

Cálculo de superficies lacustres

Enero de 2026

Plan de Seguimiento Ambiental, Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama

Región de Antofagasta



Enero 2026

INDICE

Contenido

INDICE	2
1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	4
3. OBJETIVOS	5
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
4.1. ÁREA DE ESTUDIO	5
4.2. MATERIALES, SOFTWARE Y EQUIPOS UTILIZADOS	6
4.3. PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR EL ESTADO Y EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES .	7
4.4. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS	8
4.5.1. Análisis de Imágenes Satelitales.....	8
4.5.2. Contornos de las Lagunas	15
4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies	16
5. PUNTOS DE CONTROL	19
6. RESULTADOS.....	20
7. DISCUSIONES	29
8. CONCLUSIONES.....	29
9. REFERENCIAS	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S). Elaboración propia.....	6
Figura 2: Imagen WorldView-Legion Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR. 7	
Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.	8
Figura 4: Ubicación de Puntos de Amarre en SONCOR y PEINE	9
Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.	11
Figura 6: (a) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen multiespectral original	11
Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	12
Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)..	13
Figura 9: Diagramas de dispersión para píxeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE.....	14
Figura 10: TSAVI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.	14
Figura 11: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.	15

Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE.	16
Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor. Elaboración Propia.	18
Figura 14: Límites de las lagunas en el sistema Peine. Elaboración Propia.	19
Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa.	21
Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros.	22
Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.	23
Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur.	24
Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.	26
Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita.	27
Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna.	28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, Enero 2026. Elaboración Propia.	4
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-Legion.	7
Tabla 3: Factores a y b para el cálculo del TSAVI.	14
Tabla 4: Umbrales utilizados con los índices NDWI, TSAVI e IHS. Elaboración Propia.	15
Tabla 5: Vértices de las líneas que definen los límites de cada laguna En el sistema Soncor.	17
Tabla 6: Vértices de las líneas que definen los límites de cada laguna en el sistema Peine.	18
Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR.	20
Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.	25

1. RESUMEN

El presente informe corresponde al monitoreo de superficies lacustres en los sistemas SONCOR y PEINE, presentes en el Borde Este del Salar de Atacama, Región de Antofagasta para el periodo de enero 2026 representado en dos imágenes satelitales capturadas los días 5 enero (Chaxa – Barros Negros y Desborde Sur) y 9 enero (Puilar) del año 2026.

Este monitoreo se desarrolla en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental establecido en la RCA 226/2006 del Proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama” y sus alcances metodológicos acogen a lo establecido en la Resolución Exenta N°224/2010 de la Comisión Regional de Medio Ambiente, Región de Antofagasta.

En acuerdo a lo establecido en la Resolución Exenta N°224/2010, la medición del tamaño de las lagunas se realiza con el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial fusionadas, con el apoyo de índices alternativos (IHS, TSAVI, NDWI), y mediciones de terreno necesarias para la definición de límites difusos que representen una complejidad en la interpretación mediante la imagen satelital.

En el cuadro resumen (Tabla 1) a continuación se presentan las superficies lacustres calculadas para los sistemas Soncor y Peine en el período de monitoreo enero 2026.

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, enero 2026. Elaboración Propia.

Sistema	Nombre del Cuerpo de Agua	Superficie del espejo de agua (m ²)
Soncor	Chaxa	279.656
	Barros Negros (Cuerpo Principal)	680.825
	Puilar	64.055
	Desborde Sur	111.660
Peine	Salada (Cuerpo Principal)	173.731
	Saladita	84.523
	Desborde Laguna Interna	43.273

2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales ayudan con la observación superficial de los elementos que cubren la superficie de cualquier terreno, en este caso, evidencia la presencia de cuerpos de agua, así como vegetación, suelo, sales, entre otros. Mediante el procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución espacial, se pueden mapear los cuerpos de agua presentes en el salar. Este trabajo enfoca ese análisis para los sistemas lagunares de SONCOR y PEINE.

SQM S.A. solicitó a SRGIS Geología y Geomática Ltd., el procesamiento de la imagen satelital de alta resolución de enero 2026 para la obtención de la variable extensión lacustre. Esto en el contexto del Programa de Cumplimiento (PdC), aprobado el 29 de agosto de 2022 según la RES. EX. N°38/ROL F-041-2016. Esta actividad nace del hecho infraccional N° 1 “Extracción de salmuera por sobre lo autorizado, según se expone en el considerando N°27, durante el periodo entre agosto de 2013 y agosto del 2015” y, por tanto, da cumplimiento

5 a la Acción N° 19: Robustecer el monitoreo de la superficie lagunar mediante imágenes satelitales de alta resolución con una frecuencia trimestral.

El mapeo de las superficies lacustres también se realiza como parte de las actividades comprometidas en el Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) del EIA “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, aprobado ambientalmente por la resolución exenta N°226/2006 de la COREMA, Región de Antofagasta. Conforme a lo indicado, a partir del análisis de imágenes satelitales de alta resolución se establece la superficie lacustre de los sistemas SONCOR (lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros) y el sistema PEINE (lagunas Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna), Considerando 10.2.2 y 10.2.4 de la RCA N°226/2006.

Posteriormente, mediante la Resolución Exenta N°244/2010 de la COREMA, Región de Antofagasta, se redefine la metodología para la medición de superficies lacustres, incorporando mejoras en el procesamiento de la imagen satelital como el uso de diversos índices espectrales para la delimitación de contornos y puntos de terreno para el control y corrección de límites, la cual fue implementada a partir de la temporada 2010. Asimismo, la medición considera los límites definidos por la CONAF para cada uno de los sistemas.

3. OBJETIVOS

El objetivo de este informe es presentar los resultados obtenidos en el mapeo de las superficies de los cuerpos lacustres para el mes de enero 2026. El mapeo se realiza mediante el procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución espacial para determinar la superficie de las lagunas de los sistemas SONCOR y PEINE.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la II Región de Antofagasta, Chile, en el sector Este del Salar de Atacama donde se encuentran los sistemas SONCOR y PEINE identificado en la RCA 226/2006 (Figura 1).

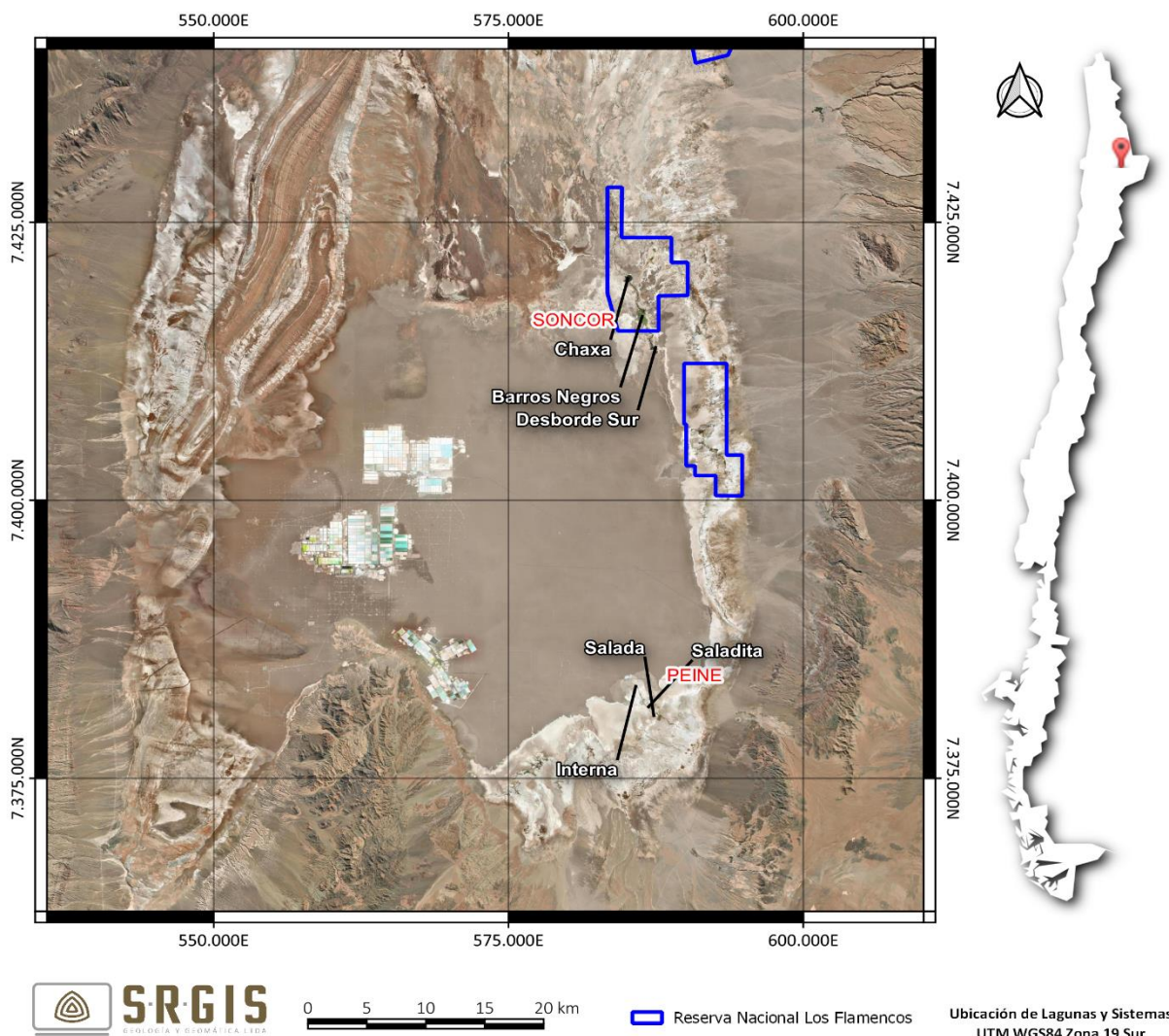


Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S). Elaboración propia.

El sistema SONCOR forma parte de la Reserva Nacional Los Flamencos y está compuesta por las lagunas Barros Negros, Chaxa y Puilar, además del Canal Burro Muerto. La laguna de mayor tamaño de este sistema es Barros Negros, que se extiende hacia el sur como una zona de inundación de gran extensión denominada “Desborde Sur”, considerada también para su mapeo. Barros Negros se conecta hacia el norte con la laguna Chaxa por medio del canal Burro Muerto. La Laguna Puilar se ubica al noreste de la de las lagunas mencionadas anteriormente.

El sistema PEINE está formado por dos lagunas distribuidas de sureste a noroeste y conectadas entre sí por un canal, denominadas Salada y Saladita, esta última tiene un desborde hacia el noroeste llamado Desborde Laguna Interna.

4.2. MATERIALES, SOFTWARE Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial que posee píxeles que cubren un área de 4 m² por píxel (2 x 2 m) para las bandas multispectrales y que además posee una banda pancromática que cubre un área de 0,25 m² por píxel (0,5 x 0,5 m). Las imágenes corresponden al sensor WorldView-Legion (Chaxa – Barros Negros y Desborde Sur) y fue capturada el día 5 de enero de 2026 y al sensor WorldView-2 (Puilar) capturada el 9 de enero de 2026. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-Legion y WorldView-2.

Rango Espectral	Banda	Resolución Espacial
Visible	Azul	2 m
Visible	Verde	2 m
Visible	Rojo	2 m
Infrarrojo Cercano	Infrarrojo Cercano	2 m
Visible + Infrarrojo Cercano	Pancromática	0,5 m

La Figura 2 muestra las combinaciones RGB Color Real e Infrarrojo Color de la imagen WorldView-2 en el sistema SONCOR.

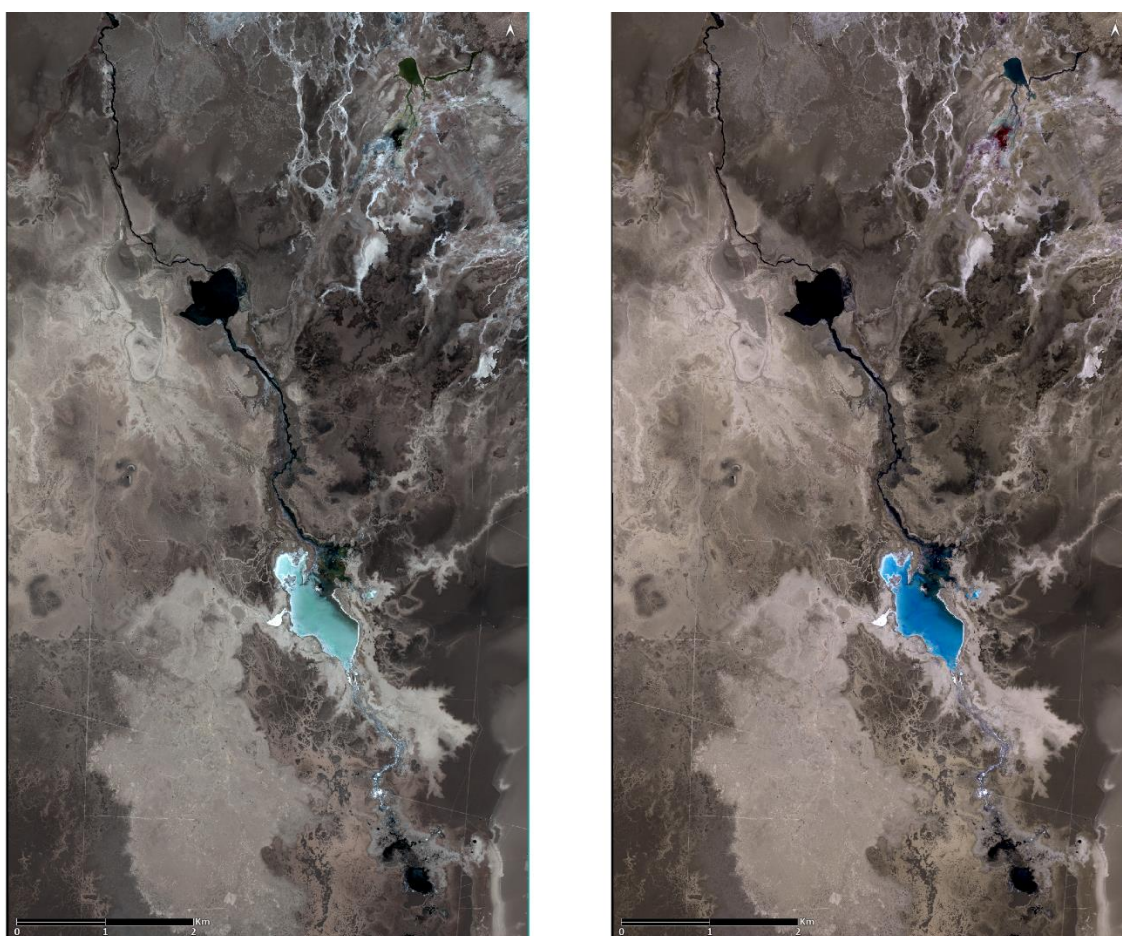


Figura 2: Imagen WorldView-2 Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 6.2 (NV5 Geospatial), software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. La confección de mapas se realizó en el software QGIS 3.44.

4.3. PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR EL ESTADO Y EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES

El parámetro considerado para caracterizar el estado y evolución de las lagunas es la medición de superficie. De acuerdo a lo señalado en la RCA N°226/2006, la superficie debe ser determinada sobre la base de imágenes satelitales y según complementa la resolución N°244/2010, la delimitación de los bordes de cada laguna se apoyará en la información generada en terrenos sobre la base de puntos de control.

4.4. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS

La medición de las superficies lacustres se realizó según la metodología establecida en la Resolución exenta N°244/2010, a partir de imágenes de alta resolución espacial, aplicándose índices y transformaciones espectrales.

La Figura 3 resume la metodología del procesamiento de las imágenes satelitales. La fusión pancromática implica el remuestreo de la imagen multispectral de 2 metros de resolución por píxel a 0,5 metros de resolución utilizando la banda Pancromática. En los siguientes apartados se detallará cada paso de la metodología utilizada. Debido a que se crean cuerpos de agua provenientes de diferentes índices (clasificación de umbrales) antes de vectorizarlos se realiza una fusión de clases para que unificar el nombre de la clase “agua”.

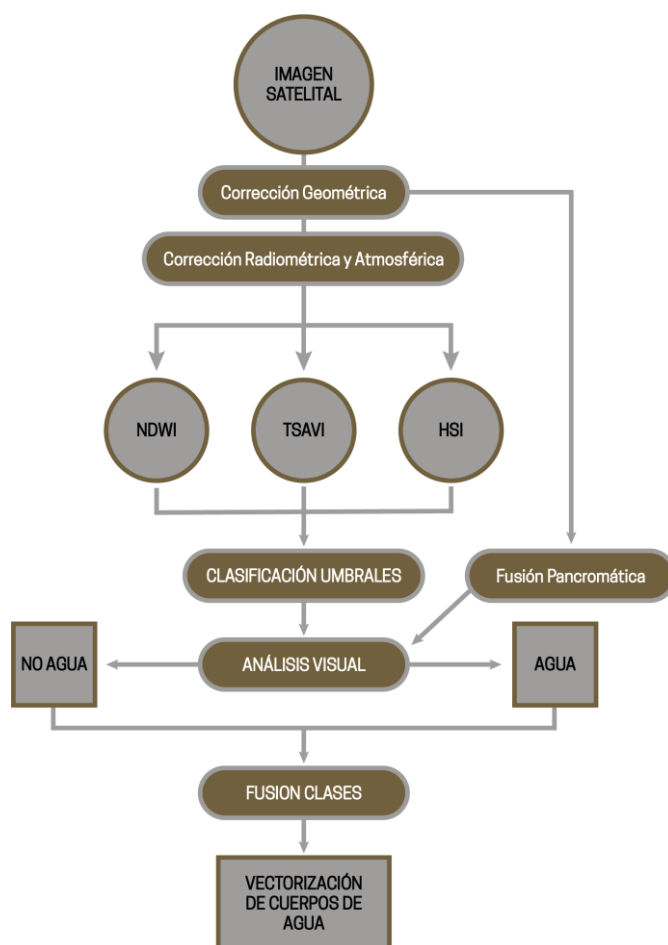


Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.

4.5.1. Análisis de Imágenes Satelitales

Se realizó la solicitud de captura de una imagen satelital de alta resolución para el mes de enero 2026 por la constelación de satélites de la compañía VANTOR, obteniéndose una imagen WorldView-Legion del día 5 de enero de 2026. Las características de esta imagen se encuentran en la Tabla 2. La imagen satelital se procesó bajo el sistema de coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur. Mediante el uso del software especializado (ENVI 6.2) se calcularon de índices espectrales NDWI y TSAVI además de la transformación IHS (Intensity Hue Saturation / Intensidad Tono Saturación).

4.5.1.1 Corrección Geométrica

La corrección geométrica corresponde a la ortorectificación de la imagen satelital, lo cual corrige las deformaciones por sensor y por topografía, para llevar a cabo este proceso se utilizan parámetros de la imagen que vienen incluidos en su metadata y un modelo digital de elevación (para este preprocesamiento se empleó el DEM Alos-Palsar). Posterior a la ortorectificación se realiza un ajuste, si es necesario, con un punto de amarre para mover la imagen a su posición correcta, este punto corresponde a un dato tomado en terreno que es fácilmente identificable en la imagen, para este ajuste se seleccionan intersección de caminos (Figura 4). Los puntos utilizados son 584818-E; 7384134-N para SONCOR y 587978-E, 7414080-N para PEINE, ambas coordenadas están en UTM WGS84 Zona 19 Sur.

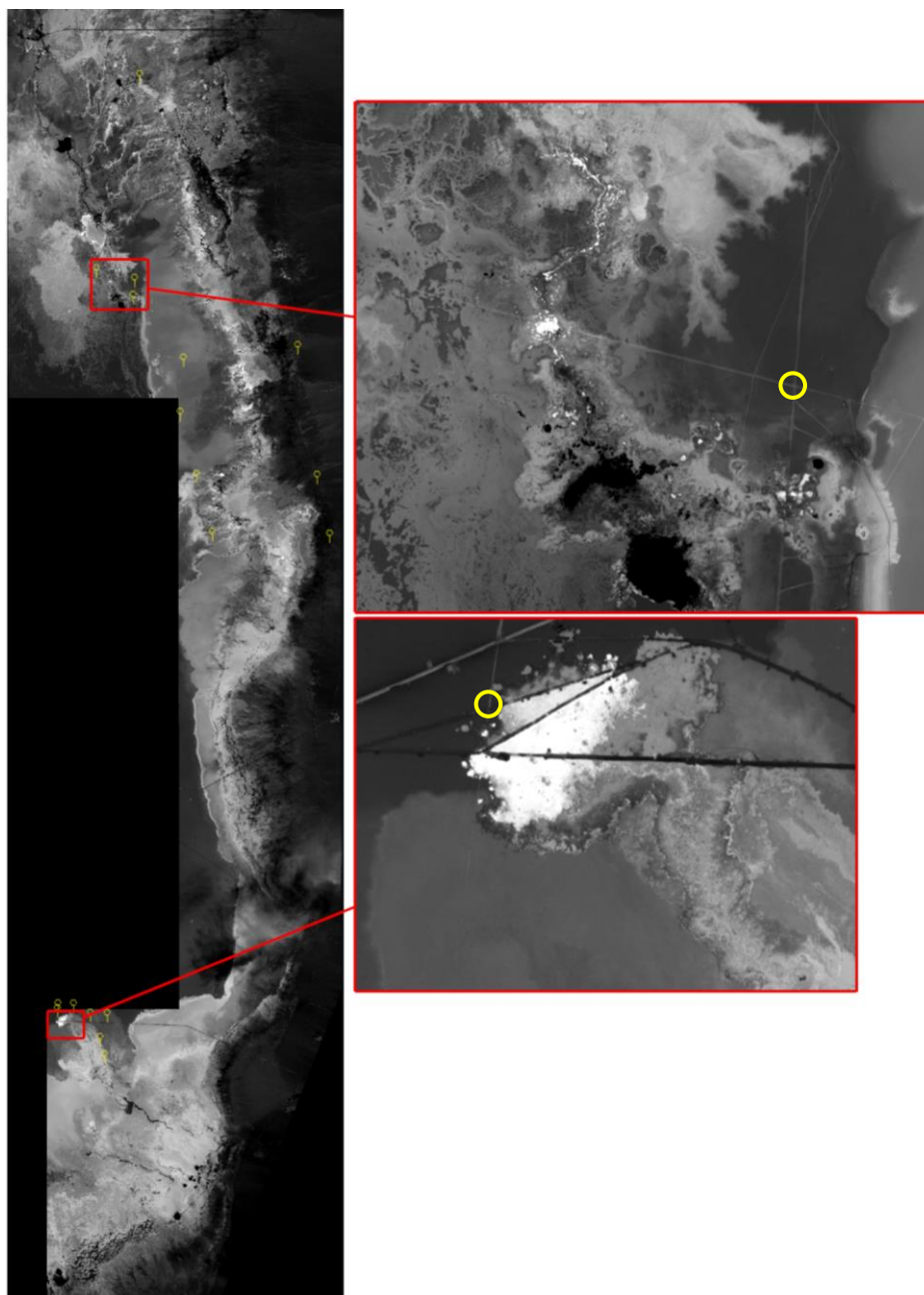


Figura 4: Ubicación de Puntos de Amarre en SONCOR y PEINE

4.5.1.2 Corrección Radiométrica y Atmosférica

Los índices espectrales son concebidos considerando la forma de la curva espectral obtenida en laboratorio mediante un espectro radiómetro que mide la reflectancia de dicho material en distintas longitudes de onda, es por esto, que la imagen satelital debe corregirse para convertir los datos originales a un formato de reflectancia a la superficie de la tierra.

a. Radiancia

Las imágenes satelitales vienen en un formato numérico denominado niveles “DN” (Digital Number). El valor del píxel en este formato contiene información del material en la superficie de la tierra (agua, vegetación, suelo u otro), la influencia de la atmósfera y de las compensaciones predefinidas por el sensor. Este dato debe transformarse a unidades de energía reflejada (radiancia) mediante una corrección radiométrica.

La corrección radiométrica elimina los parámetros preestablecidos de ganancia y pérdida del sensor, por lo tanto, se generan datos comparables entre distintos sensores. Tras esta corrección las imágenes se convierten de DN a Radianza (o Radiancia) que es el flujo radiante que se refleja desde el suelo hacia el sensor, se mide en $W/(m^2 sr^1 \mu m)$ y es la magnitud que detecta el sensor.

La radiancia espectral se calcula a partir de los parámetros específicos entregados por el proveedor y que se encuentran en los metadatos de los archivos de la imagen satelital. Krauss (2003) definió la siguiente ecuación para aplicar estas correcciones:

$$L_{\lambda}(x, y) = \frac{K_{\lambda} \cdot ND_{\lambda}(x, y)}{\Delta_{\lambda}}$$

Donde:

$L_{\lambda}(x, y)$: es la radiancia espectral recibida por el sensor ($W/(m^2 sr \mu m)$)

K_{λ} : son los niveles digitales de pixeles de la imagen satelital.

$ND_{\lambda}(x, y)$: es el factor absoluto de calibración radiométrica ($W/m^2 sr$)

Δ_{λ} : es el ancho de banda efectivo (μm)

b. Reflectancia

Adicionalmente, debido a que los datos radiométricos contienen información de la superficie terrestre como de la atmósfera, se requiere aplicar una corrección que minimice estos efectos de la energía reflejada e incidente en los valores de cada píxel para obtener una imagen de reflectancia superficial, este proceso se denomina corrección atmosférica.

La corrección atmosférica elimina los efectos de la atmósfera en los datos, en este formato los datos (curvas espectrales de los pixeles) son comparables con curvas espectrales de laboratorio. Tras esta corrección las imágenes se convierten de Radiancia a Reflectancia (o Reflectancia Relativa).

La Figura 5 resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.

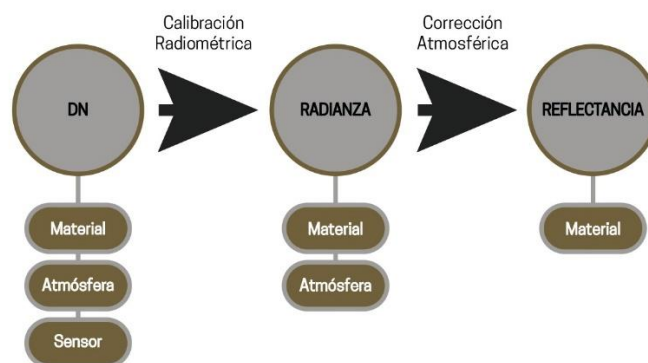


Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.

4.5.1.3 Fusión de la Imagen

Para mejorar la resolución espacial de la imagen multispectral obtenida desde el satélite y con el fin de obtener un mayor detalle de información se realiza un proceso denominado “Spectral PanSharpening” que mejora la resolución espacial de una imagen multispectral utilizando la banda pancromática. Este producto se utiliza como apoyo para el análisis visual (Figura 6). Para este proceso se utiliza la herramienta “NNDiffuse Pan Sharpening” disponible en ENVI 6.2 (Sun et al., 2014).

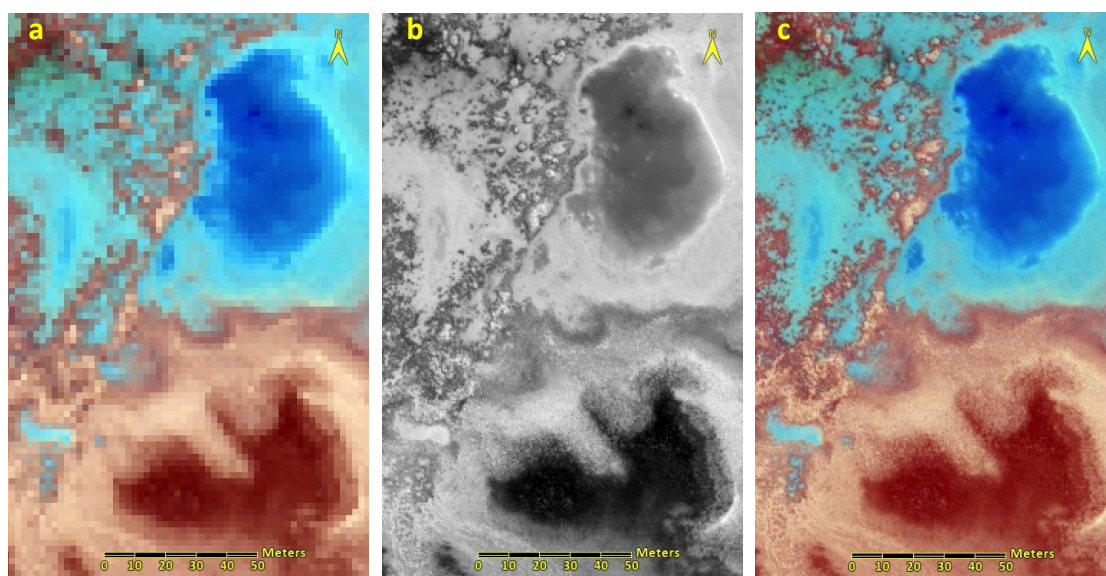


Figura 6: (a) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen multispectral original (resolución de 2 metros), (b) Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y (c) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multispectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.

4.5.1.4 Índices Espectrales

Para el mapeo y delimitación de las superficies lacustres se utilizaron los siguientes índices espectrales: Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (TSAVI) y la transformación IHS, los que se detallan a continuación.

a. Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

El NDWI (Normalized Difference Water Index) (McFeeters, 1996) maximiza la respuesta de las características espectrales del agua al usar la longitud de onda correspondiente al verde (550 nm, valores de reflectancia altos para el agua) y la baja reflectancia del agua en el NIR (850 nm, infrarrojo cercano). El algoritmo del NDWI es el siguiente:

$$NDWI = \frac{(VERDE - NIR)}{(VERDE + NIR)}$$

Donde:

VERDE : Reflectancia de la imagen en el rango espectral verde

NIR : Reflectancia de la imagen en el rango espectral infrarrojo cercano

Este índice normalizado entrega valores acotados para los píxeles entre -1 y 1 (Figura 7). Como la reflectancia del agua en la banda verde debe ser mayor a la de la banda NIR, los valores mayores a cero podrían ser considerados a la hora de clasificar el agua con este índice, sin embargo, debido a la mezcla de reflectancia del agua con el suelo en cuerpos más someros, podrían considerarse valores menores a cero (pero cercanos a cero) como coberturas de agua, en otras palabras, el agua al tener una reflectancia del verde mayor a la del infrarrojo cercano, el índice debería entregar valores positivos para el agua (por el algoritmo VERDE-NIR), pero las sales y el suelo tienen el infrarrojo cercano mayor al verde, entonces al mezclarlos espectralmente podemos considerar valores negativos para agua en zonas someras.

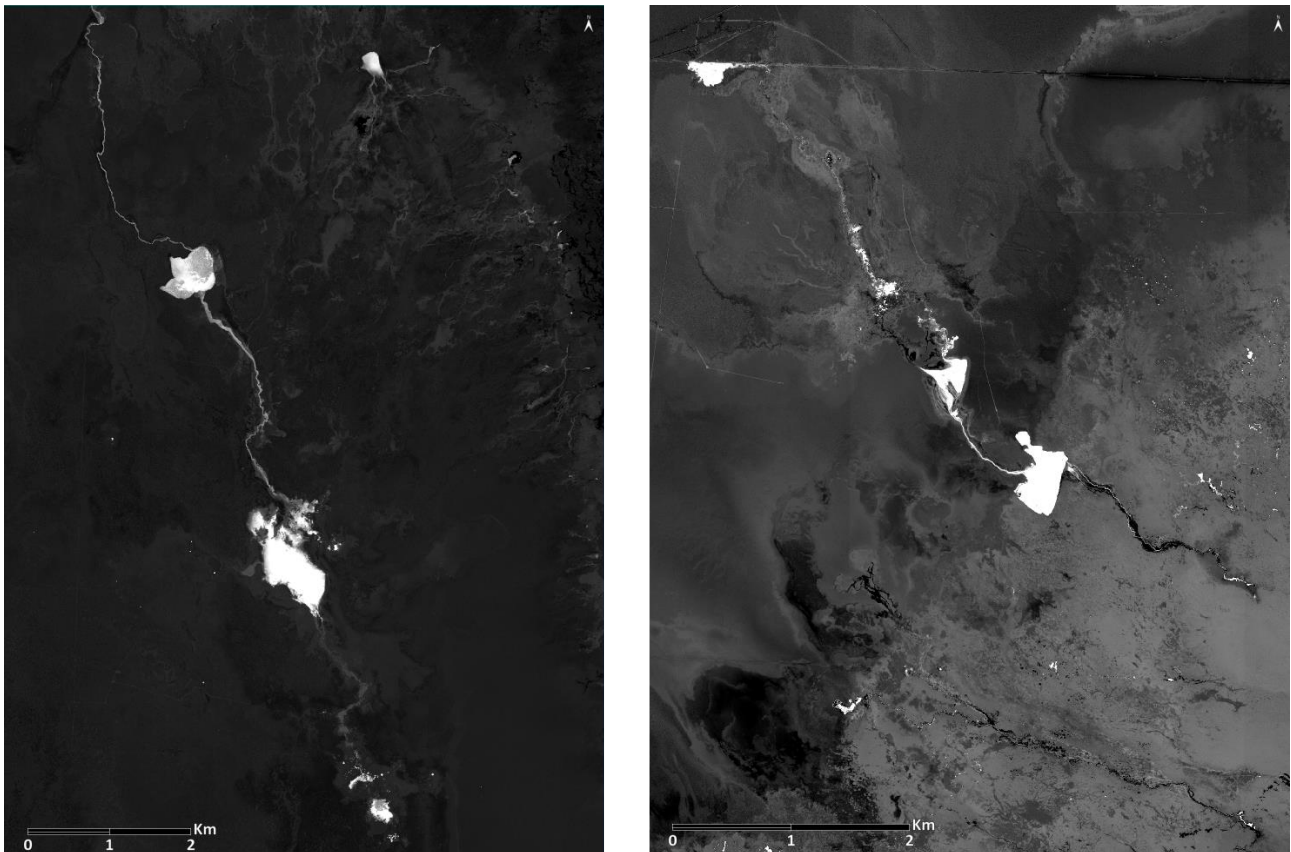


Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

b. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo Transformado (TSAVI)

El TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) (Baret, 1989) pertenece a una familia de índices que modifican en Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) cuyo objetivo es minimizar al máximo los efectos del suelo sobre la vegetación utilizando valores relacionados a la línea del suelo en los píxeles de la imagen (Gilabert et al., 1997). El índice TSAVI se define por la siguiente ecuación:

$$TSAVI = \frac{a \cdot (NIR - a \cdot ROJO - b)}{ROJO + a \cdot NIR - ab + 0,08 \cdot (1 + a^2)}$$

Donde:

ROJO : es la reflectancia en el rango espectral del rojo

NIR : es la reflectancia en el rango espectral del infrarrojo cercano

a : es la pendiente de la línea del suelo

b : es la intersección de la línea del suelo con el eje Y

La Figura 8 muestra un ejemplo de un gráfico de dispersión de los píxeles al graficar en el eje X la banda ROJA y en el eje Y la banda NIR, la línea del suelo corresponde a la tendencia de los píxeles que corresponden a suelo (valores similares en X e Y). Conociendo la ecuación de esta línea se pueden obtener los valores a y b.

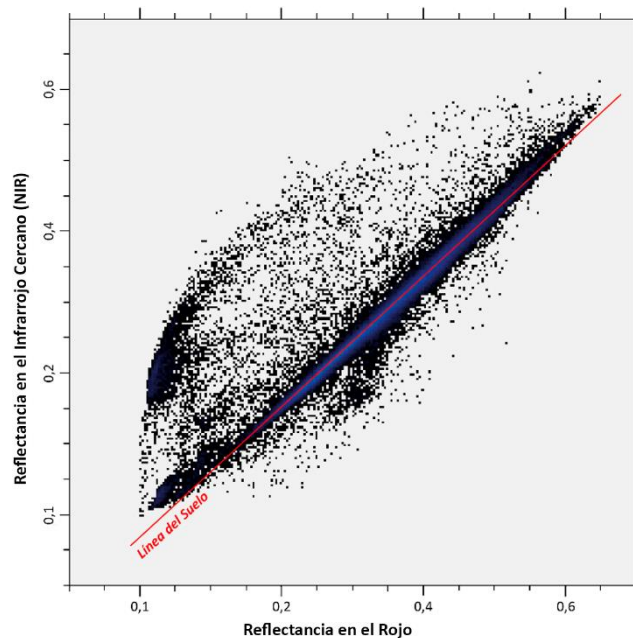


*Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y).
Elaboración Propia*

La Figura 9 muestra los diagramas de dispersión del suelo en las bandas ROJA (eje Y) y NIR (eje Y) para cada área de estudio (SONCOR y PEINE) a partir de los cuales se calcularon los valores de a y b para la generación del TSAVI.

Este índice se utiliza como complemento del método expuesto anteriormente en los sectores donde no se observa un borde definido de los cuerpos de agua, dado que para algunas configuraciones presenta un mejor contraste entre suelo y agua. Esto deriva en que no se define un valor específico para distinguir entre suelo y agua, sino que se utiliza como herramienta visual para la determinación de los bordes difusos.

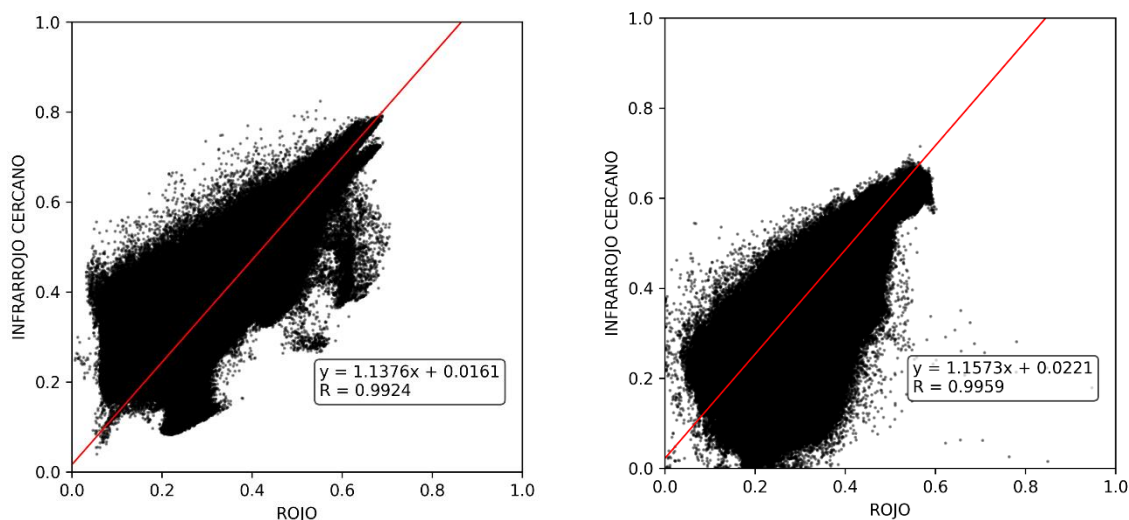


Figura 9: Diagramas de dispersión para píxeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE

Basado en la ecuación de la línea de tendencia (regresión lineal simple) de cada diagrama (Figura 9), se extraen los parámetros a y b para el cálculo del TSAVI para cada sistema (Tabla 3). La Figura 10 muestra los índices TSAVI para los dos sistemas.

Tabla 3: Factores a y b para el cálculo del TSAVI

SISTEMA	Factor a	Factor b
SONCOR 5 enero	1.1376	0.0161
SONCOR 9 enero	1.1305	0.0727
PEINE	1.1573	0.0221

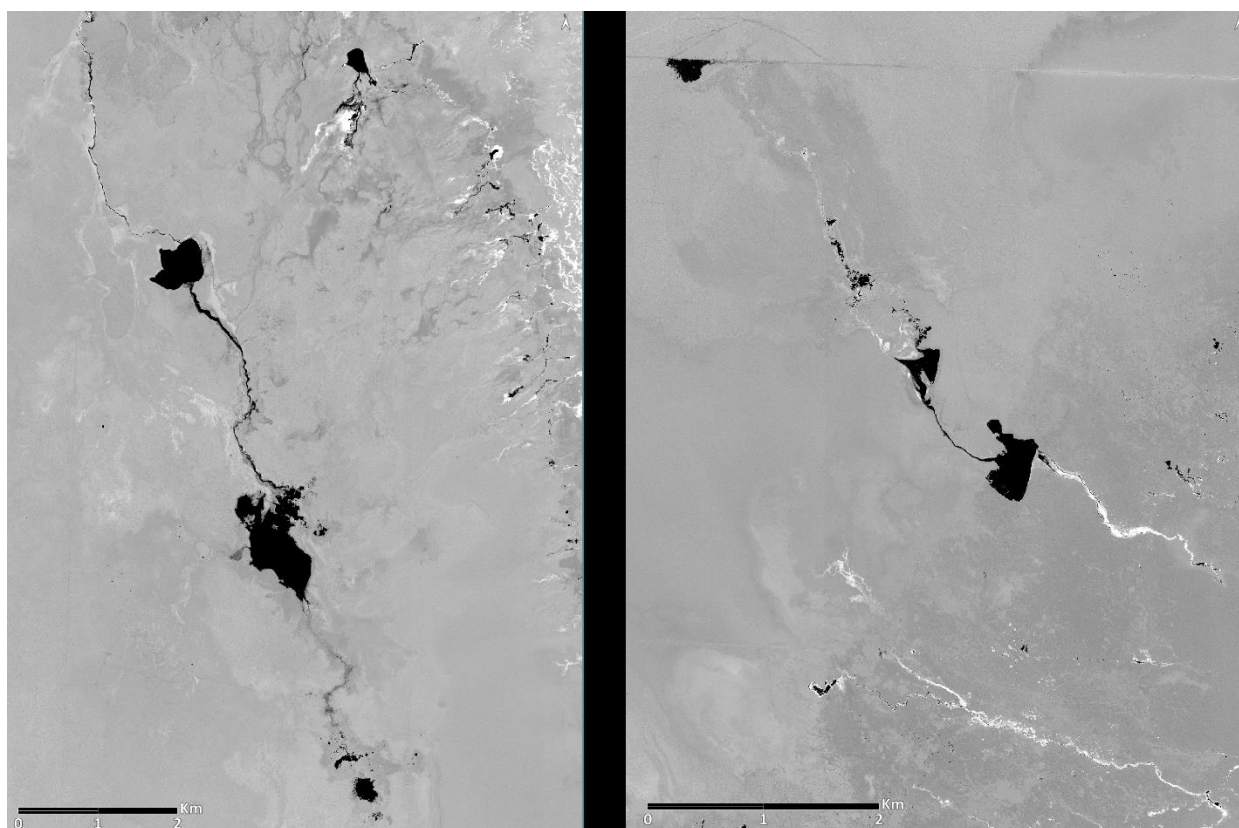


Figura 10: TSAVI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

c. Transformación IHS

Este proceso transforma los valores de una composición de bandas RGB en una forma alternativa de representar el color, basado en sus propiedades de intensidad, tono y saturación (IHS por sus siglas en inglés: Intensity, Hue & Saturation). Su utilidad para la identificación se basa en su potencialidad para la discriminación de algunos rasgos de carácter cromático (Chuvieco, 2008). Al igual que el TSAVI, esta transformación se utiliza para complementar el mapeo con el índice NDWI en sectores donde el borde es difícil de determinar y donde esta transformación presenta una mayor diferencia entre suelo y agua. La Figura 11 muestra la transformación HSI de los sistemas SONCOR y PEINE.

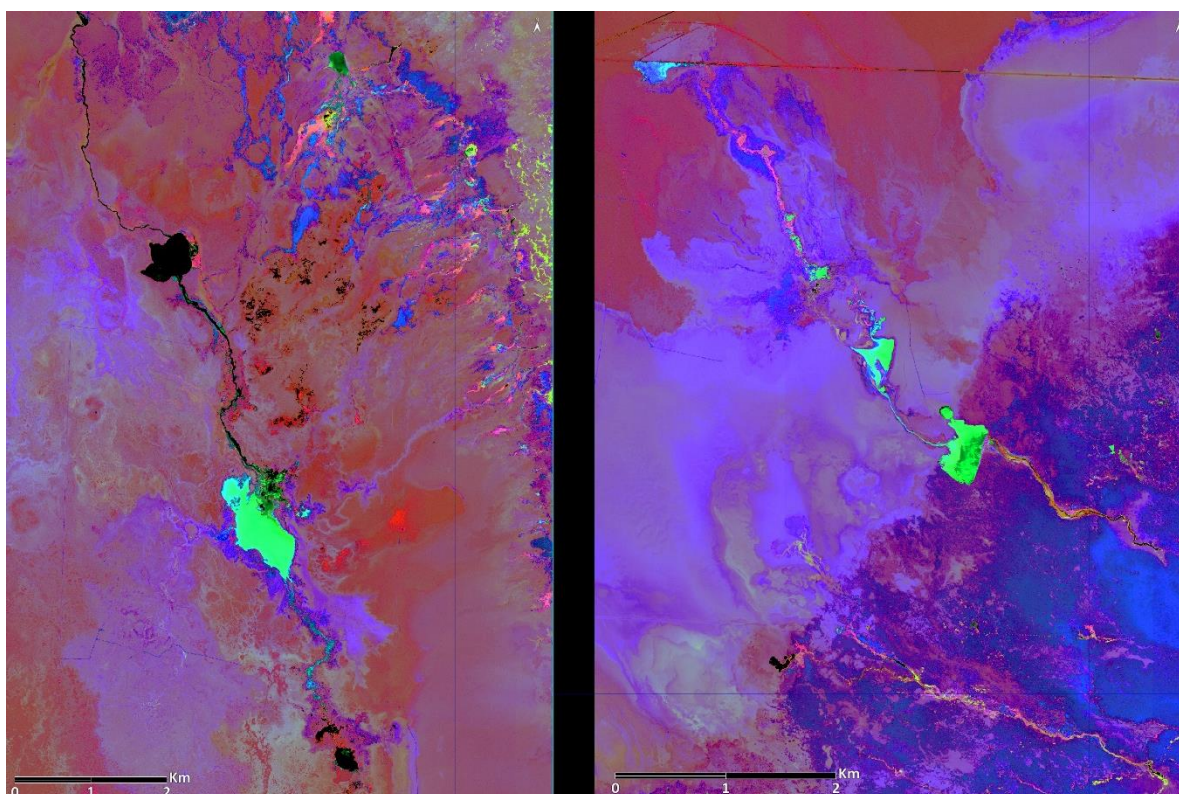


Figura 11: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

4.5.2. Contornos de las Lagunas

El mapeo de los cuerpos de agua se realizó mediante una reclasificación de los valores calculados para el índice NDWI, esta consiste en seleccionar un umbral dentro del histograma del índice que corresponda a superficies lacustres identificadas visualmente en la imagen satelital. El resultado de este mapeo obtiene un producto en formato ráster con una resolución de 2 x 2 metros. Posteriormente mediante inspección visual y con ayuda del índice TSAVI y la transformación IHS (Intensidad, Tono y Saturación) se ajusta la clasificación en los sectores con bordes poco definidos. De esta manera el índice TSAVI y las transformaciones IHS se utilizaron sólo donde el índice NDWI no fue suficiente para el mapeo de cuerpos de agua.

La Tabla 4 resume los umbrales utilizados para cada sistema de lagunas. La descripción N/A implica que no se utilizó el índice para el mapeo de las lagunas.

Tabla 4: Umbrales utilizados con los índices NDWI, TSAVI e IHS. Elaboración Propia.

SISTEMA	NDWI	TSAVI	SATURACIÓN	INTENSIDAD
SONCOR 5 enero	≥ -0.250	≤ -0.040	N/A	N/A
SONCOR 9 enero	≥ -0.200	≤ -0.025	N/A	N/A
PEINE	≥ -0.200	≤ 0.000	N/A	N/A

El análisis y procesamiento se genera para un área extensa de cada sistema, no obstante, el área para cada laguna entregada en el presente informe sólo considera los límites establecidos por CONAF. La Figura 12 muestra el corte realizado a la imagen satelital para el cálculo de los índices espectrales para SONCOR y PEINE.

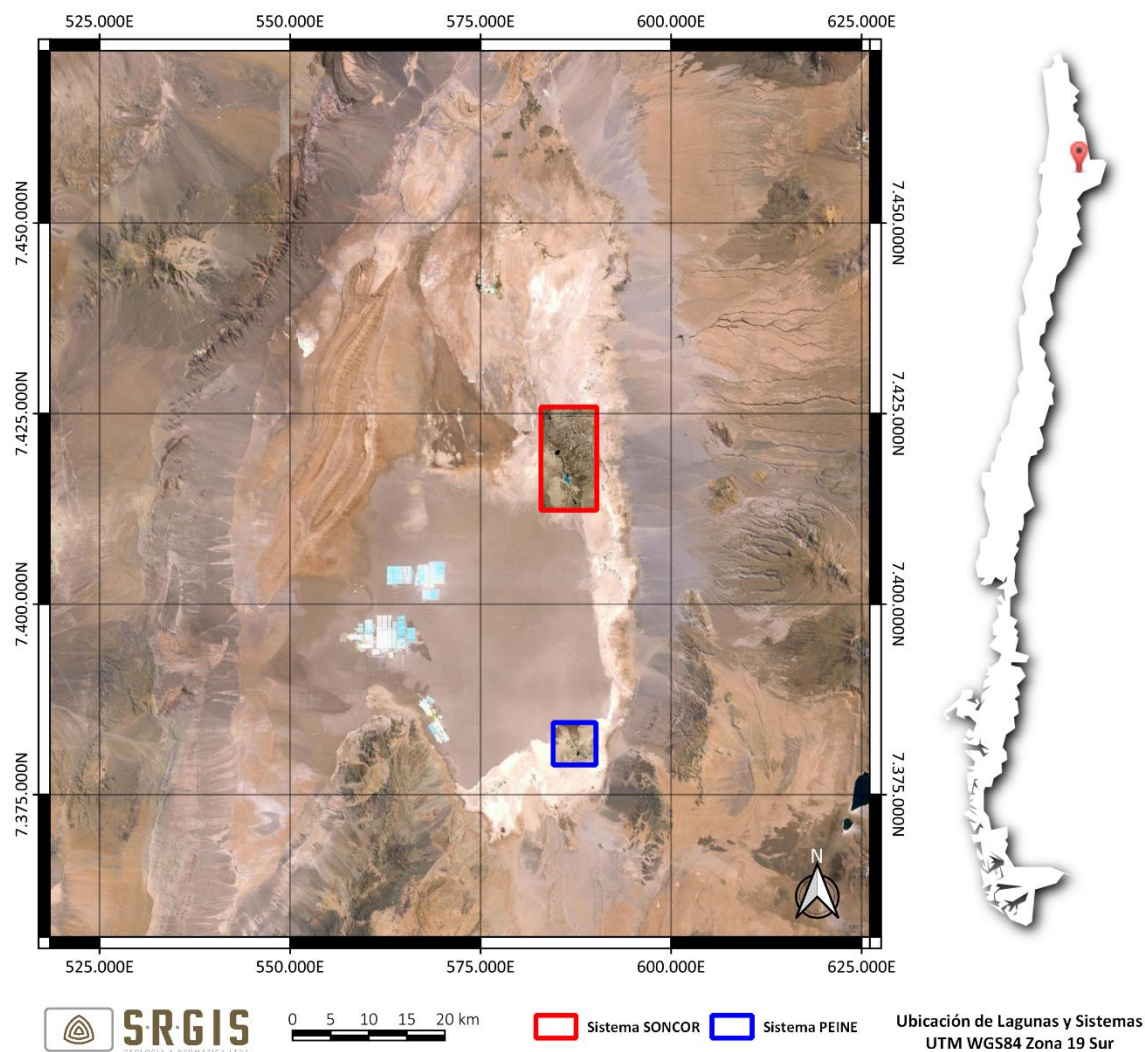


Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE. Elaboración Propia.

4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies

Para efectos de la medición de las superficies, la delimitación consideró la definición de límites de cada laguna según criterios de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), expuestos en los informes de monitoreo efectuados dentro del marco del convenio SQM-CONAF “Hábitat y Poblaciones de Avifauna del Salar de Atacama” y por límites presentados en informes previos (informe año 2009 y año 2010) que han sido aprobados mediante una mesa de trabajo compuesta por el titular y por distintas autoridades tales como CONAMA, CONAF, DGA y SAG y que se han mantenido hasta la fecha. Estos límites o zonas son empleados para diferenciar el cuerpo de la laguna, de los canales de entrada y salida por donde fluye el agua, con la finalidad de tener una superficie definida y comparable entre distintos años.

La Tabla 5 y la Tabla 6 muestran las coordenadas Este y Norte (WGS84 19 Sur) de los vértices de las líneas que limitan cada laguna, así como la entidad que definió dichos límites. La Figura 13 y la Figura 14 muestran los límites sobre la imagen.

Tabla 5: Vértices de las líneas que definen los límites de cada laguna En el sistema Soncor

Sistema	Laguna	Vértice	Este	Norte	Definición
SONCOR	Chaxa	V 1.1	585.074	7.420.189	CONAF
		V 1.2	585.116	7.420.185	CONAF
		V 1.3	585.220	7.420.296	CONAF
		V 2.1	585.203	7.419.607	CONAF
		V 2.2	585.302	7.419.607	CONAF
	Barros Negros	V 1.1	585.821	7.417.181	CONAF
		V 1.2	586.146	7.417.405	CONAF
		V 2.1	586.497	7.415.766	CONAF
		V 2.2	586.740	7.415.795	CONAF
		V 3.1	586.784	7.416.689	Mesa de Trabajo 2010
		V 3.2	586.750	7.416.465	Mesa de Trabajo 2010
		V 4.1	585.751	7.416.340	Mesa de Trabajo 2010
		V 4.2	585.663	7.416.166	Mesa de Trabajo 2010
		V 5.1	586.438	7.415.838	Mesa de Trabajo 2010
		V 5.2	586.535	7.415.801	Mesa de Trabajo 2010
	Puilar	V 1.1	587.523	7.422.529	CONAF
		V 1.2	587.523	7.422.331	CONAF
		V 2.1	587.411	7.422.279	Mesa de Trabajo 2010
		V 2.2	587.534	7.422.278	Mesa de Trabajo 2010
		V 3.1	587.331	7.422.342	Mesa de Trabajo 2010
		V 3.2	587.369	7.422.340	Mesa de Trabajo 2010

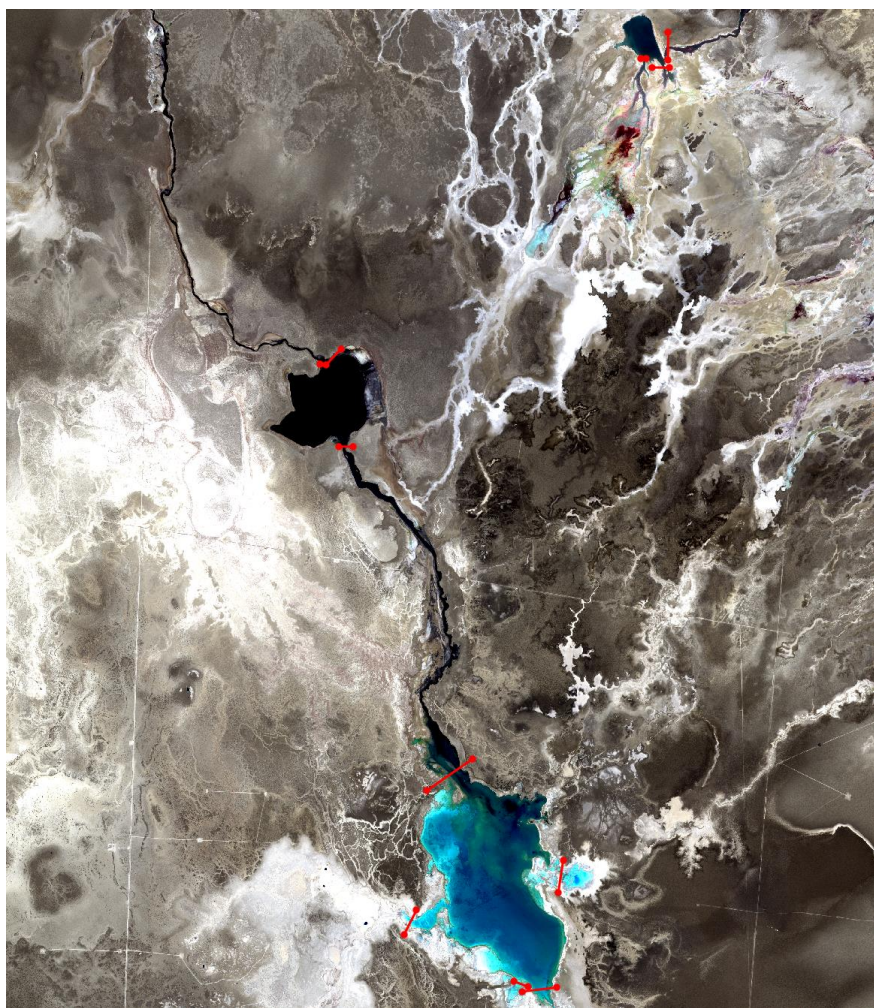


Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor. Elaboración Propia.

Tabla 6: Vértices de las líneas que definen los límites de cada laguna en el sistema Peine

Sistema	Laguna	Vértice	Este	Norte	Definición
PEINE	Salada	V 1.1	587.155	7.380.528	CONAF
		V 1.2	587.494	7.380.642	CONAF
		V 2.1	588.291	7.380.247	CONAF
		V 2.2	588.428	7.380.416	CONAF
		V 3.1	587.959	7.380.591	Mesa de Trabajo 2010
		V 3.2	587.970	7.380.610	Mesa de Trabajo 2010
		V 4.1	587.576	7.380.512	Mesa de Trabajo 2010
		V 4.2	587.576	7.380.551	Mesa de Trabajo 2010
	Laguna	Vértice	Este	Norte	Definición
PEINE	Saladita	V 1.1	586.795	7.381.626	CONAF
		V 1.2	587.096	7.381.620	CONAF
		V 2.1	586.610	7.381.448	CONAF
		V 2.2	586.720	7.381.473	CONAF
		V 3.1	587.015	7.380.917	CONAF
		V 3.2	587.167	7.380.918	CONAF
	Interna	V 1.1	586.791	7.381.997	Mesa de Trabajo 2010
		V 1.2	586.785	7.381.938	Mesa de Trabajo 2010

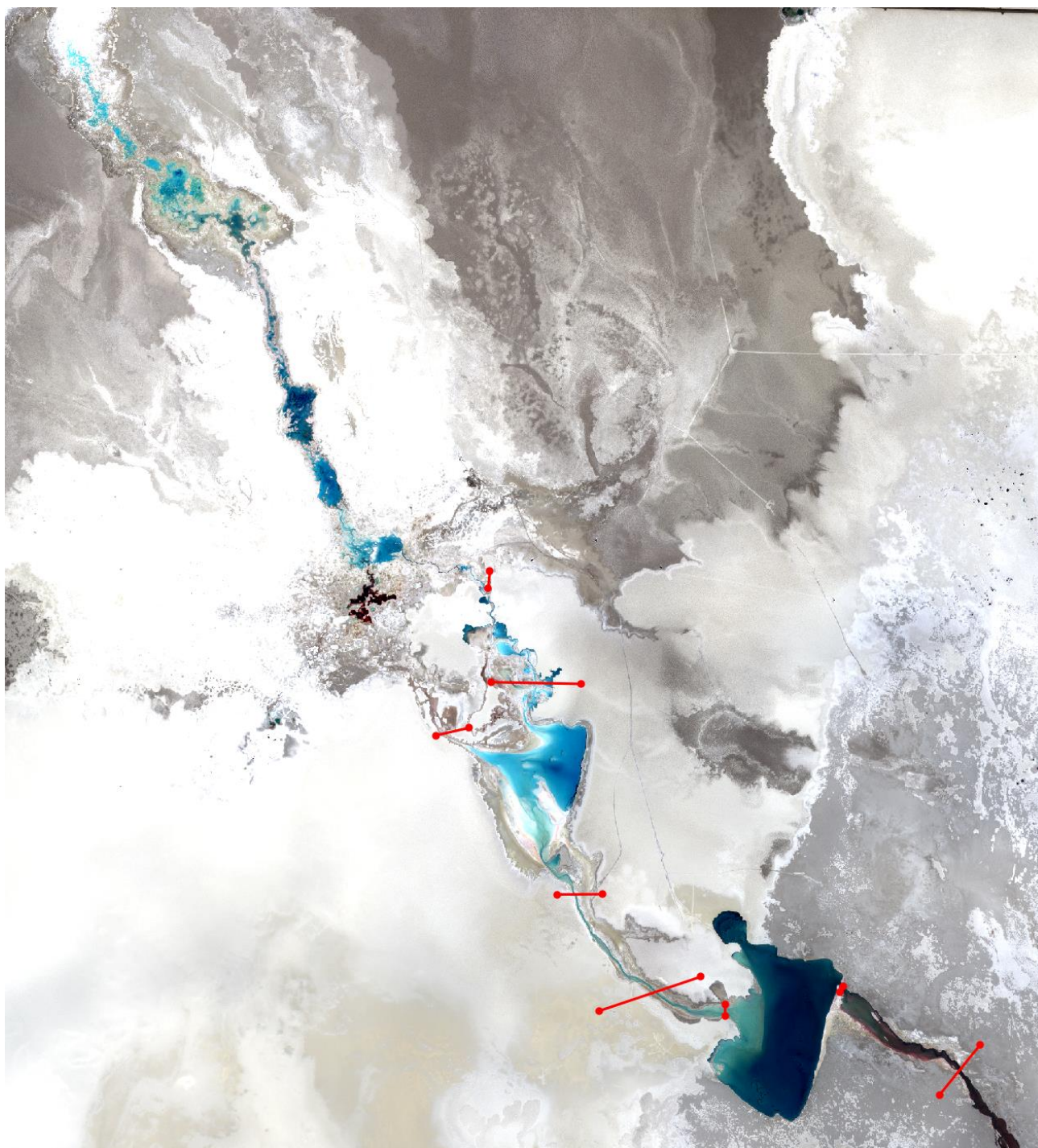


Figura 14: Límites de las lagunas en el sistema Peine. Elaboración Propia.

5. PUNTOS DE CONTROL

El seguimiento de la variable cobertura lagunar que tiene comprometido SQM se basa en varias técnicas en base a la RCA 226/2006 y complementado posteriormente según la RES. EX. Nº244/2010 de la COREMA de la Región de Antofagasta. Una de ellas corresponde al análisis abordado en el presente informe y que se basa en el cálculo de índices mediante el uso de una imagen satelital de alta resolución. Pero también se realiza, en el marco del seguimiento ambiental recogido también en la RCA 226/2006, la medición mediante estacas perimetrales con frecuencia trimestral (según lo estipulado en el convenio SQM-CONAF de 2004) y el

levantamiento topográfico del perímetro lagunar de los bordes de los cuerpos lagunares, este último se realiza cada 5 años.

La metodología de la medición con estacas perimetrales consiste en medir desde la estaca la distancia más cercana hacia el cuerpo de agua en el caso de que la estaca se encuentre fuera del agua, o de manera inversa la distancia más cercana desde la estaca al contacto agua-salar. Para este período, no hubo campaña para la medición de las estacas perimetrales, pero si se realizó una campaña de toma de puntos de control de borde lagunar por la consultora ATyGeo los días 5, 6 y 7 de enero para las lagunas en Desborde Sur.

6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del mapeo de las superficies lacustres de las lagunas de los sistemas SONCOR y PEINE para el período enero 2026.

6.1. Sistema SONCOR

A partir del año 2016 se incorporó en las mediciones de superficie el área denominada “Desborde Sur”. Aunque no corresponde estrictamente a una laguna, al día de hoy se considera en la reportabilidad lagunar.

La Tabla 7 resume los resultados del mapeo de superficies de los cuerpos de agua en el Sistema SONCOR.

Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR.

Cuerpo	Superficie (m ²)
Laguna Chaxa	279.656
Laguna Barros Negros (Cuerpo Principal)	680.825
Área de Inundación I (Barros Negros)	552
Área de Inundación II (Barros Negros)	5.751
Área de Inundación III (Barros Negros)	0
Puilar	64.055
Desborde Sur	111.660

6.1.1. Laguna Chaxa

Chaxa se encuentra constituida por un cuerpo principal cuyo contorno se encuentra bien definido en la mayor parte de la laguna salvo en el borde este (Playa de Chaxa) donde mediante los índices no es posible una delimitación precisa por lo que los puntos de control se vuelven muy importantes para mejorar la delimitación (Figura 15). Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

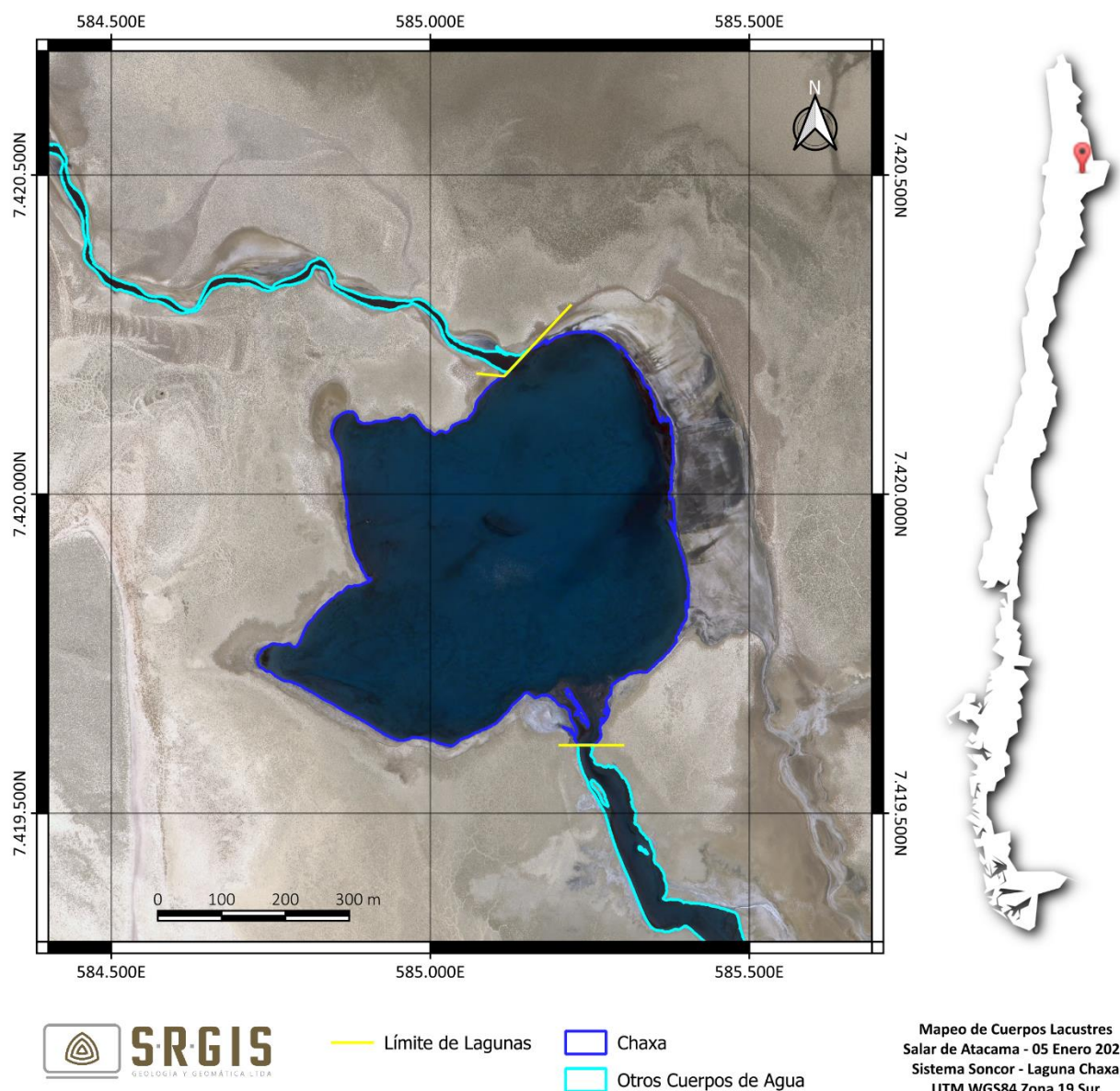


Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa. Elaboración Propia.

6.1.2. Laguna Barros Negros

La Laguna Barros Negros es el cuerpo de agua más grande del sistema SONCOR. Está constituido por un cuerpo principal y tres áreas de inundación, sin contar los cuerpos de agua en “Desborde Sur”. El perímetro del cuerpo principal está bien definido.

El área de inundación I, denominada “Cola de Pez”, se ubica al Oeste de la laguna y fue considerado a partir del límite establecido por la CONAF hacia el Oeste, este año presenta un área bastante acotada como cuerpos aislados y remanentes hacia el oeste de Barros Negros (Figura 16). Se consideraron también otras áreas de inundación que corresponden a las “Área de Inundación II”, al este de la laguna y “Área de Inundación III” al sur de la laguna. Es importante mencionar que, a la actualidad el área de Inundación I o “Cola de Pez” experimenta una migración activa hacia zona de Desborde Sur, la cual se ha manifestado en zonas del cuerpo principal, aledañas a cola de pez. Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

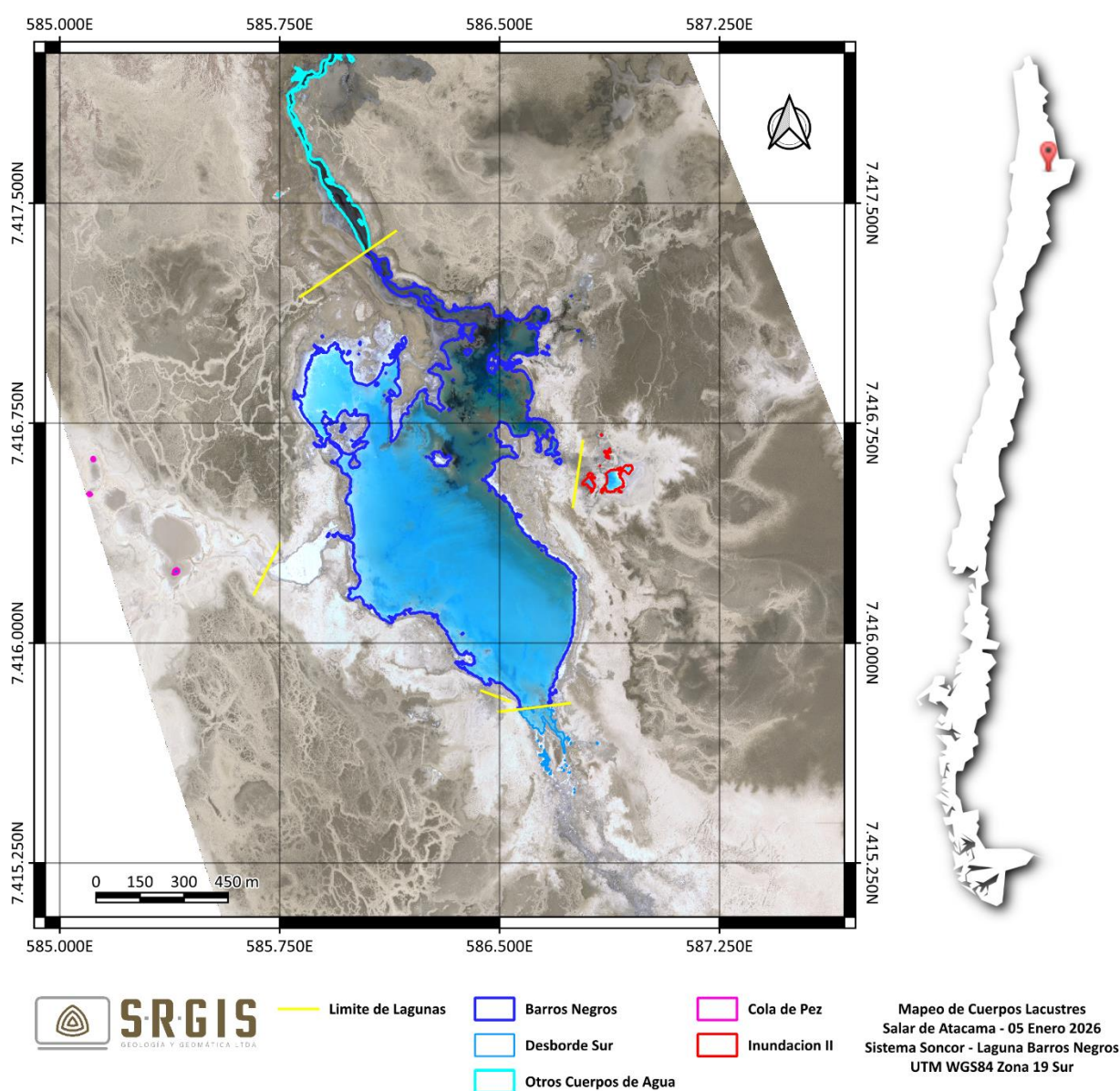


Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros. Elaboración Propia.

6.1.3. Laguna Puilar

La laguna Puilar tiene un cuerpo principal bien definido pero su delimitación mediante los índices espectrales no es muy precisa, por lo que se vuelven importantes los puntos de control obtenidos en la laguna, así como por los puntos de control de las estacas del canal que se conecta por el Este al cuerpo principal. Mediante la observación de las tonalidades en las distintas combinaciones de banda se puede delimitar de mejor manera el cuerpo principal de esta laguna (Figura 17). Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

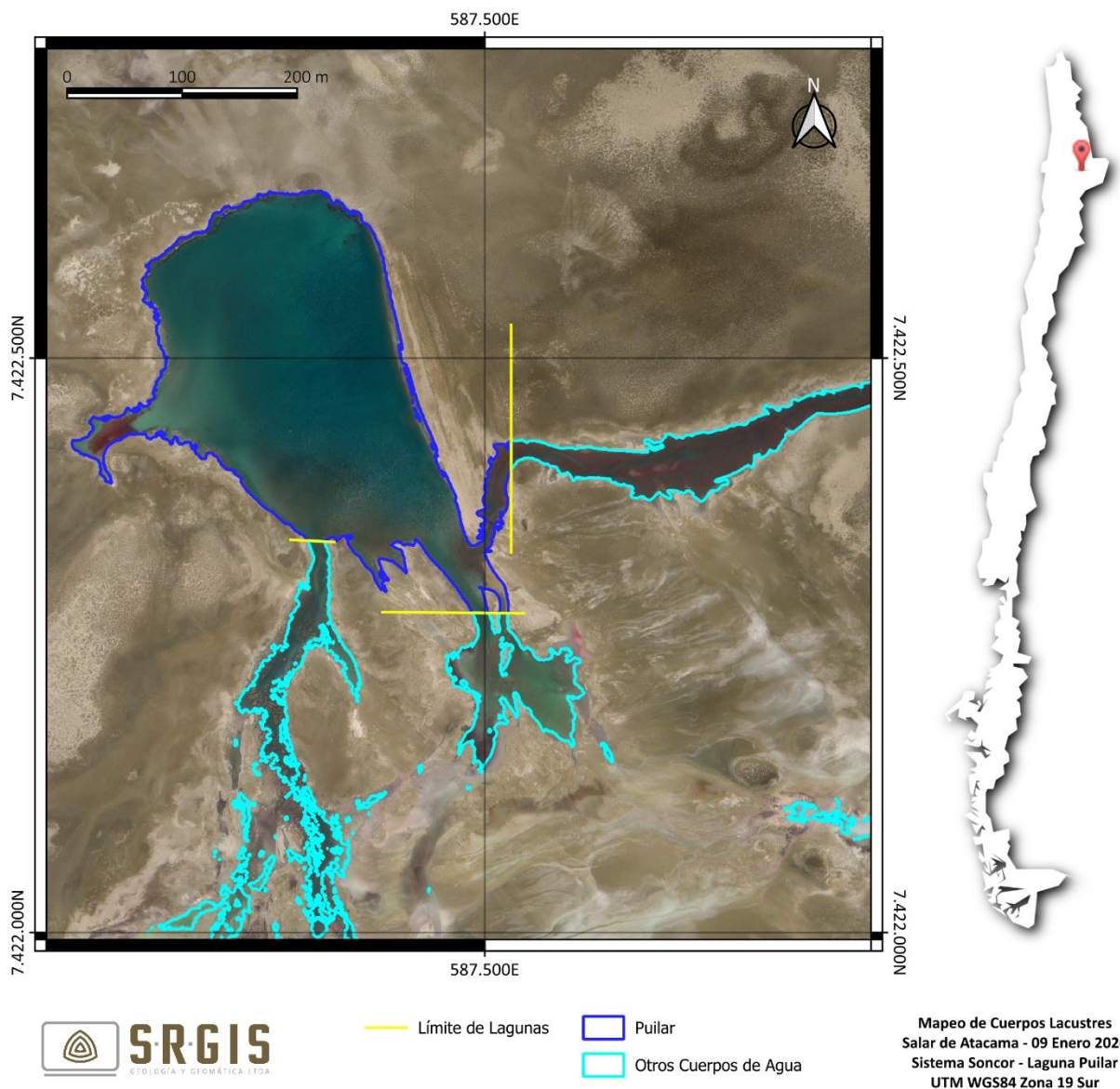


Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar. Elaboración Propia.

6.1.4. Desborde Sur

Este cuerpo de agua fue incorporado al control y monitoreo desde el año 2016, corresponde a un cuerpo que se origina como desborde de la laguna Barros Negros, aunque no corresponde a una unidad regular (permanente) como las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar. En general se observan numerosos cuerpos bien definidos pero cuyo límite es de difícil determinación (Figura 18). Para esta campaña se realizó la toma de puntos de control los días 5, 6 y 7 de enero de 2026.

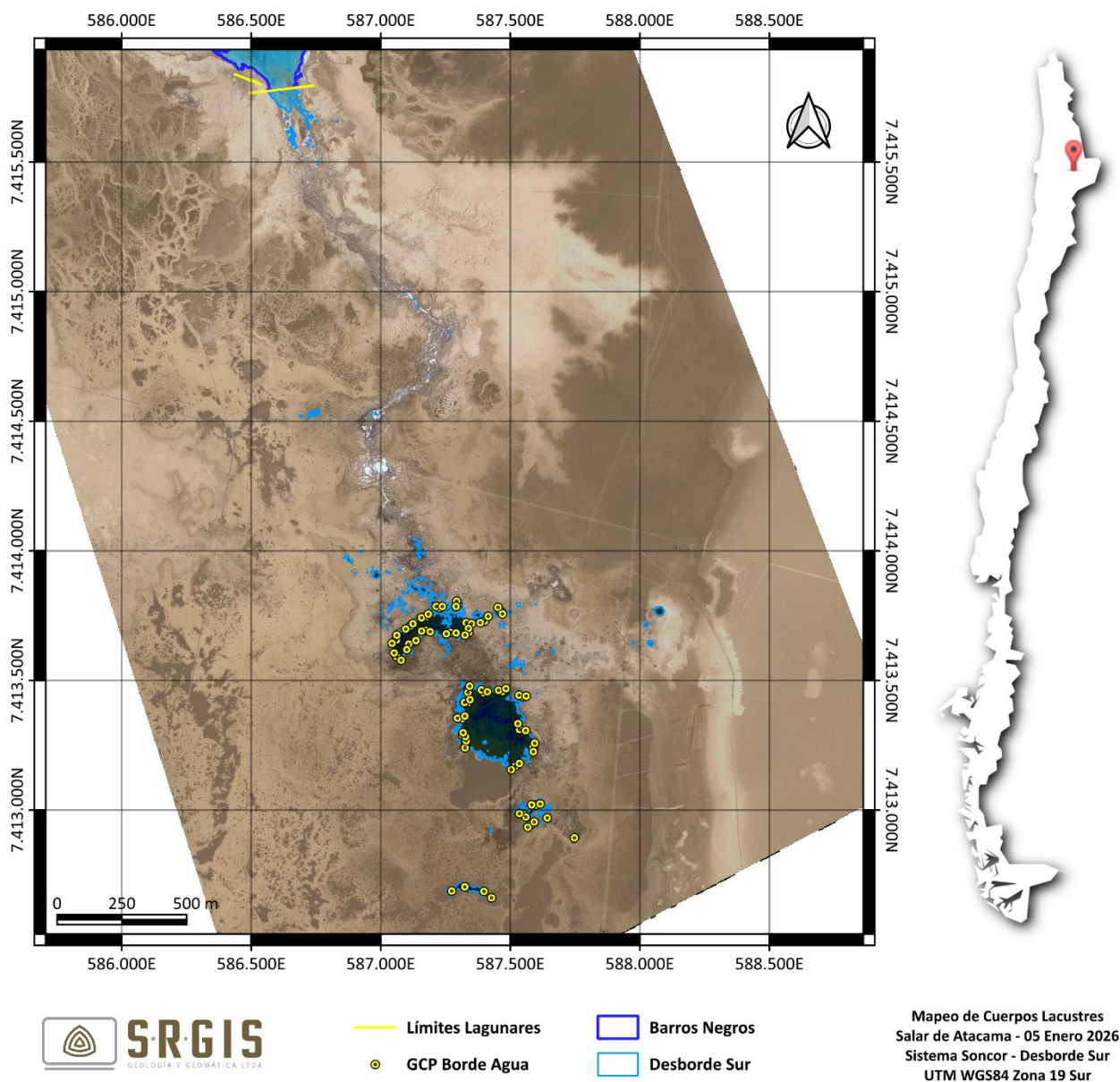


Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur. Elaboración Propia.

6.2. Sistema PEINE

El sistema PEINE está compuesto por las lagunas Salada, Saladita y Desborde Laguna Interna, la Tabla 8 presenta los resultados obtenidos para el mapeo de los cuerpos de agua en este sistema.

Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.

Cuerpo	Superficie (m²)
Salada	173.731
Canal de Recarga (Salada)	23.450
Canal de Descarga (Salada)	5.184
Saladita	84.523
Desborde Laguna Interna	43.273

6.2.1. Laguna Salada

La laguna Salada está compuesta por un cuerpo principal y 2 canales superficiales. El cuerpo principal muestra contornos bien definidos, a diferencia de los canales de recarga y descarga que tiene límites un poco más difusos (Figura 19). Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

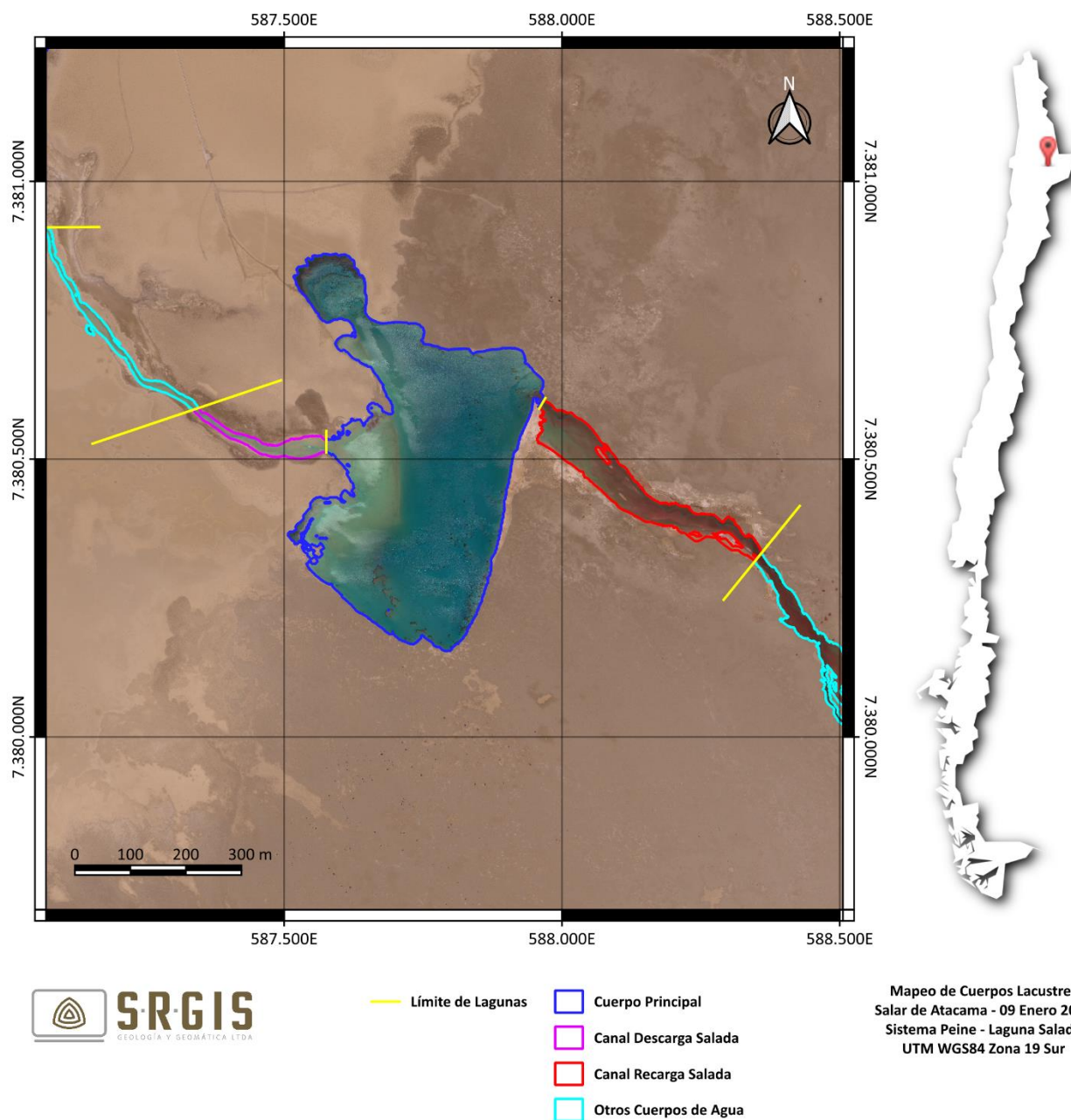


Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada. Elaboración Propia.

6.2.2. Laguna Saladita

La laguna Saladita presenta contornos más difusos que la laguna Salada, aunque es posible diferenciar los límites de los cuerpos de agua, es el sector de la playa (al centro y al oeste) se vuelve complejo de delimitar por presencia de cuerpos muy someros de agua, para mejorar la delimitación en esta zona es importante la toma de puntos de control (Figura 20). Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

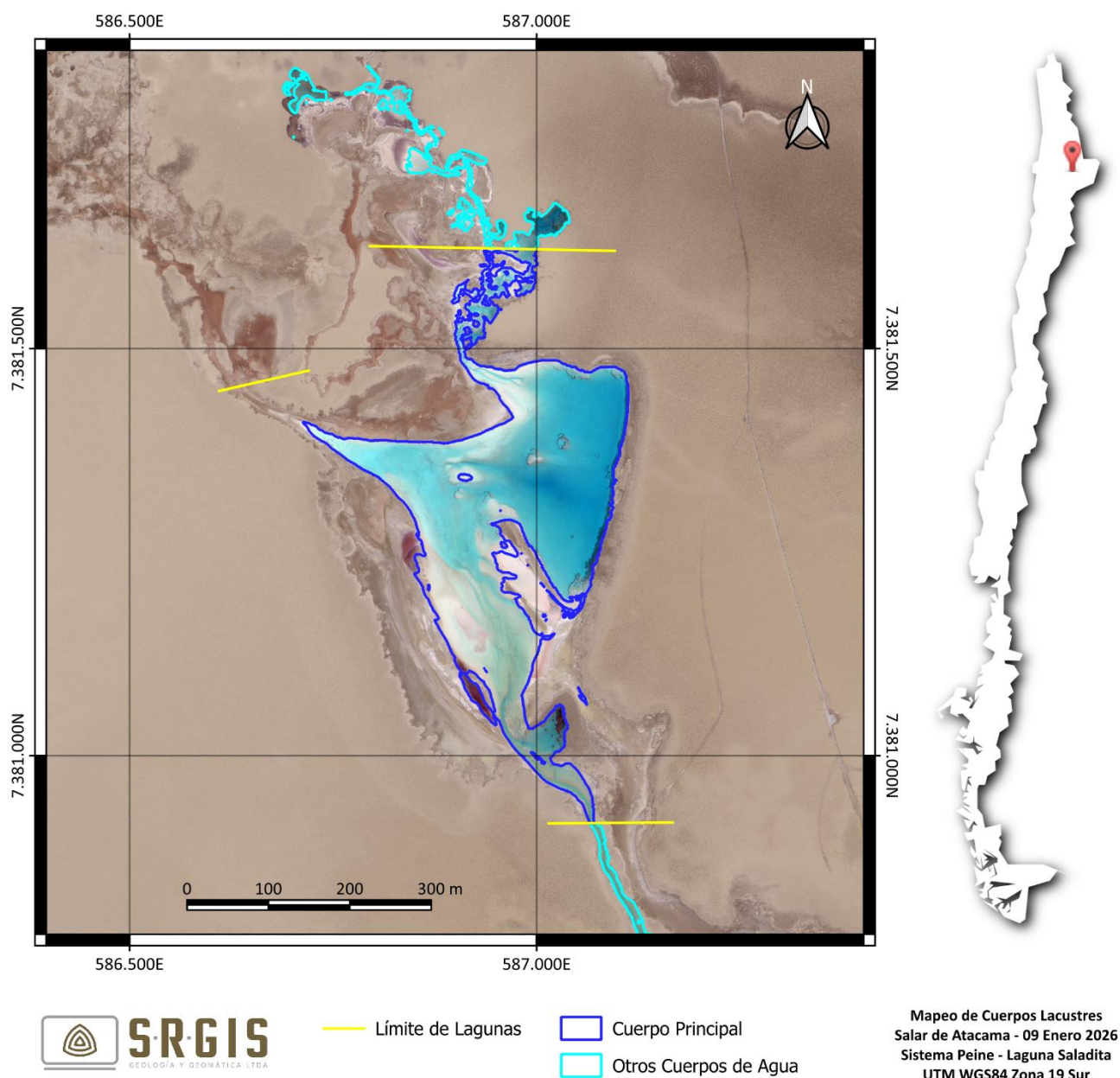


Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita. Elaboración Propia.

6.2.3. Desborde Laguna Interna

A diferencia de las lagunas estudiadas anteriormente, el Desborde laguna Interna no conforma un cuerpo lacustre de superficie continua. Los índices facilitaron la delimitación de los límites de estos cuerpos de agua como se observa en la Figura 21. Es importante mencionar que, hacia la parte distal del sistema lagunar (NW), se identifican en terreno zonas con alta presencia de costra de sal recientemente formada. Para esta campaña no se pudo acceder para obtener puntos de control de terreno.

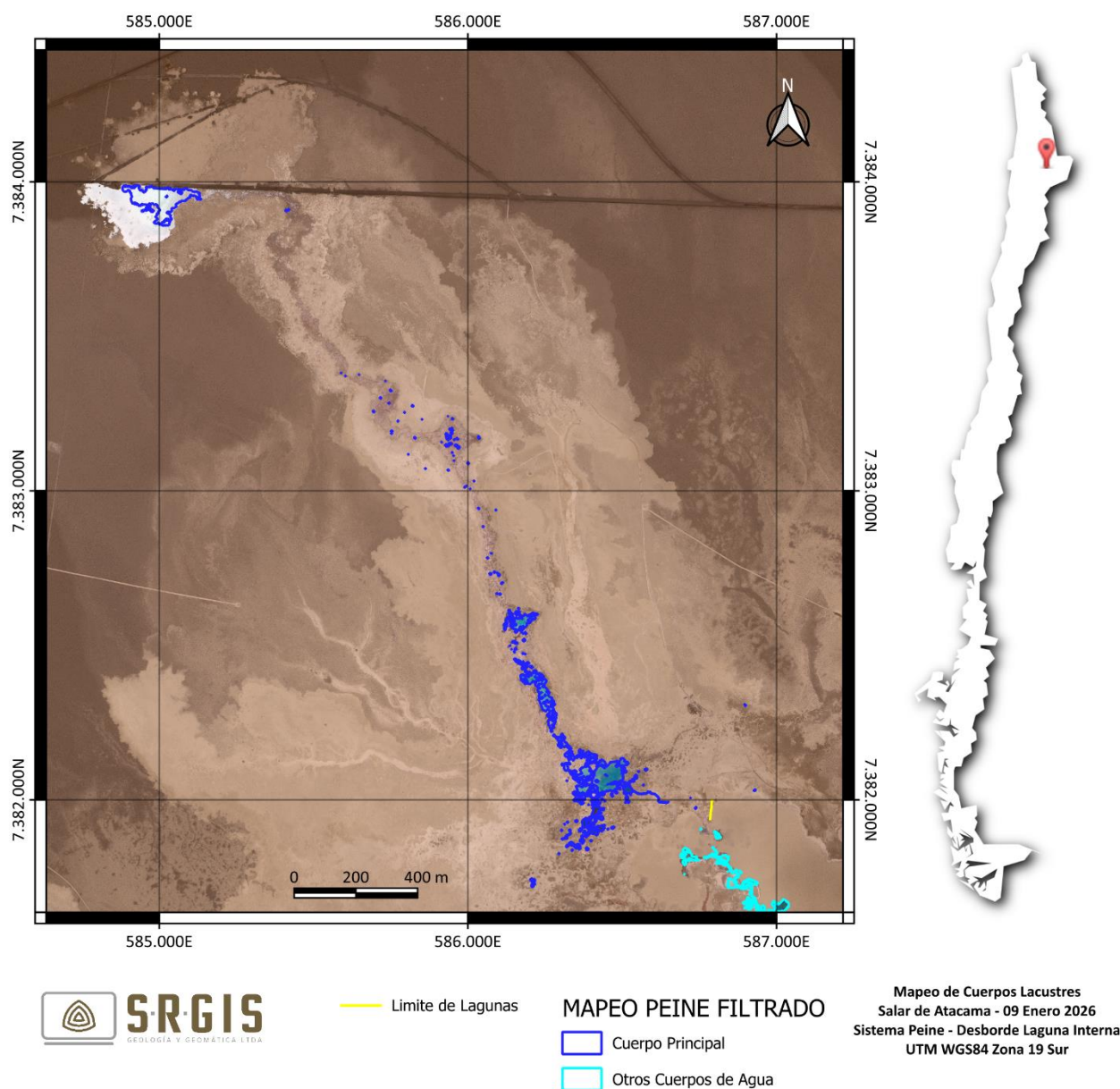


Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna. Elaboración Propia.

7. DISCUSIONES

Se ha realizado de manera correcta el mapeo de cuerpos de agua en los sistemas SONCOR y PEINE, la metodología utilizada delimita de manera correcta los cuerpos de agua y la obtención de puntos de control para algunas lagunas es importante en zonas donde los índices no delimitan bien los cuerpos, y ayudan a delimitar contornos con mejor precisión.

Para el sistema SONCOR se procesaron dos imágenes: WorldView-2 para el sector Puilar y WorldView-Legion para los sectores Chaxa, Barros Negros y Desborde Sur. Esta decisión se debe a que la imagen WorldView-2 presentó efectos de brillo solar en algunos cuerpos de agua, producto del ángulo de observación del sensor y la posición del sol al momento de la adquisición. Este problema fue mitigado mediante el uso de imágenes WorldView Legion, en las cuales no se observó dicho efecto, permitiendo una mejor calidad en el análisis.

Es importante considerar que la imagen satelital fue capturada el día 5 de enero 2026, y que los puntos de control fueron para el sector de Desborde Sur fueron tomados los días 5, 6 y 7 de enero tanto en el mismo día de captura de la imagen con los dos días consiguientes, lo cual es clave para poder observar la imagen y compararla con puntos de control y las fotografías de terreno para dilucidar zonas de dudas en la imagen satelital.

8. CONCLUSIONES

La extensión de los cuerpos de agua superficiales del sistema SONCOR corresponden a los siguientes:

- | | | |
|---|---|------------------------|
| • Laguna Chaxa | : | 279.656 m ² |
| • Laguna Barros Negros (Cuerpo Principal) | : | 680.825 m ² |
| • Puilar | : | 64.055 m ² |
| • Desborde Sur | : | 111.660 m ² |

La extensión de los cuerpos de agua superficiales del sistema PEINE corresponden a los siguientes:

- | | | |
|-----------------------------|---|------------------------|
| • Salada (Cuerpo Principal) | : | 173.731 m ² |
| • Saladita | : | 84.523 m ² |
| • Desborde Laguna Interna | : | 43.273 m ² |

9. REFERENCIAS

- Baret, F. (1989). TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. *12th Canadian Symp. on Remote Sensing and IGARSS'90, Vancouver, Canada, 10-14 July 1989*.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*.
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8(1), 1–10.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- Sun, W., Chen, B., & Messinger, D. W. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53(1), 13107.



srgis

srgisltda



info@srgis.cl

+56 993 498 303



www.srgis.net