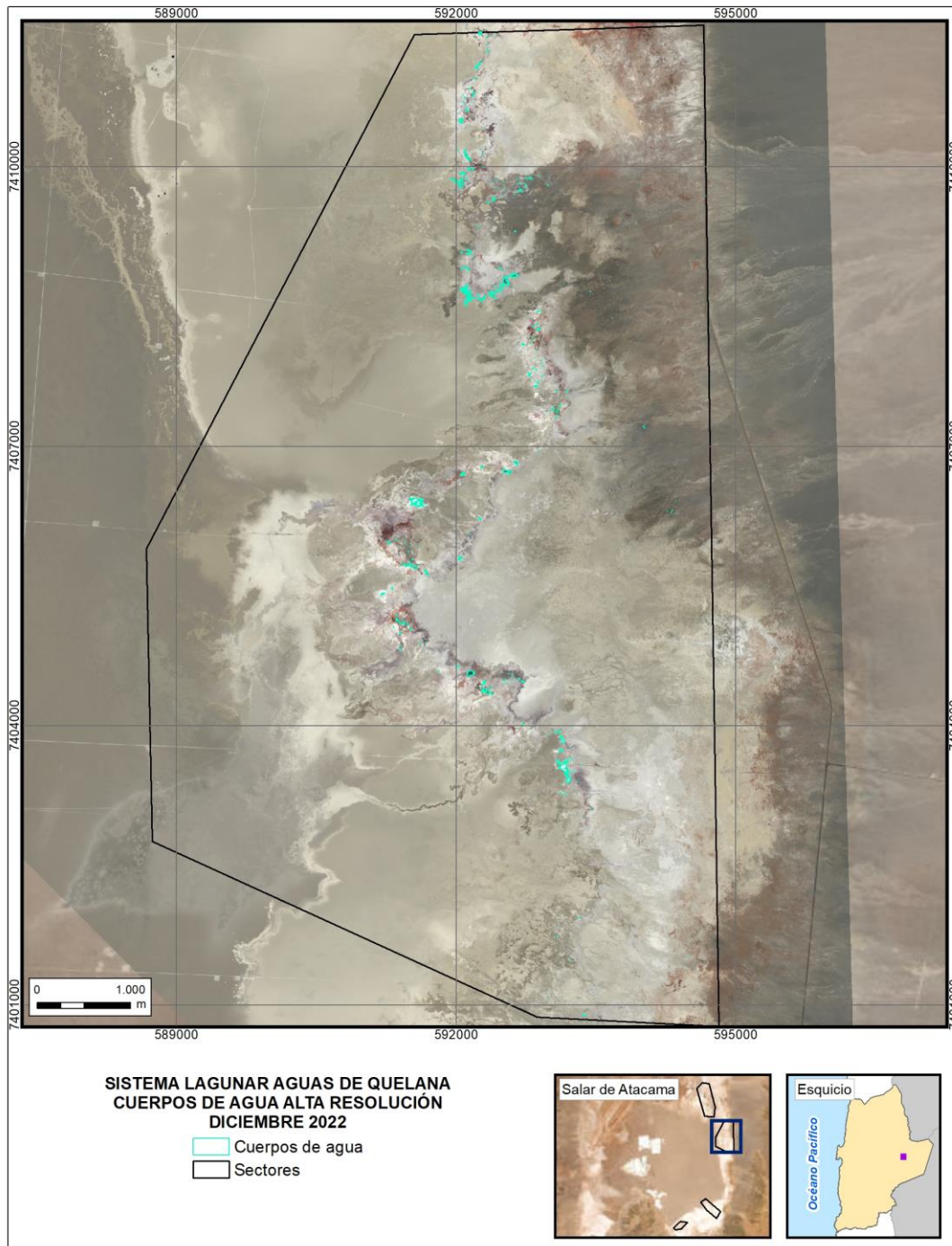
Fuente: Elaboración propia

1.41 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021



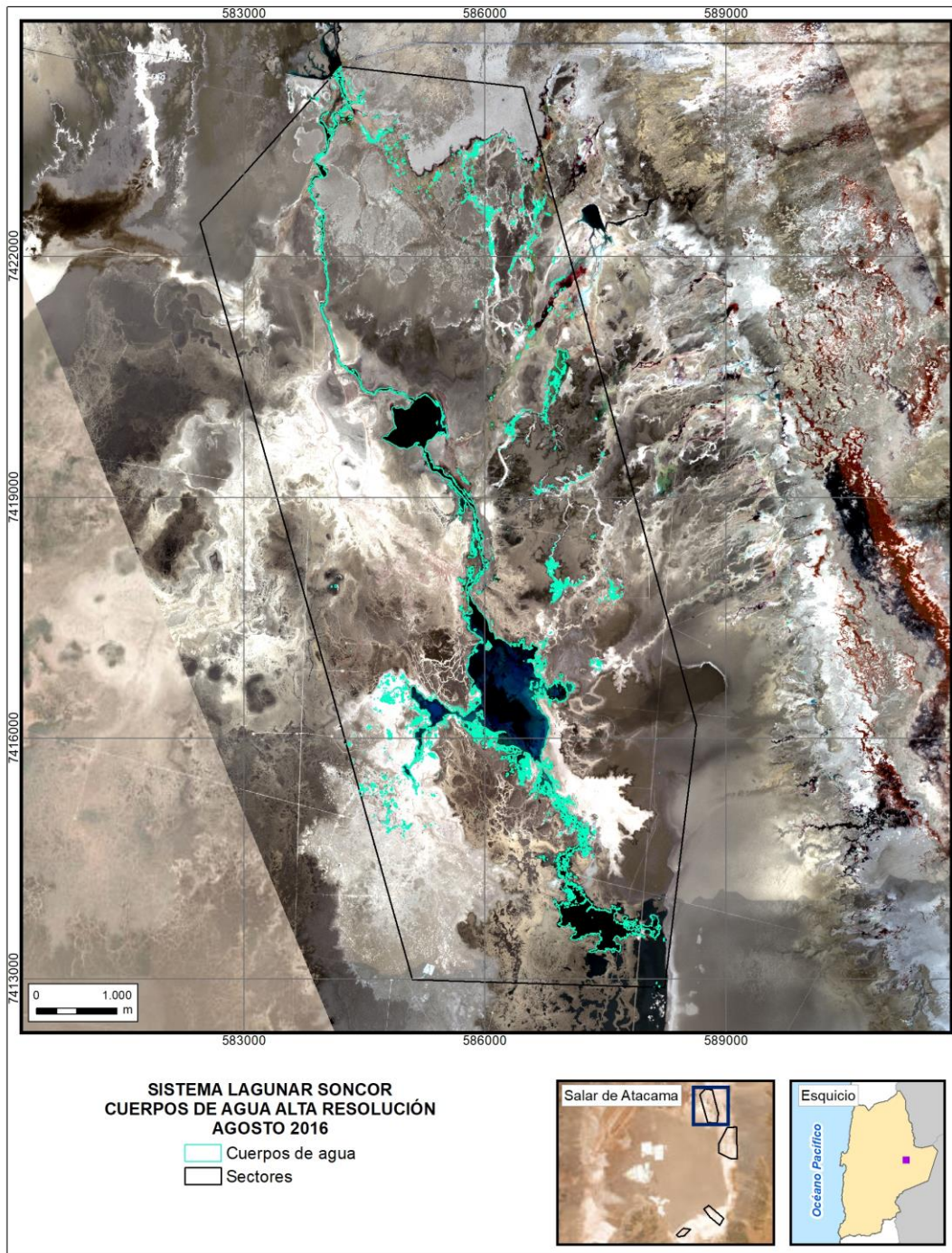
Fuente: Elaboración propia

1.42 Sector Aguas de Quelana – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022



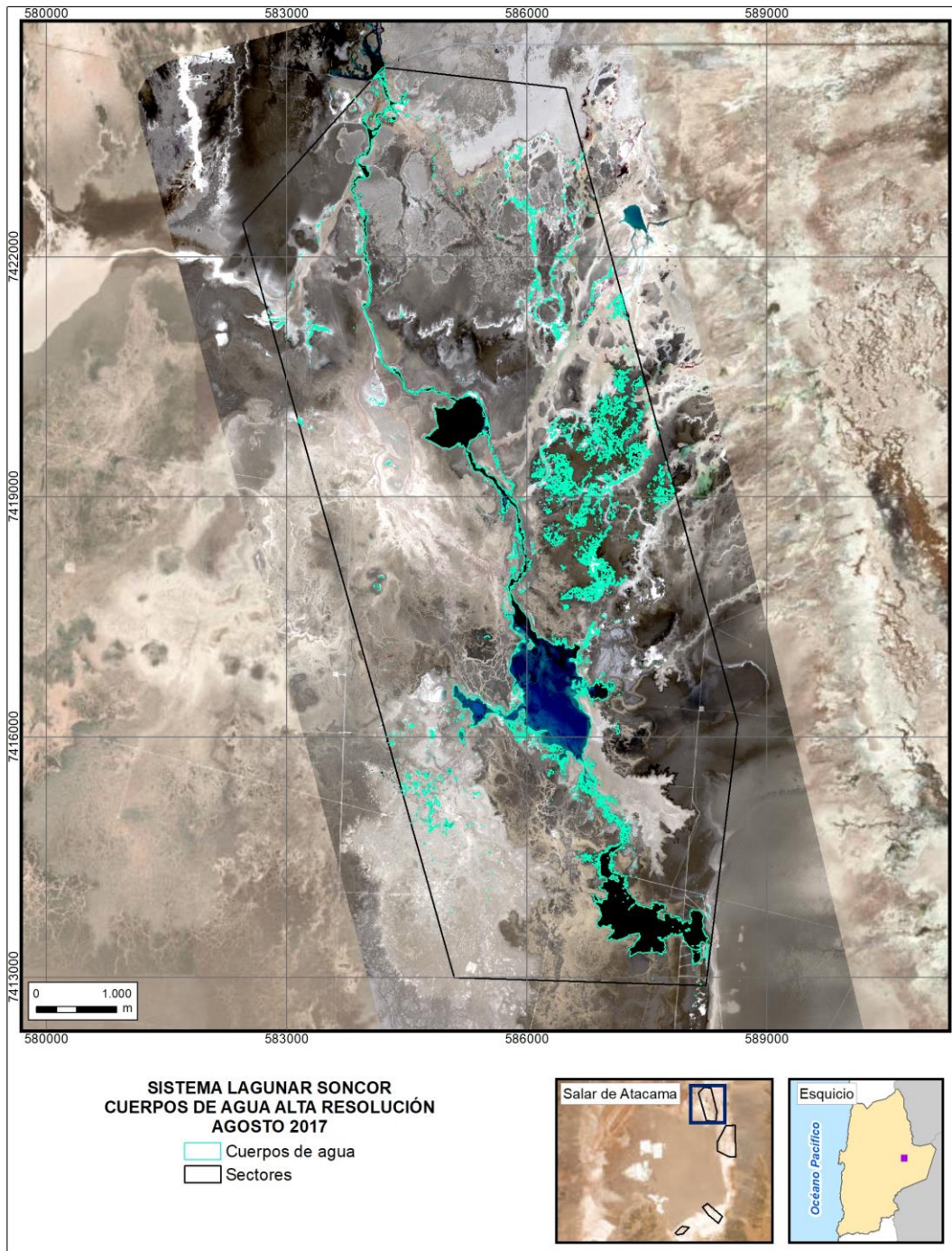
Fuente: Elaboración propia

1.43 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2016



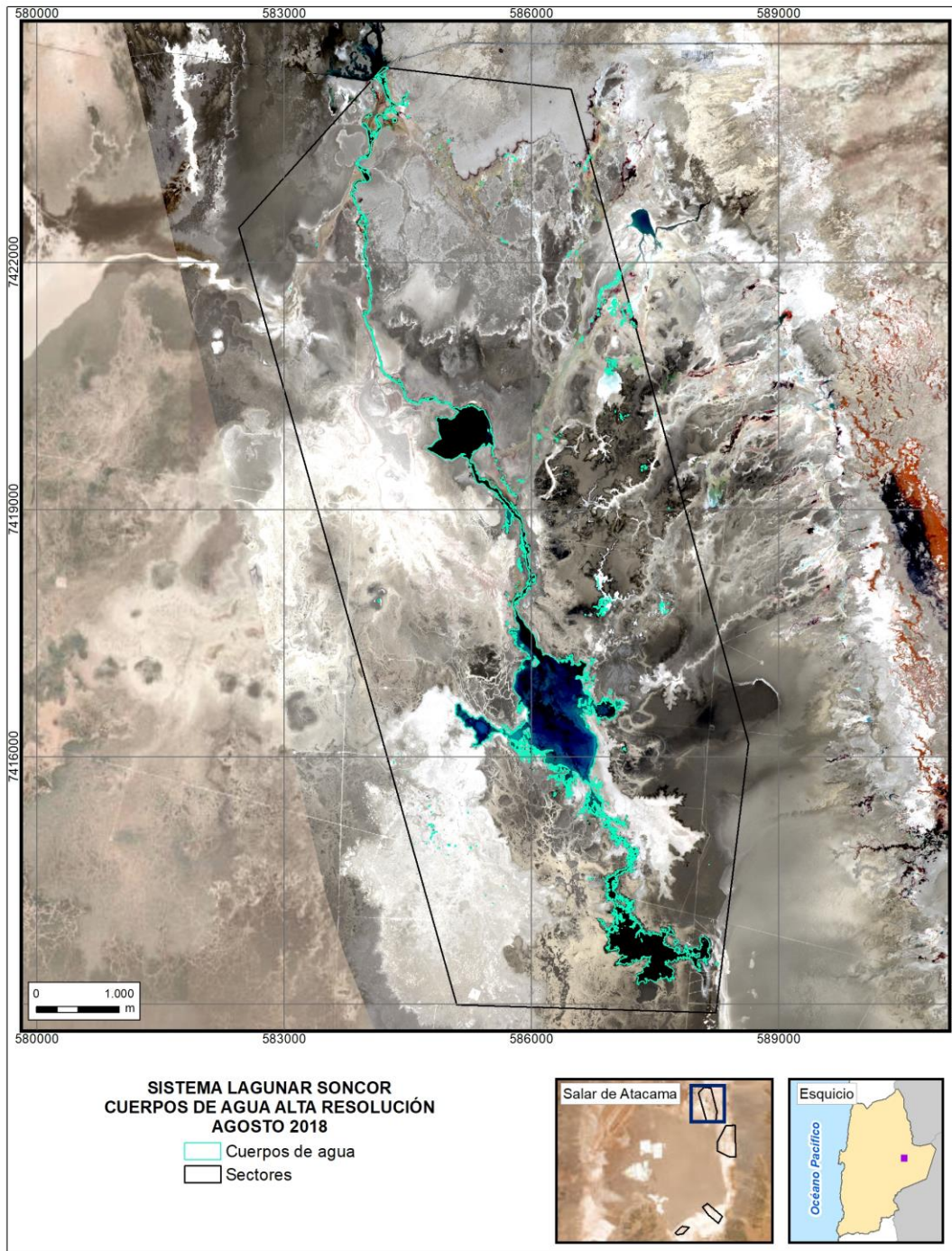
Fuente: Elaboración propia

1.44 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2017



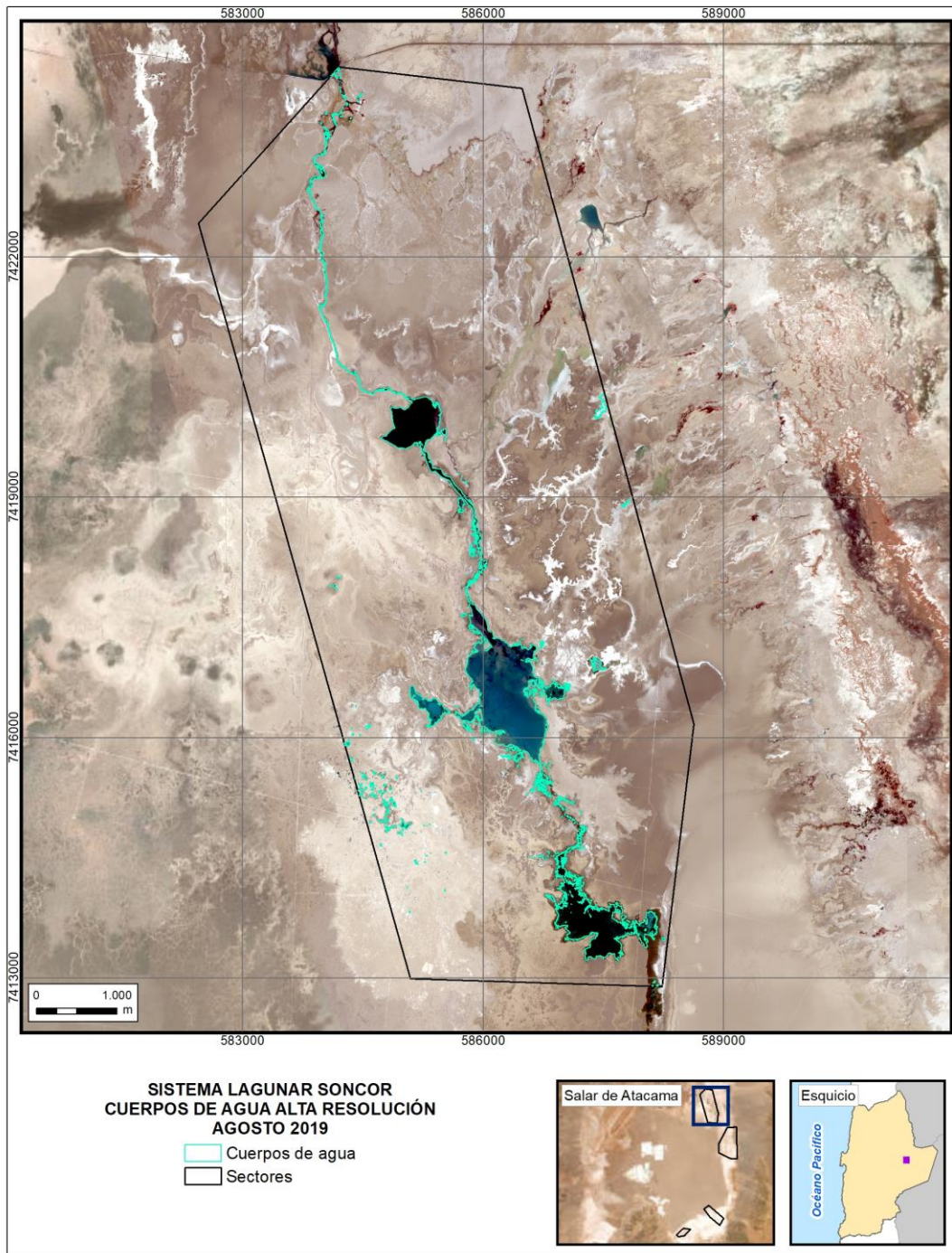
Fuente: Elaboración propia

1.45 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2018



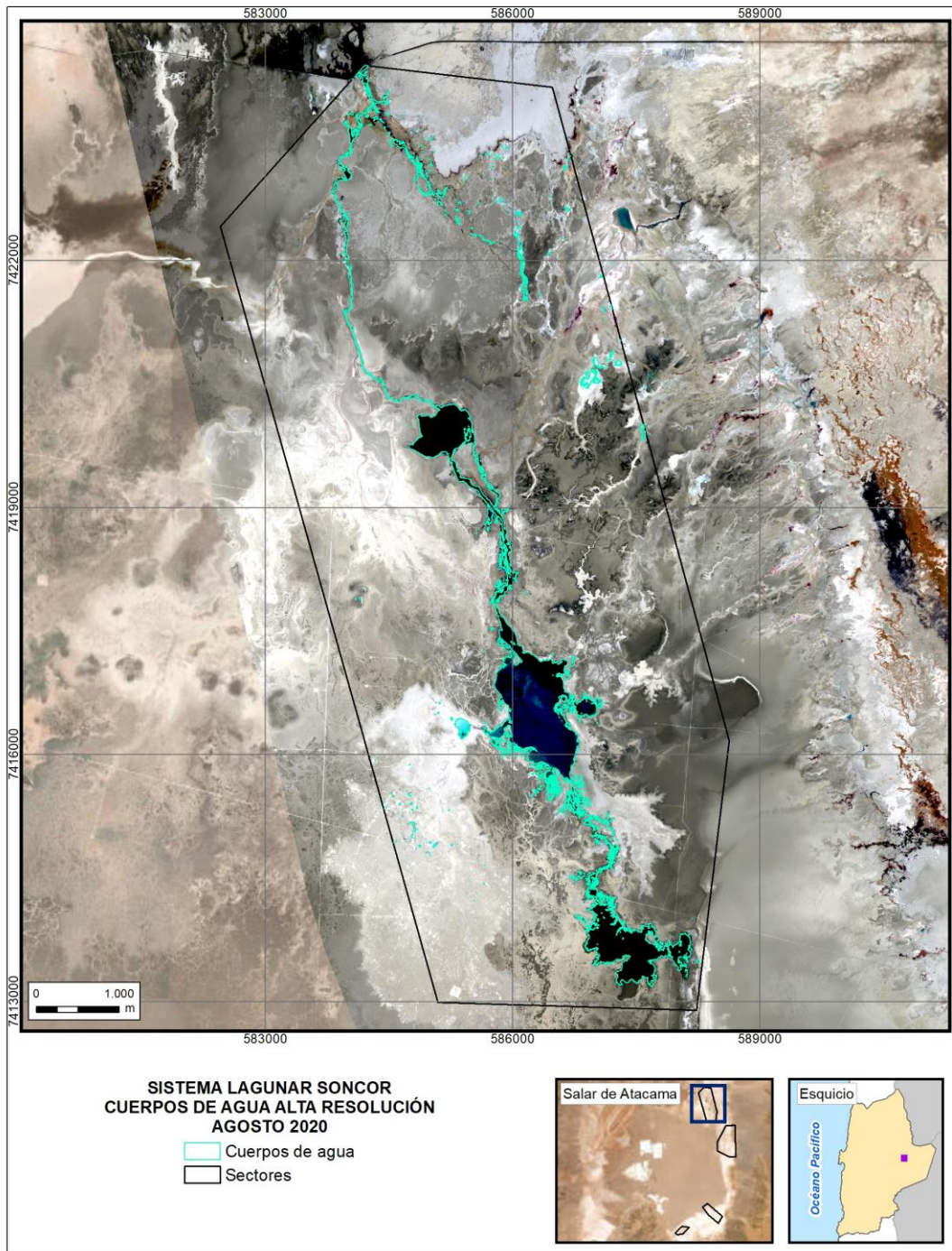
Fuente: Elaboración propia

1.46 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2019



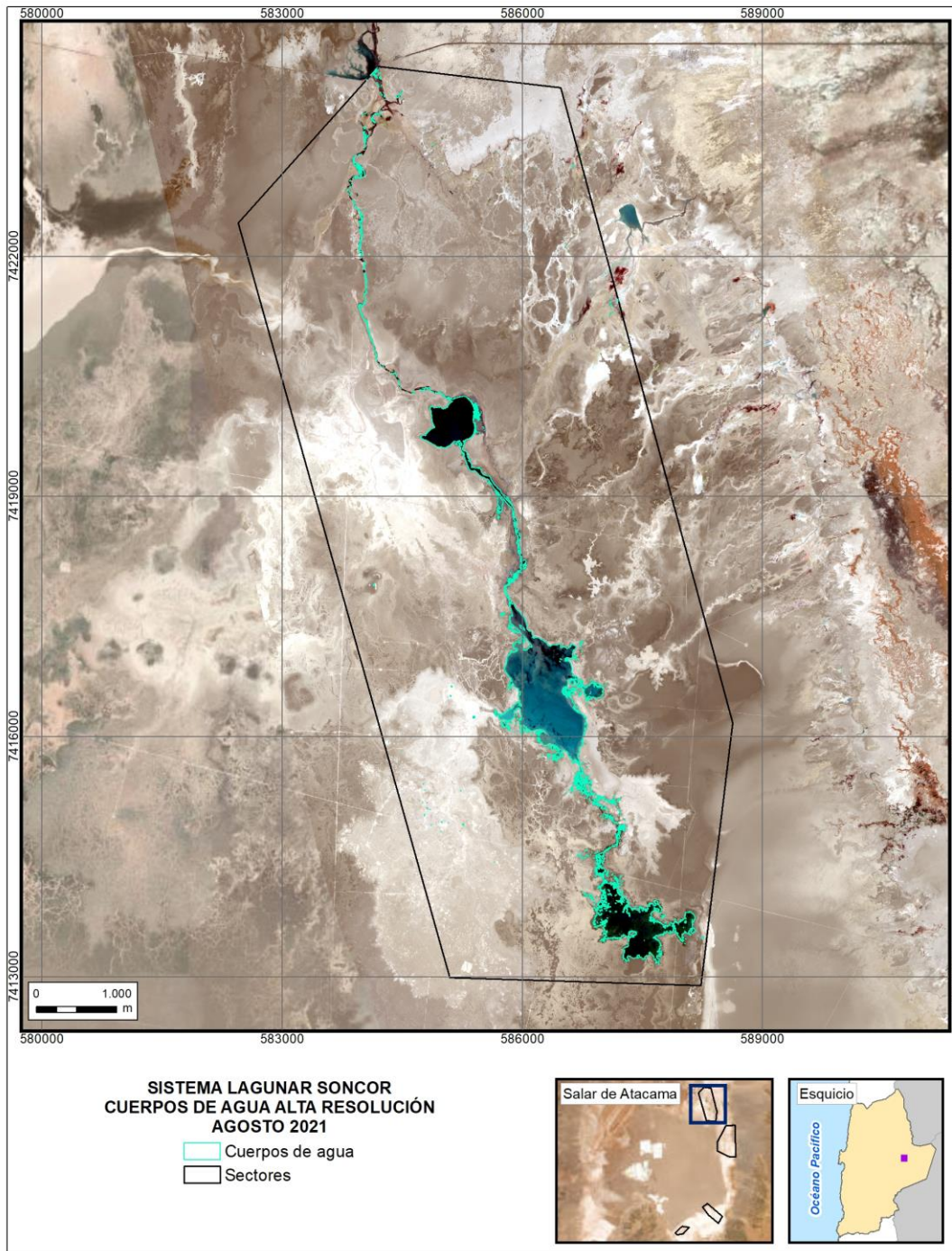
Fuente: Elaboración propia

1.47 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2020



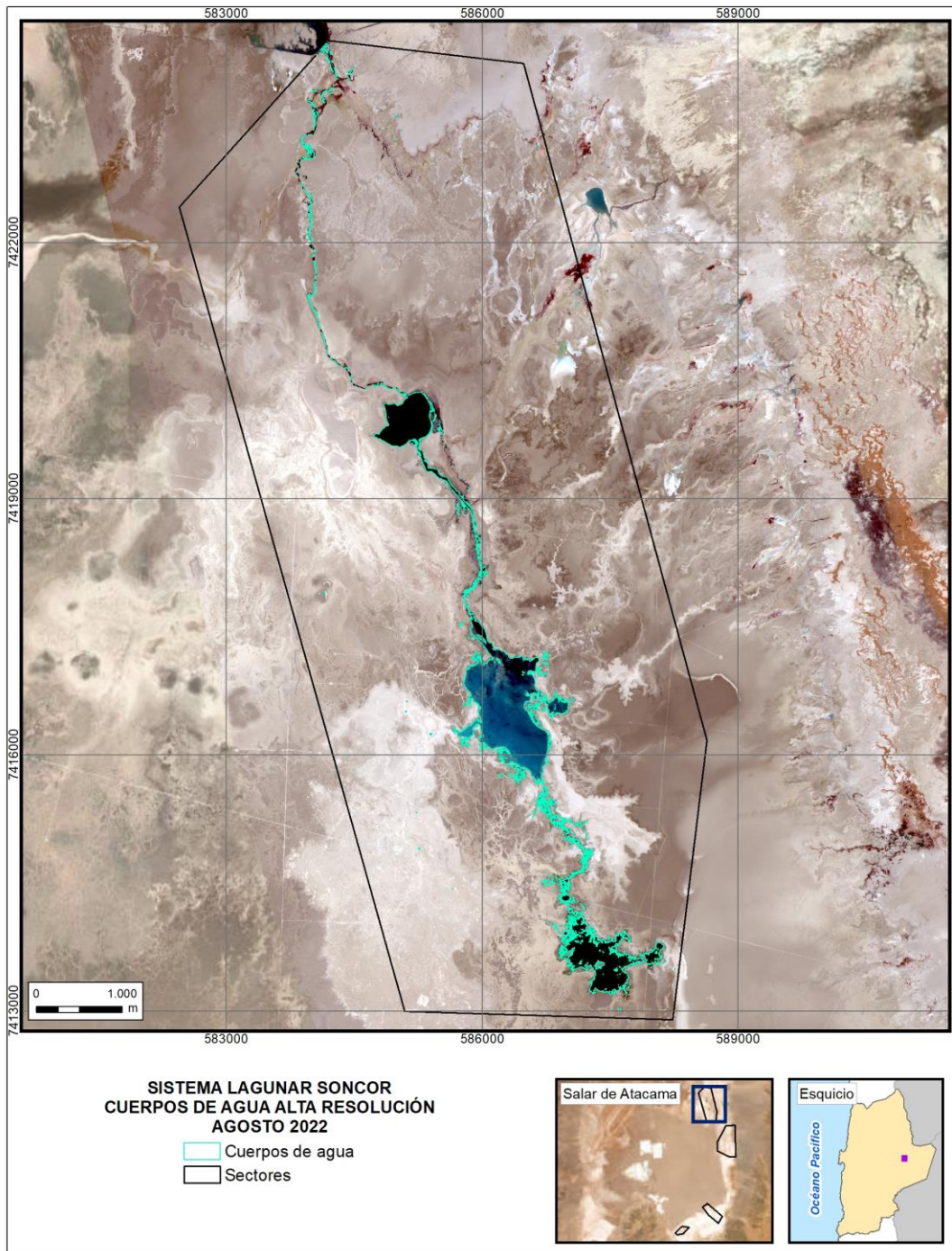
Fuente: Elaboración propia

1.48 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2021



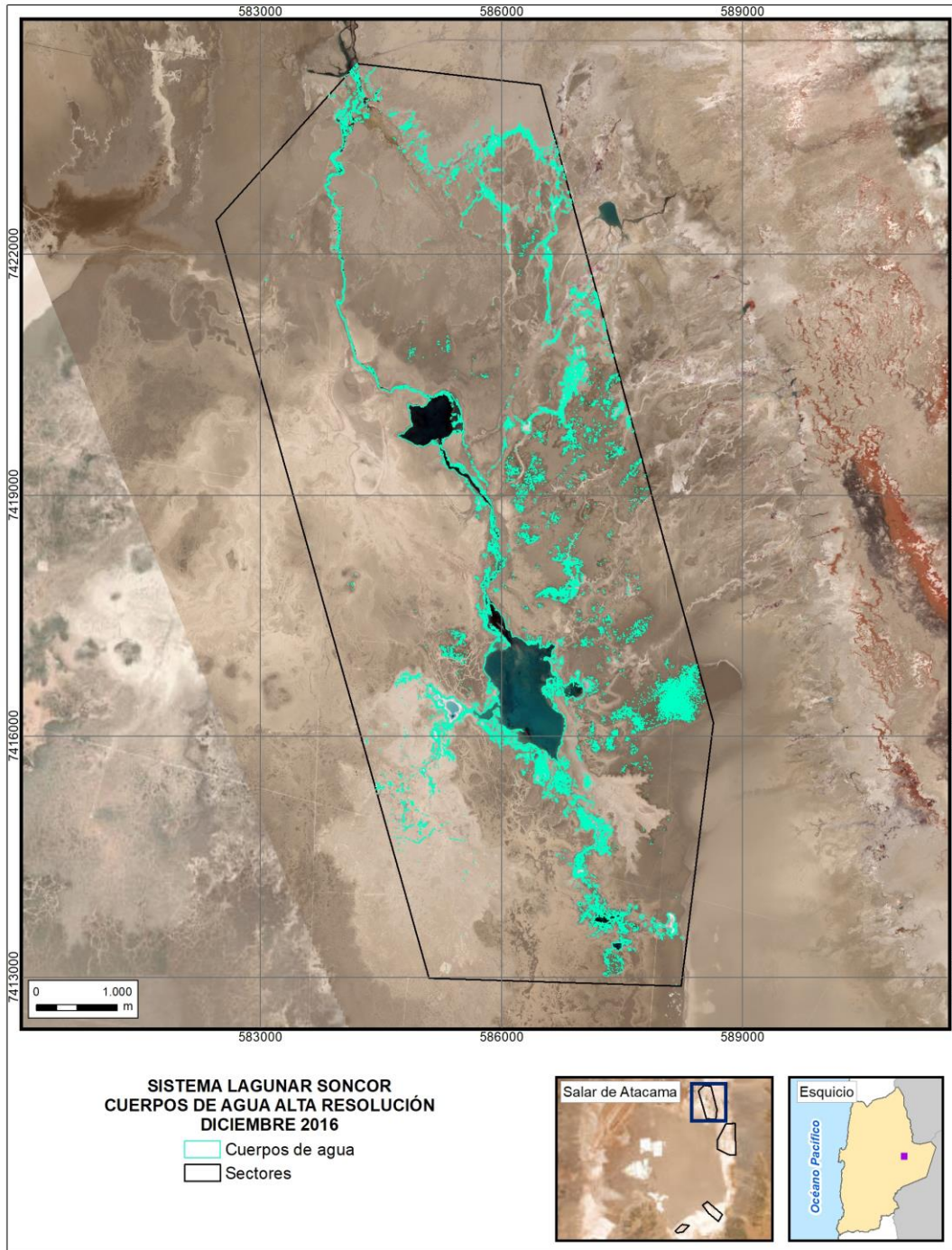
Fuente: Elaboración propia

1.49 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Agosto 2022



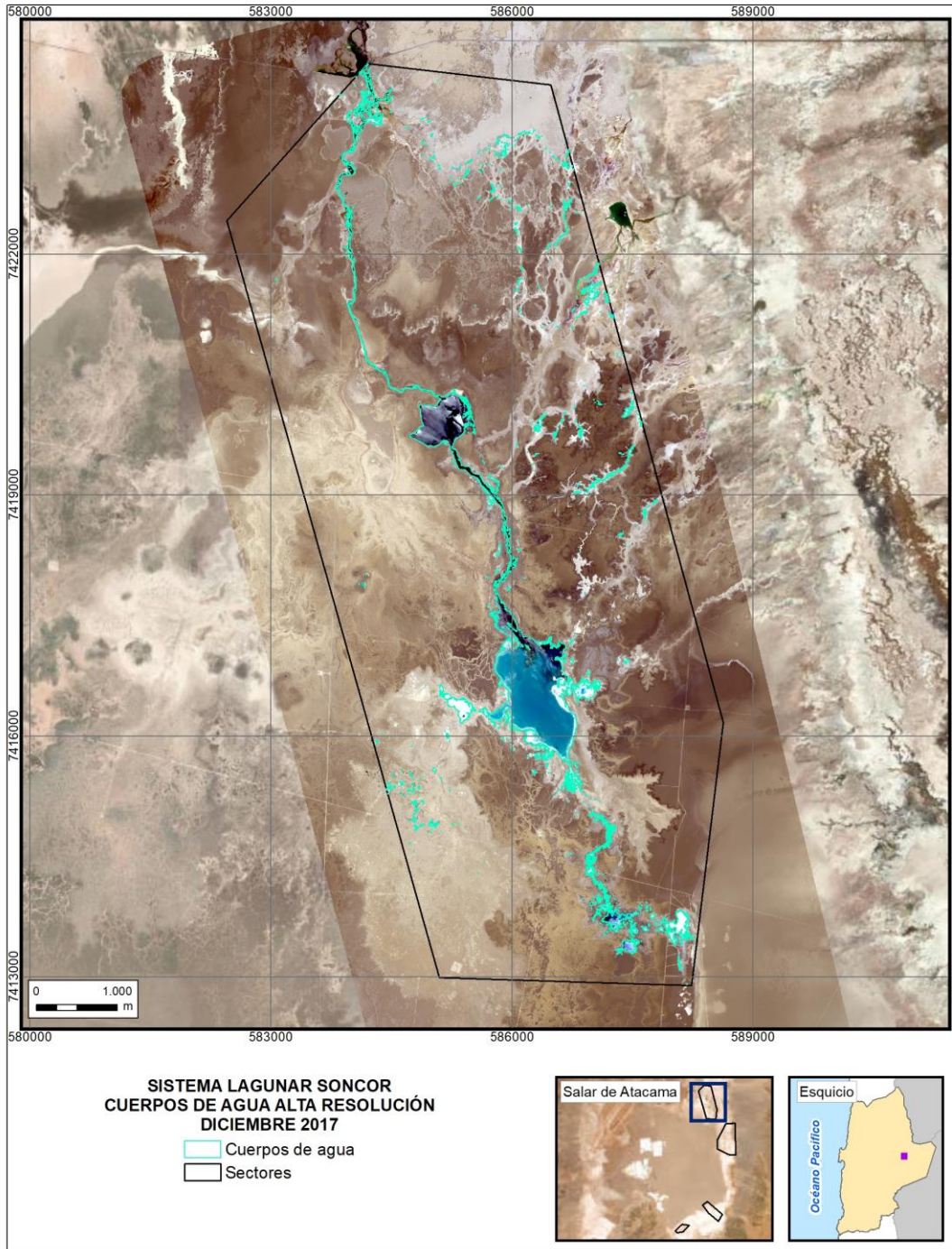
Fuente: Elaboración propia

1.50 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2016



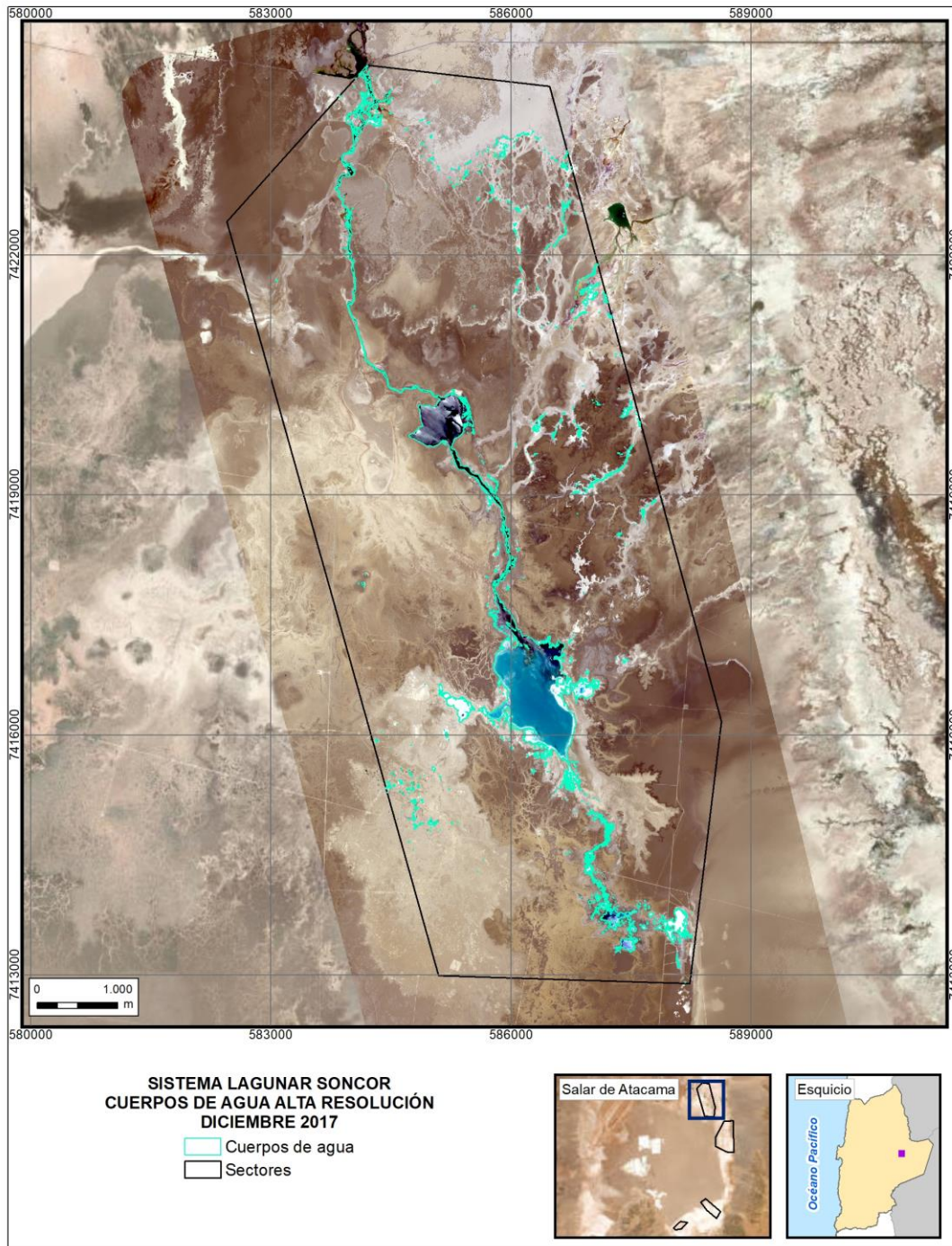
Fuente: Elaboración propia

1.51 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2017



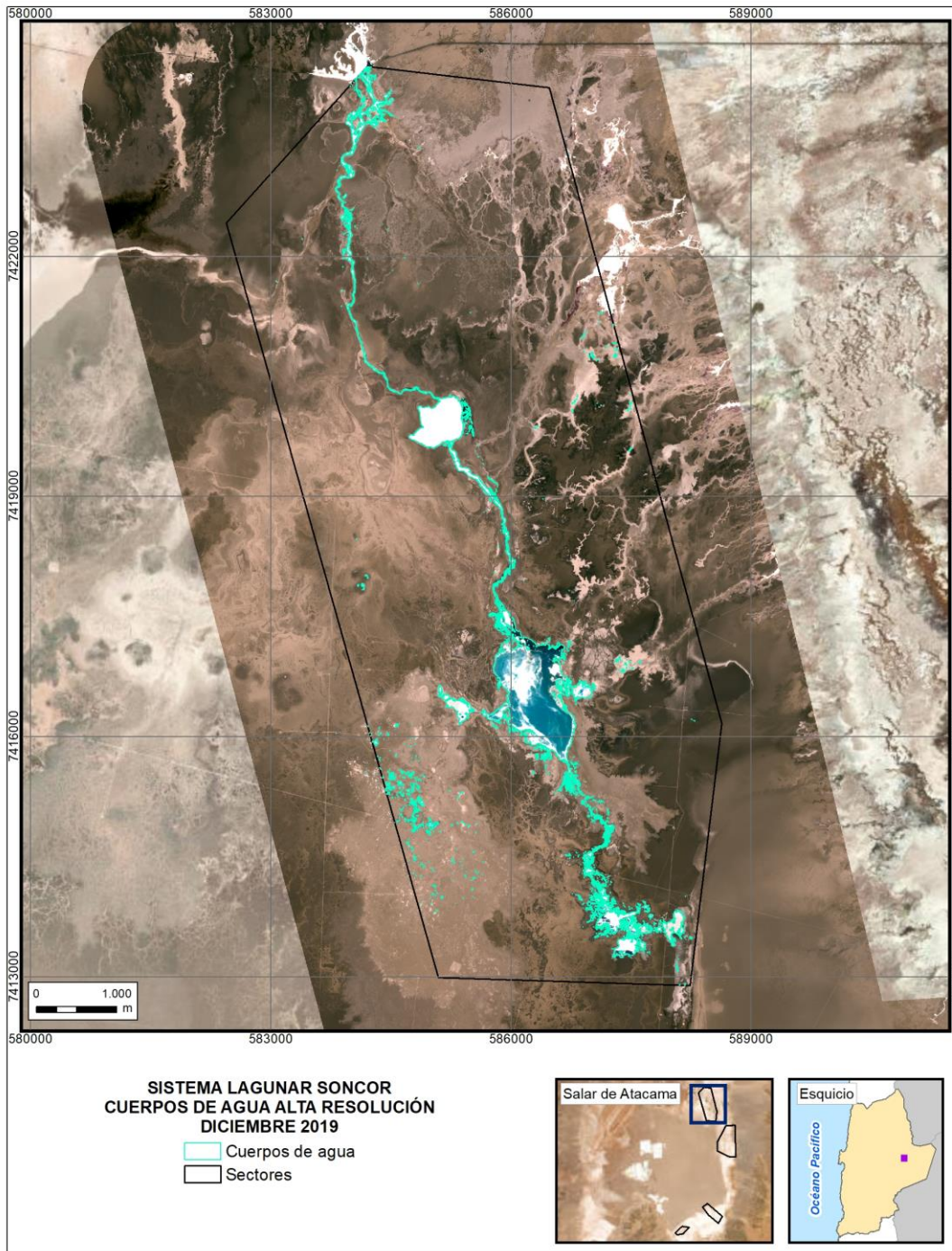
Fuente: Elaboración propia

1.52 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2018



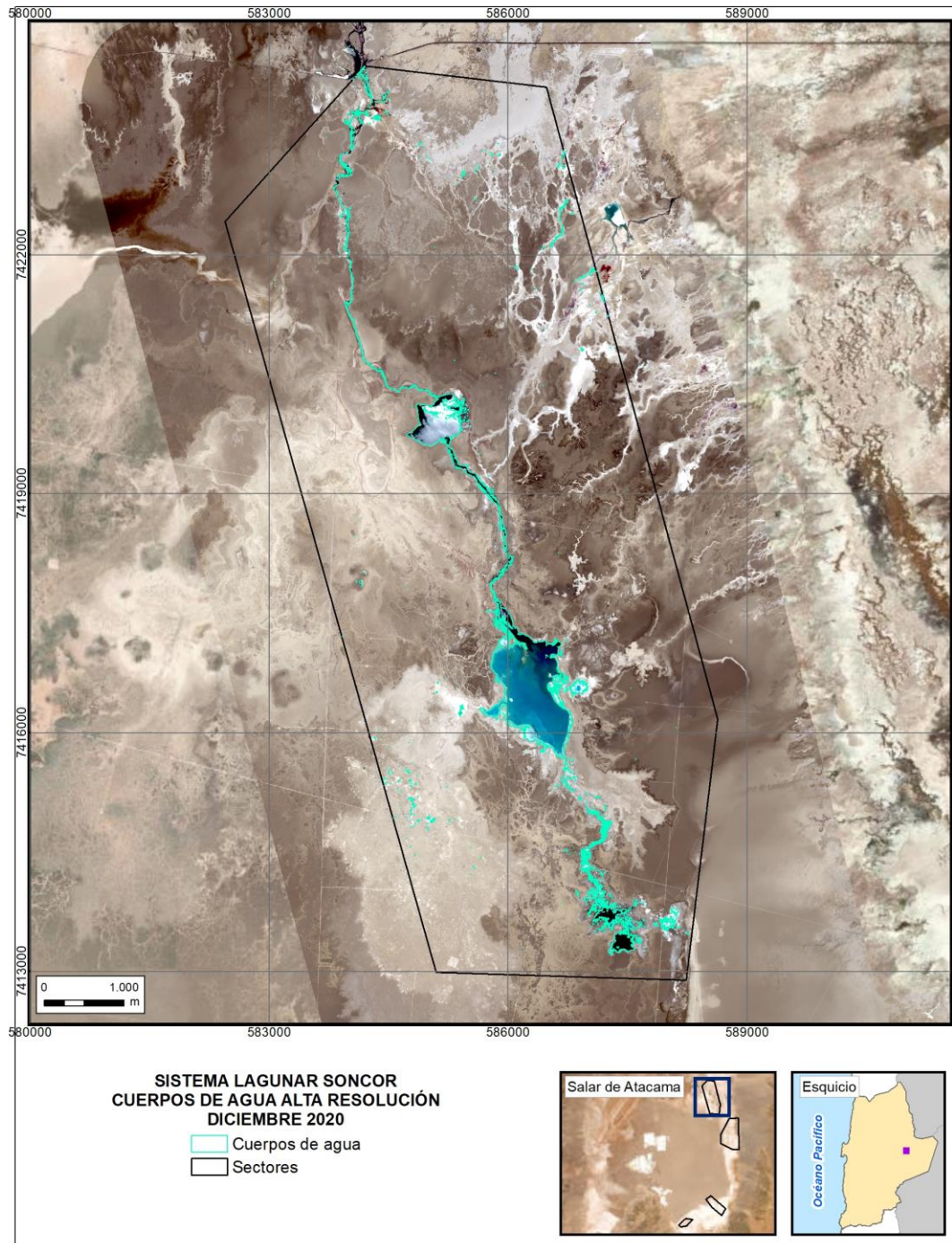
Fuente: Elaboración propia

1.53 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2019



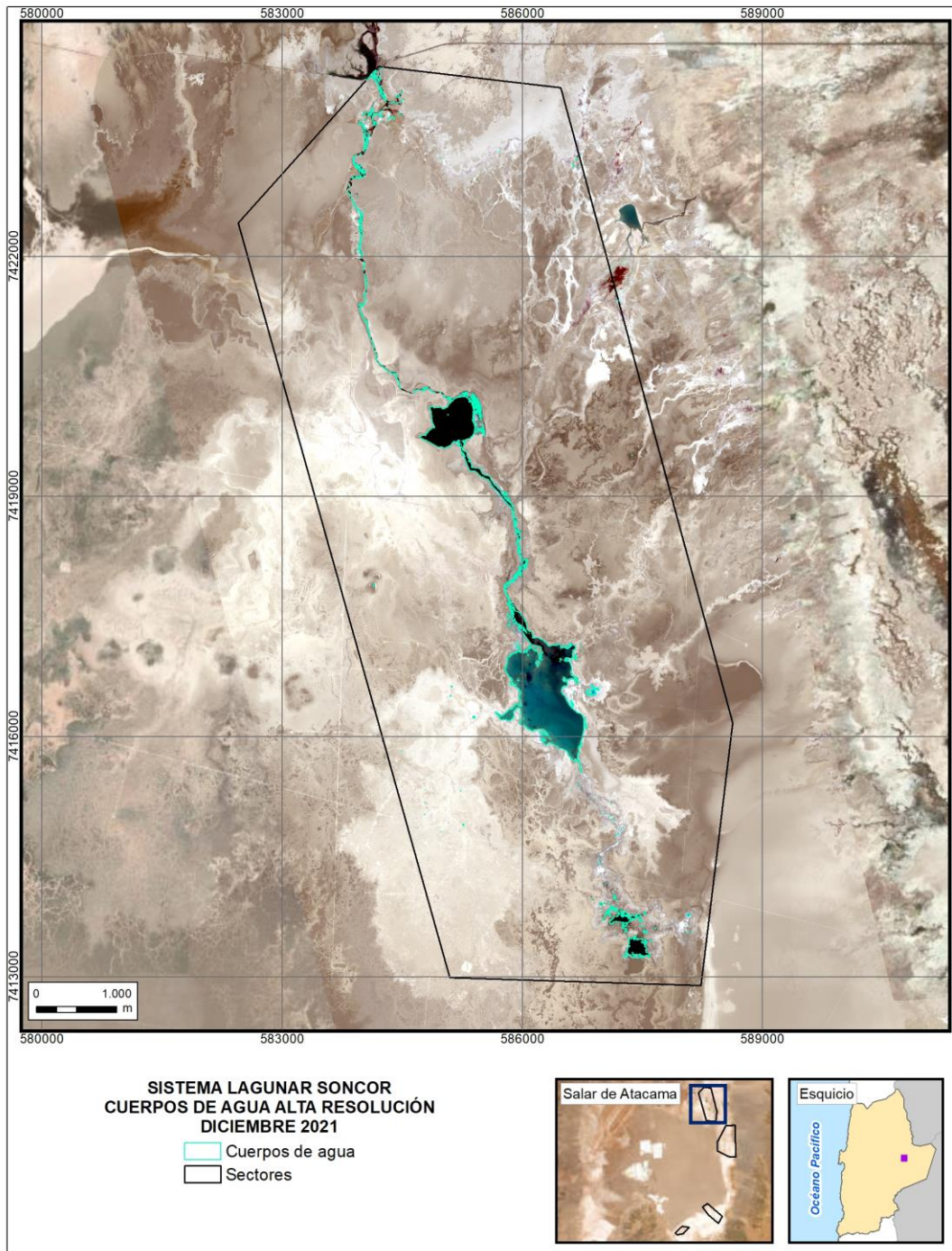
Fuente: Elaboración propia

1.54 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2020



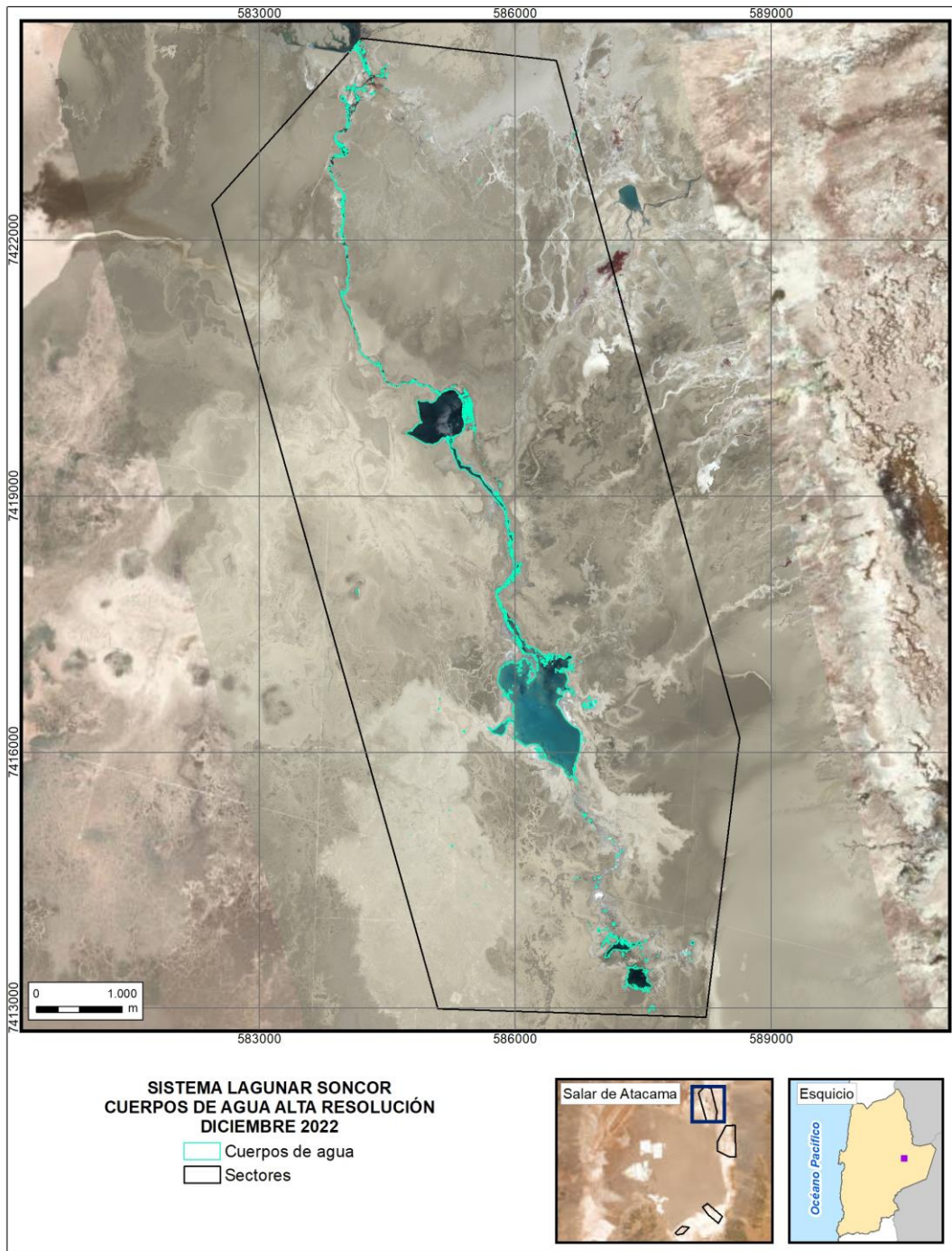
Fuente: Elaboración propia

1.55 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2021



Fuente: Elaboración propia

1.56 Sector Soncor – Imágenes Pleiades 1A - Diciembre 2022



Fuente: Elaboración propia