

---

## **ANEXO 10**

### **Extensión lacustre primer semestre 2024**

---

#### **Anexo 10.1**

Cálculo de superficie lacustre

#### **Anexo 10.2**

Estacas perimetrales y puntos de control

#### **Anexo 10.3**

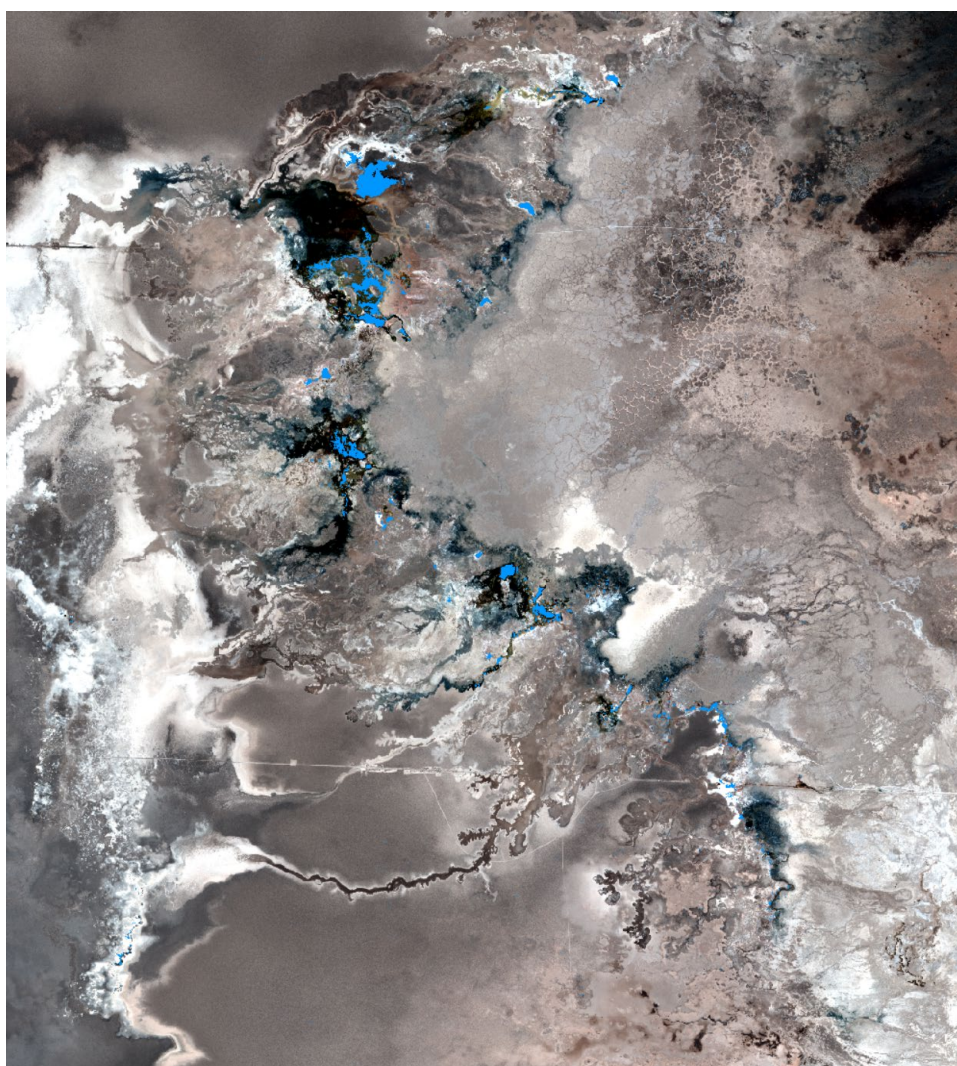
Compilado de resultados de extensión lagunar

## **Anexo 10.1**

### Cálculo de superficie lacustre

**MAPEO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES EN AGUAS DE QUELANA  
SALAR DE ATACAMA**

*José Manuel Lattus – SRGIS Geología y Geomática Ltda.*



**Santiago de Chile**

**Enero 2024**

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	4
3.2 MATERIALES Y SOFTWARE .....	5
3.3 METODOLOGÍA .....	5
3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital.....	6
3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia) .....	7
3.3.3 Cálculo de Índices y características espectrales (NDWI, NDWI <sub>R</sub> y SAVI) y consideración de características espectrales.....	7
3.3.4 Clasificación Binaria .....	9
3.3.5 Pan-Sharpning (Fusión Imagen Multiespectral con Banda Pancromática) .....	9
3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento.....	10
3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas .....	10
4. PUNTOS DE CONTROL .....	11
5. RESULTADOS.....	12
6. DISCUSIÓN .....	13
7. CONCLUSIONES .....	14
8. REFERENCIAS .....	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia. ....	4
Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia. ....	6
Figura 3: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd. ....	8
Figura 4: Ejemplo de Clasificación Binaria. Elaboración Propia.....	9
Figura 5: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia. ....	10
Figura 6: Puntos de Control en Aguas de Quelana.....	11
Figura 7: Post proceso de edición de resultados.....	12
Figura 8: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 píxel). Elaboración Propia.....	12
Figura 9: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia...	13



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio en coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur. ....	5
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. Elaboración propia.....	5
Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua.....	12
Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de enero de 2024. Elaboración Propia.....	13

## 1. RESUMEN

El mapeo de cuerpos de agua en el sector de Quelana se realizó mediante el procesamiento de una imagen multiespectral de alta resolución WorldView-2. El sector denominado Aguas de Quelana, dentro de la reserva natural “Los Flamencos”, corresponde un sistema de múltiples cuerpos esporádicos de agua de diversos tamaños, cuyas superficies (cuerpos individuales) pueden ser de algunos pocos metros cuadrados hasta más de 40.000 m<sup>2</sup>. El mapeo de estos cuerpos se realiza mediante análisis de índices espectrales (índices de agua y vegetación), clasificación binaria y datos estadísticos de los píxeles además de una evaluación y edición manual en base a la observación de combinaciones RGB en Color Natural e Infrarrojo Color.

Para cuerpos de agua profundos, la característica espectral del agua (reflectancia de la luz en distintas longitudes de onda) es muy particular, y se identifica principalmente por su alta reflectancia en la longitud de onda del color verde y una muy baja reflectancia en la longitud de onda del infrarrojo cercano, sin embargo, para cuerpos someros de agua la influencia del material bajo ellos (suelo, sales, vegetación) altera la curva espectral debido a que la luz atraviesa la película de agua e interactúa con dichos materiales generando una curva espectral que mezcla la información del suelo y el cuerpo de agua, dificultando la diferenciación y el mapeo del agua.

El mapeo de cuerpos de agua resultó en una superficie de 109.385 m<sup>2</sup> de agua superficial en la zona de estudio.

## 2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales facilitan 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 se enfoca en el sector de Aguas de Quelana ubicado en el extremo oriental del Salar de Atacama donde afloran numerosos cuerpos lacustres de muy variados tamaños, los cuales pueden desarrollarse desde algunos m<sup>2</sup> hasta unos 40.000 m<sup>2</sup> aproximadamente. La gran variabilidad del tamaño de los cuerpos de agua, la poca profundidad de éstos y la presencia de vegetación complejizan la determinación de las superficies.

SQM S.A. solicitó a SRGIS Geología y Geomática Ltda. el procesamiento de la imagen satelital de alta resolución para la obtención de la variable extensión de los cuerpos de agua del sistema Aguas de Quelana. 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 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 Puillar, Chaxa y Barros Negros) y el sistema PEINE (lagunas Salada, Saladita e 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 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. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado por la consultora SRGIS Geología y Geomática Ltda., específicamente por el geólogo José Manuel Lattus, consultor en teledetección y magíster en Teledetección, para el período de enero 2024.

A continuación, se define el área de interés, así como los materiales y metodología empleados para el cálculo de superficie lagunar.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la II Región de Antofagasta, Chile, en el extremo oriental del Salar de Atacama en el sector denominado Aguas de Quelana, esta área se encuentra en la Reserva Nacional Los Flamencos (Figura 1). Las coordenadas del área de estudio (vértices) pueden verse en la Tabla 1.

Al sector se puede acceder por la Ruta 23 hacia el sur desde el poblado de San Pedro de Atacama o por la Ruta B-39 que sale de la Ruta 5 a la altura de Baquedano.

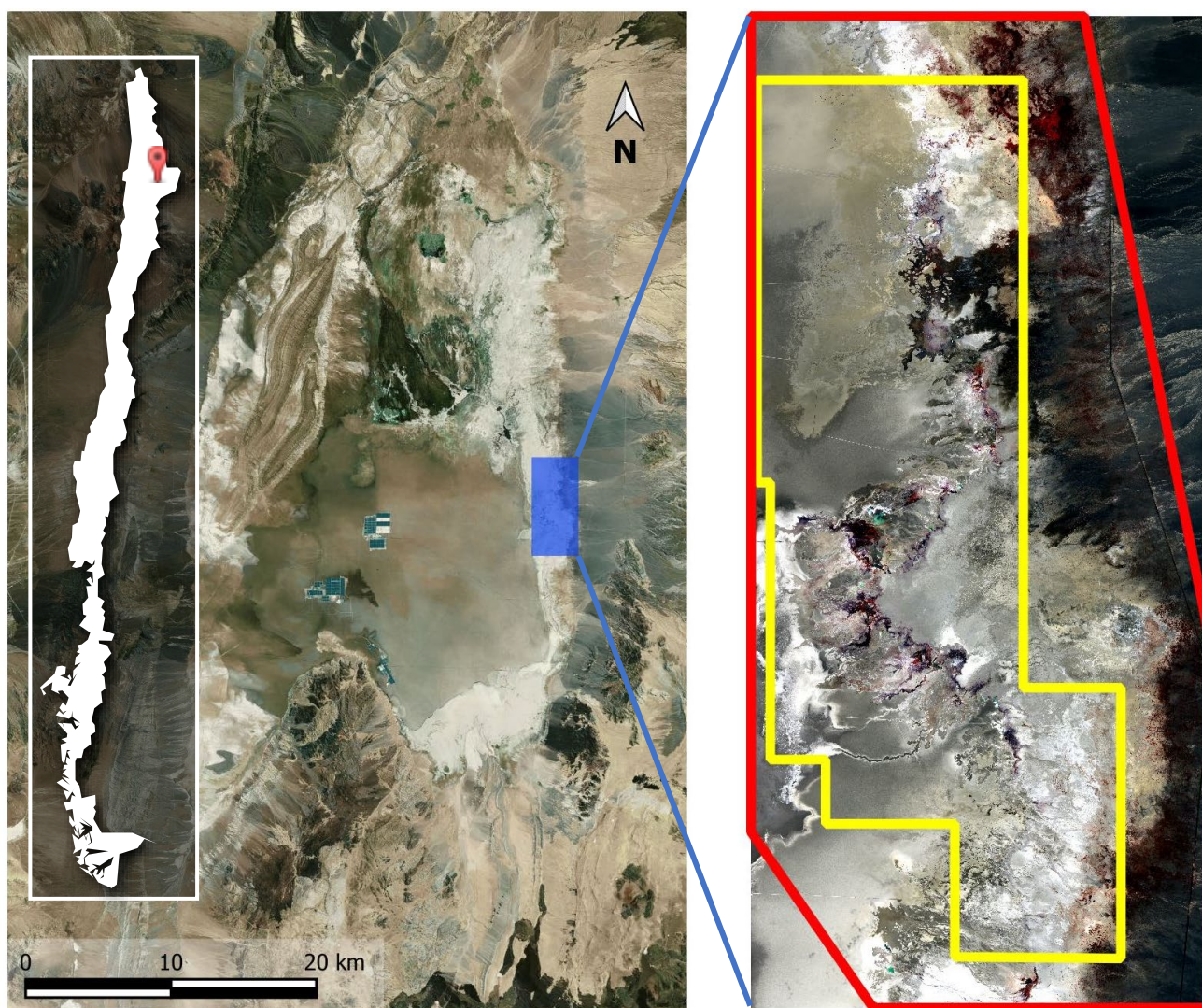


Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia.

: Área de Estudio       : Reserva Nacional Los Flamencos

*Tabla 1: Vértices de la zona de estudio en coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.*

Este	Norte
589.804	7.413.170
594.316	7.413.170
596.022	7.404.704
596.022	7.399.743
591.458	7.399.743
589.804	7.402.124

### 3.2 MATERIALES Y SOFTWARE

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial WorldView-2 capturada el 09 de enero de 2024. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

*Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. Elaboración propia.*

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

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 6.0, software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. Todas las imágenes satelitales se trabajaron en el sistema de referencia de coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.

### 3.3 METODOLOGÍA

La medición de cuerpos de agua en la superficie consideró el cálculo de diversos índices, clasificación binaria e inspección visual, y la revisión del comportamiento de las bandas espectrales orientados a la detección y mapeo de cuerpos de agua. Los procesamiento realizados a las imágenes para el mapeo de los cuerpos lacustres son los siguientes:

1. Pre-procesamiento de la imagen satelital
2. Corrección geométrica
3. Cálculo de índices espectrales (NDWI,  $NDWI_R$  y SAVI) y consideración de características espectrales
4. Clasificación binaria
5. Fusión imagen (Pan Sharpening)
6. Control de Terreno
7. Aplicación de Máscara de Lagunas

### 3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital

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

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:

$$L_{\lambda} = Gain \cdot ND + Offset$$

Donde:

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

Gain : es el factor de ganancia para la banda en  $\lambda$

ND : es el valor del píxel en Niveles Digitales

Offset : es el factor de pérdida para la banda en  $\lambda$

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 2 resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.

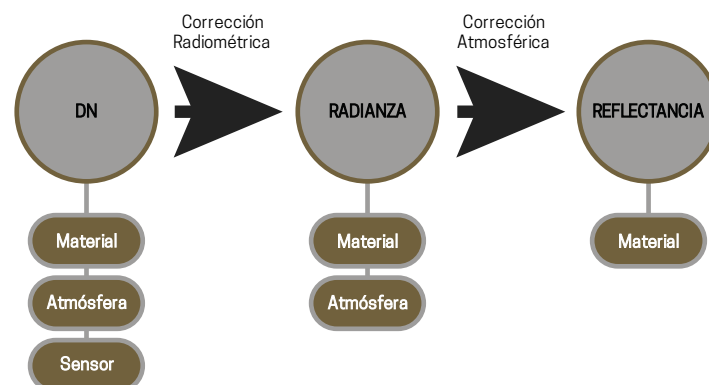


Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia.

La metodología de corrección utilizada fue la corrección “Internal Average Relative Reflectance” (IARR) ya que, para el caso del Salar de Atacama, tras varios estudios, se consideró que es la que entrega mejor resultado para el mapeo específico de cuerpos de agua. Este tipo de corrección funciona mejor para áreas áridas sin vegetación, como es el caso del área de estudio (Harris Geospatial, 2022).

### **3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia)**

La ortorectificación consiste en corregir la imagen de distorsiones provocadas principalmente por la topografía, para ello se utiliza un modelo digital de elevación (DEM) y los parámetros internos de la imagen satelital (RPC). Por otro lado, la georeferencia es indicar las coordenadas precisas de algunos pixeles de la imagen para ajustarla a su posición real, para esto se utilizaron datos de intersección de caminos conocidos e identificados en la imagen.

### **3.3.3 Cálculo de Índices, características espectrales y sus consideraciones (NDWI, NDWI<sub>R</sub> y SAVI)**

Para el mapeo y delimitación de las superficies lacustres se utilizaron los siguientes índices espectrales: Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), Índice de Agua de Diferencia Normalizada en Rojo (NDWI<sub>R</sub>) e Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). A continuación, se pasa a describir cada uno de ellos:

#### **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:

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

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 pixeles entre -1 y 1. Como la reflectancia del agua en la banda verde debe ser mayor a la de la banda NIR, valores mayores a cero deben ser considerados a la hora de clasificar el agua con este índice.

#### **b. Índice de Agua de Diferencia Normalizada en Rojo (NDWI<sub>R</sub>)**

Este índice es una modificación del NDWI, cambiando la banda verde por la banda roja. Para cuerpos de agua con mucho sedimento se ha utilizado este índice ya que los suelos tienen una reflectancia mayor en la longitud de onda del color rojo que en la del verde, de esta manera estos cuerpos de agua con alta carga de sedimentos no tienen su máxima reflectancia en el verde sino en el rojo, pero al estar dentro de cuerpos de agua el infrarrojo cercano sigue teniendo baja reflectancia (Gossn et al., 2019; Moore et al., 2014; Ngoc et al., 2020; Ogashawara et al., 2017). Para cuerpos de agua someros esta característica se mantiene ya que el poco espesor de la capa de agua aumenta la reflectancia del rojo sobre el verde, por lo que este índice aporta mucho al mapeo de cuerpos de agua someros. El algoritmo del NDWI<sub>R</sub> es el siguiente:

$$NDWI_R = (ROJO - NIR) / (ROJO + NIR)$$



Donde:

ROJO : Reflectancia de la imagen en el rango espectral rojo

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

Este índice normalizado entrega valores acotados para los píxeles entre -1 y 1. Como la reflectancia del agua en la banda rojo debe ser mayor a la de la banda NIR, valores mayores a cero deben ser considerados a la hora de clasificar el agua con este índice.

### c. Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI)

El índice SAVI es similar al NDVI (Rouse Jr et al., 1974), pero suprime los efectos de los píxeles del suelo. Utiliza un factor de ajuste de fondo respecto de la capa superior de la vegetación (parte de la vegetación expuesta hacia el sol directamente), “L”, que es una función de la densidad de la vegetación y, a menudo, requiere un conocimiento previo de la cantidad de vegetación. Se sugiere un valor óptimo de  $L=0,5$  para tener en cuenta las variaciones de fondo del suelo de primer orden (Tesdaev et al., 2020). Este índice se usa mejor en áreas con vegetación relativamente escasa donde el suelo es visible a través del dosel. El algoritmo del índice SAVI es el siguiente:

$$SAVI = 1.5 * (NIR - ROJO) / (NIR + ROJO + 0.5)$$

Donde:

ROJO : es la reflectancia en el rango espectral del rojo

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

### d. Consideraciones de Características espectrales

Todos los materiales en la superficie tienen una curva espectral única, con ciertas características particulares en ciertos rangos espectrales del espectro electromagnético. En el caso del agua, esta tiene su máxima reflectancia dentro del rango espectral del color verde, esta reflectancia baja considerablemente (tendiendo a cero) en el rango del infrarrojo cercano. La muestra las curvas espectrales de los principales elementos en la superficie en el espectro solar.

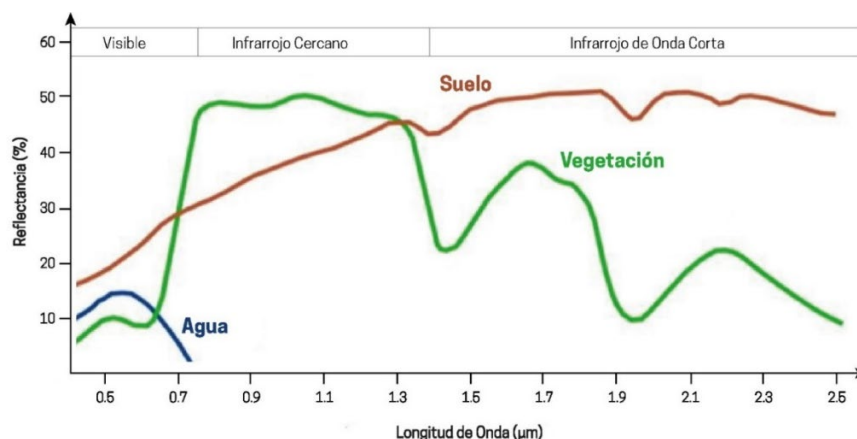


Figura 3: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd.



Bajo estas observaciones, se consideró para el mapeo de cuerpos de agua la reflectancia baja en el rango infrarrojo cercano, lo que se traduce en bajos valores de píxeles en la banda NIR. Es importante considerar que los cuerpos de agua, según su profundidad, pueden resultar en curvas espectrales un poco diferentes a lo esperado, así como el contenido de sedimentos en suspensión, sales disueltas y/o vegetación, de esta manera es que la reflectancia del verde que en general es más alta que la del rojo puede invertirse quedando el rojo con mayor reflectancia lo que justifica el uso del NDWI<sub>R</sub>. De la misma manera se ha evidenciado que la reflectancia baja en el NIR ayuda a separar valores de NDWI altos que no corresponden a agua, como costras recién formadas, de los que si son cuerpos de agua (criterio Low NIR o Bajo NIR).

### 3.3.4 Clasificación Binaria

Este tipo de clasificación, también conocida como “Árboles de Decisión” va segmentando la imagen en distintos pasos: todos los píxeles de la imagen se enfrentan a una condición lógica la cual segmenta la imagen en dos clases, los píxeles que cumplen la condición y los que no la cumplen. Estas condiciones son, por ejemplo:  $NDWI \geq X$ , donde X es el valor de pixel a partir del cual se considera que dicho pixel corresponde a una cobertura de agua. Cada clase generada se puede convertir en un nuevo nodo con una nueva condición que deben cumplir los píxeles que se clasificaron para volver a segmentarlos en dos clases nuevas (Figura 4).

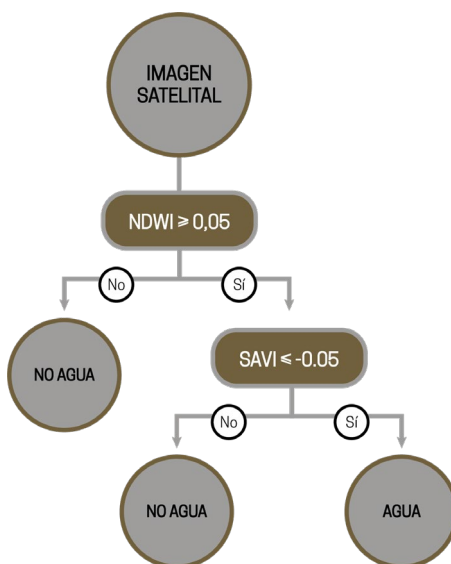


Figura 4: Ejemplo de Clasificación Binaria (umbrales referenciales). Elaboración Propia.

### 3.3.5 Pan-Sharpening (Fusión Imagen Multiespectral con Banda Pancromática)

Este proceso mejora visualmente el detalle de los datos multiespectrales con la banda pancromática debido a que ésta última tiene una resolución espacial mejor que la multiespectral. Es importante señalar que la radiancia medida por el sensor en cada longitud de ondas (azul, rojo, verde e infrarrojo cercano) se encuentra en los datos multiespectrales y que la banda pancromática abarca un rango espectral amplio (desde el azul al infrarrojo cercano) por lo que se recomienda que estos datos fusionados se utilicen de manera estética y para análisis visuales y no procesamiento espectrales.

Para el proceso de PanSharpen, ambas imágenes deben estar corregidas geométricamente para un calce perfecto entre ellas, sin embargo, la corrección radiométrica y atmosférica no es necesario aplicarla a la imagen pancromática, ya que solo se necesita su resolución espacial y no el valor del píxel en reflectancia. Este proceso se realiza utilizando la herramienta de NNDiffuse PanSharpening de ENVI (Sun et al., 2014).

### 3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento

La máscara de lagunas es un archivo digital que posee los límites de las áreas de interés para los diferentes sistemas lagunares. El área seleccionada para el procesamiento en Aguas de Quelana corresponde al “Área de Estudio” indicada en la Figura 1.

### 3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas

Utilizando los índices espectrales, las características de las curvas espectrales y la imagen índice de la clasificación supervisada se procedió al mapeo de los cuerpos de agua visibles en la superficie. La Figura 5 muestra el esquema de procesamiento para el mapeo de los cuerpos lagunares utilizando todas las variables consideradas en este estudio.

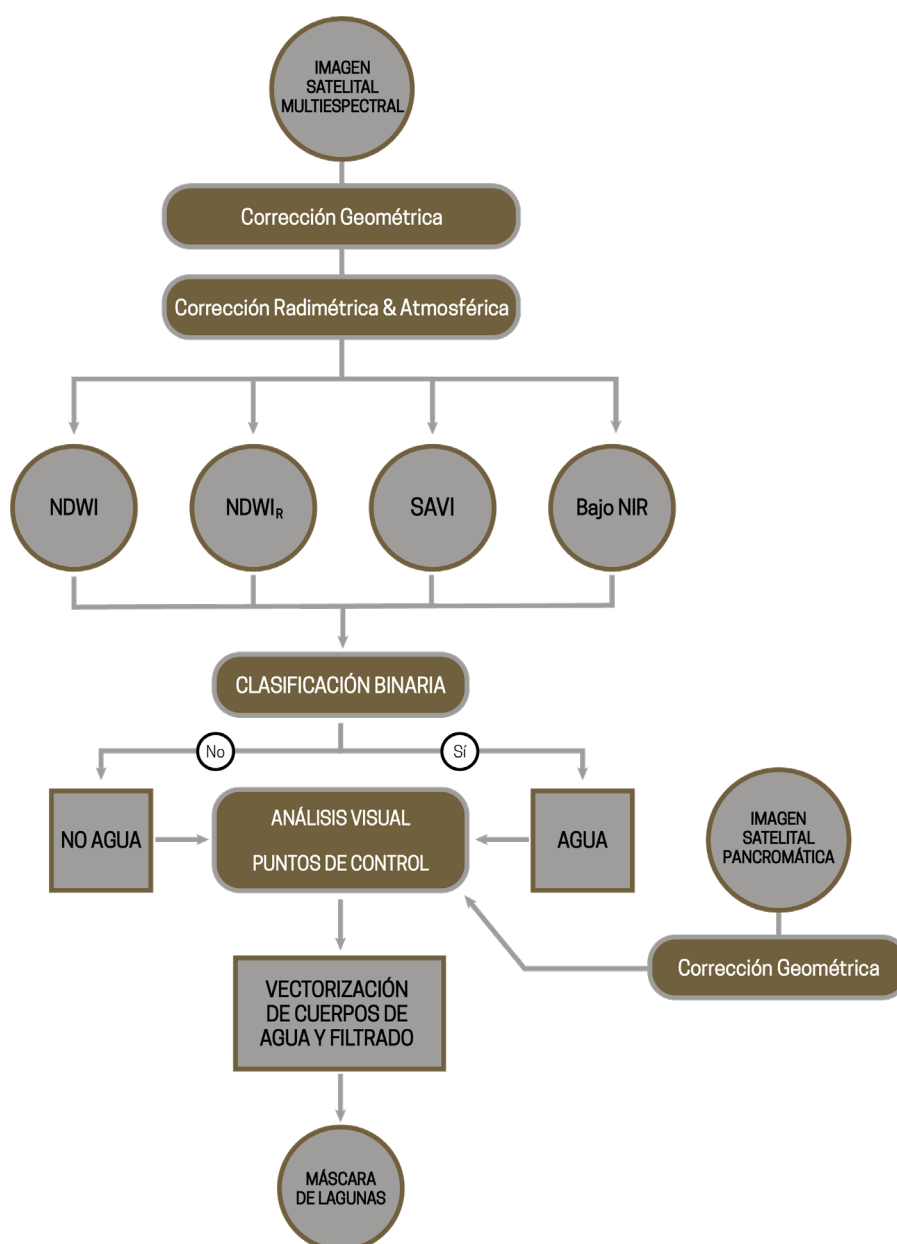
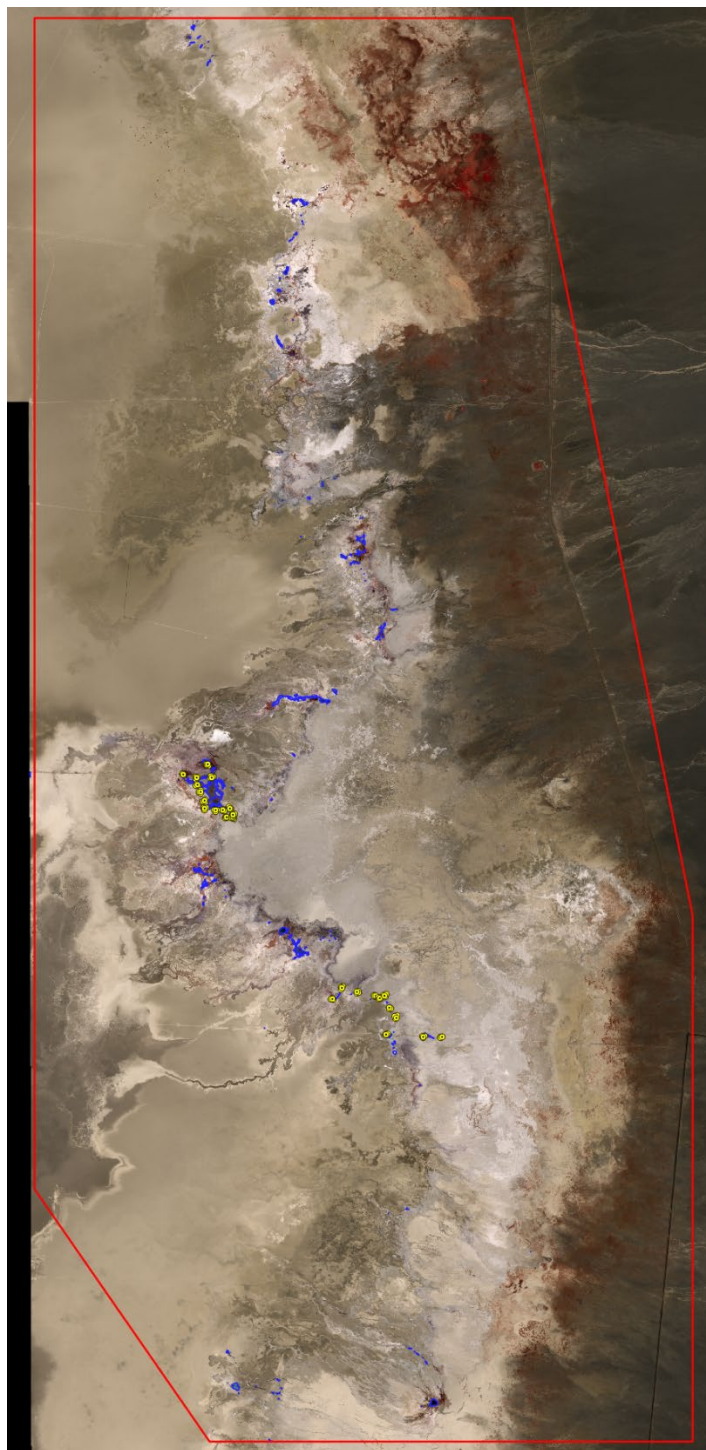


Figura 5: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia.

#### 4. PUNTOS DE CONTROL

Para la campaña de enero 2024, se realizó una campaña de puntos de control de terreno donde se definieron 25 puntos de borde de agua (Figura 6), en cada punto se indica la coordenada específica del punto de control, la cota y observaciones sobre la presencia y espesor de cuerpos de agua; se adjunta también una fotografía orientada y videos el 360° para tener un respaldo de la situación en terreno y poder mejorar el análisis de la imagen satelital; este trabajo fue realizado por la consultora ATyGeo los días 8 y 9 de enero de 2024.



*Figura 6: Puntos de Control en Aguas de Quelana*

## 5. RESULTADOS

Para obtener el resultado final del mapeo de cuerpos de agua se realizan dos etapas posteriores importantes al mapeo inicial. El resultado inicial (mapeo inicial) es el resultado de la clasificación binaria por medio del uso de índices y consideraciones espectrales, el cual pasa por un proceso de inspección visual y edición donde se agregan cuerpos de agua que no fueron mapeados, así como se eliminan píxeles que inicialmente se clasificaron como agua pero se identifica que no lo son (mapeo editado); este paso es sensible ya que está sujeto a la interpretación del consultor de determinar cuáles cuerpos mapeados inicialmente no se consideran como cobertura de agua, cuales cuerpos de agua no se mapearon por la clasificación y deben agregarse al resultado, y la edición de otros cuerpos (extenderlos o disminuirlos), en esta etapa la existencia de puntos de control es fundamental para tomar decisiones respecto de la extensión de los cuerpos de agua. Luego, debido que el mapeo inicial tiene bastante ruido, se realiza un proceso de filtrado donde se eliminan todos los píxeles aislados, o con un área mínima, mapeados como cuerpos de agua (mapeo filtrado). De esta manera tenemos tres resultados distintos: Mapeo Inicial, Mapeo Filtrado y Mapeo Final (Figura 7).



Figura 7: Post proceso de edición de resultados

El proceso de filtrado consiste eliminar píxeles aislados, el cual se aplica considerando que un píxel aislado no es representativo del mapeo y representa más el ruido del proceso que cuerpos de agua en sí (Figura 8). Para este trabajo se mantendrán cuerpos de agua que sean mayores o iguales a 2 píxeles.

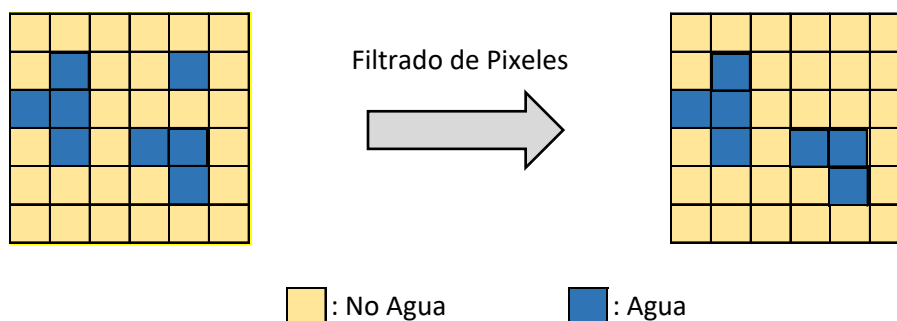


Figura 8: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 píxel).  
Elaboración Propia.

La Tabla 3 resume los parámetros utilizados en la clasificación binaria para el mapeo de los cuerpos de agua.

Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua

SISTEMA	NDWI	NDWI <sub>R</sub>	SAVI	NIR
AGUAS DE QUELANA	$\geq 0,050$	$\geq 0,060$	$\leq -0,050$	0,075

El área mapeada para la imagen de enero 2024 puede verse en la Tabla 4.



Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de enero de 2024. Elaboración Propia.

Fecha	Mapeo Inicial (m <sup>2</sup> )	Mapeo Editado (m <sup>2</sup> )	Mapeo Final (m <sup>2</sup> )
09-01-2024	52.104	124.400	109.385

La Figura 9 muestra el resultado final del mapeo en Aguas de Quelana.

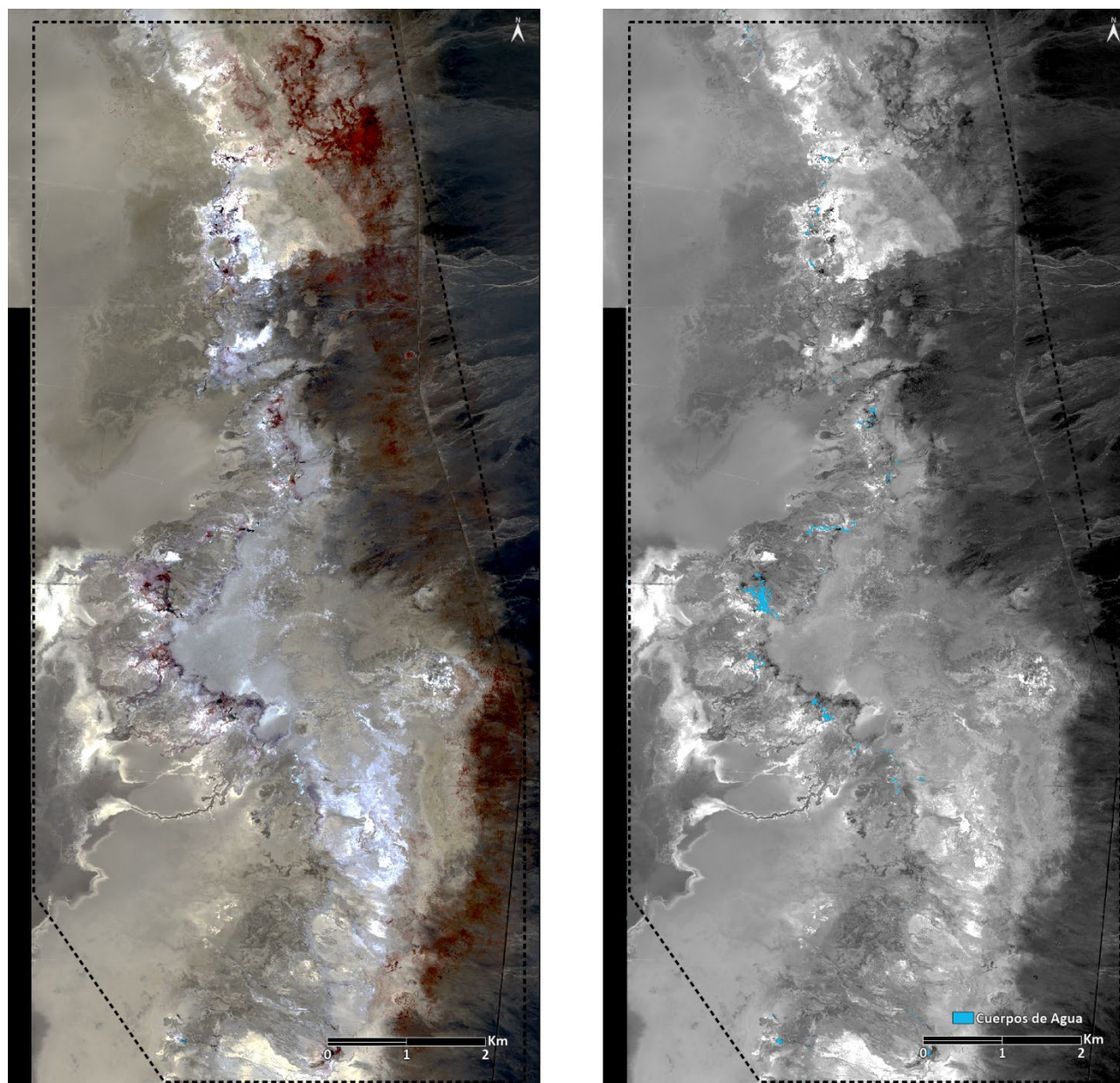


Figura 9: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia.

## 6. DISCUSIÓN

Hay una importante diferencia entre el mapeo semiautomático (mapeo inicial) con el mapeo final, esto se debe a que se prioriza el mapeo de cuerpos efectivos de agua al inicio, al modificar los umbrales para los índices se mapeaban más cuerpos de agua, pero también aparecen muchos falsos positivos; en la edición

manual es más eficiente agregar nuevos cuerpos de agua que eliminar mapeos que no corresponden a agua. Por otra parte, se pudo contar con puntos de control de terreno para mejorar la interpretación en algunos sectores de la zona de estudio, sin embargo, para el resto del área la toma de puntos de control se restringió el acceso por alta presencia de flamencos.

## **7. CONCLUSIONES**

La metodología utilizada para el mapeo de cuerpos de agua en Aguas de Quelana considera las características espectrales del agua, así como consideraciones particulares de la zona como la restricción espacial donde afloran estos cuerpos y un porcentaje bajo de cobertura de agua respecto del total de la zona de estudio.

El mapeo de la cobertura total de agua está relacionado al tamaño y profundidad de los cuerpos de agua. Los posibles errores en la clasificación de los materiales (“Agua” y “No Agua”) están condicionado a la validación realizada mediante interpretación visual la cual se depura de mejor manera con la presencia de puntos de control. Por medio del procesamiento de imágenes en fechas anteriores y sus respectivos puntos de control, se ha generado un aprendizaje para poder incorporar cuerpos de agua que no se detectan con los índices debido a mezclas espectrales (agua y vegetación). La captura de puntos de terreno con la información correspondiente en una fecha lo más cercana a la captura de la imagen satelital, mejora sustancialmente la delimitación de cuerpos de agua en la zona de estudio y ya se han identificado zonas específicas donde esta información se vuelve más importante por zonas de cuerpos de agua someros, algas en cuerpos de agua y otras zonas donde la imagen no releva con total certeza la existencia de cuerpos de agua. Para esta captura de puntos de control de terreno se logró que la fecha la campaña de terreno coincidiera con la captura de la imagen, es importante poder alinear este tipo de esfuerzos con el objetivo de una mejor comprensión del comportamiento de cuerpos lagunares en Aguas de Quelana

## 8. REFERENCIAS

- Gossn, J. I., Ruddick, K. G., & Dogliotti, A. I. (2019). Atmospheric correction of OLCI imagery over extremely turbid waters based on the red, NIR and 1016 nm bands and a new baseline residual technique. *Remote Sensing*, 11(3), 220.
- Harris Geospatial. (2022). *ENVI 5.6 Help*.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- 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.
- Moore, T. S., Dowell, M. D., Bradt, S., & Verdu, A. R. (2014). An optical water type framework for selecting and blending retrievals from bio-optical algorithms in lakes and coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 143, 97–111.
- Ngoc, D. D., Loisel, H., Vantrepotte, V., Chu Xuan, H., Nguyen Minh, N., Verpoorter, C., Meriaux, X., Pham Thi Minh, H., Le Thi, H., & Le Vu Hong, H. (2020). A simple empirical band-ratio algorithm to assess suspended particulate matter from remote sensing over coastal and inland waters of vietnam: Application to the VNREDSat-1/NAOMI sensor. *Water*, 12(9), 2636.
- Ogashawara, I., Li, L., & Moreno-Madriñán, M. J. (2017). Slope algorithm to map algal blooms in inland waters for Landsat 8/Operational Land Imager images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 12005.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.
- Sun, W., Chen, B., & Messinger, D. W. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53(1), 13107.
- Teshaev, N., Mamadaliyev, B., Ibragimov, A., & Khasanov, S. (2020). The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan. *ICIGIS*, 26, 324–333.

Atte.



José Manuel Lattus



info@srgis.cl



srgisltda



+56 993 498 303



www.srgis.net







Cálculo de superficies lacustres

Campaña enero de 2024

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

**Región de Antofagasta**



**Enero 2024**

## 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.....	16
4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies .....	17
5. PUNTOS DE CONTROL .....	20
6. RESULTADOS.....	21
7. CONCLUSIONES .....	30
8. REFERENCIAS .....	31

### 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-2 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 .....	9
Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia. ....	11
Figura 6: <b>(a)</b> Combinación RGB Infrarrojo Color de las imagen multiespectral original (resolución de 2 metros), <b>(b)</b> Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y <b>(c)</b> Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multiespectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.....	11
Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	12
Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los pixeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y) ..	13
Figura 9: Diagramas de dispersión para pixeles 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. ....	15
Figura 11: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	16

Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE.....	17
Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor.....	19
Figura 14: Límites de las lagunas en el sistema Peine .....	20
Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa. ....	22
Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros. ....	23
Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.....	24
Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur. ....	25
Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.....	27
Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita. ....	28
Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna. ....	29

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, enero 2024. Elaboración Propia. ....	4
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. ....	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. ....	17
Tabla 5: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Soncor.....	18
Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Peine .....	19
Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR. ....	21
Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.....	26

## 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 2024 representado en una imagen satelital capturada el día 09 de enero del mismo año.

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 2024.

*Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, enero 2024. Elaboración Propia.*

Sistema	Nombre del Cuerpo de Agua	Superficie del espejo de agua (m <sup>2</sup> )
Soncor	Chaxa	280.335
	Barros Negros	765.764
	Puilar	62.723
	Desborde Sur	96.876
Peine	Salada	172.931
	Saladita	85.293
	Interna	35.734

## 2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales nos ayudan con la observación superficial de los elementos que cubren la superficie de cualquier terreno, en este caso, nos 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 2024 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

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 del año 2024. 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).

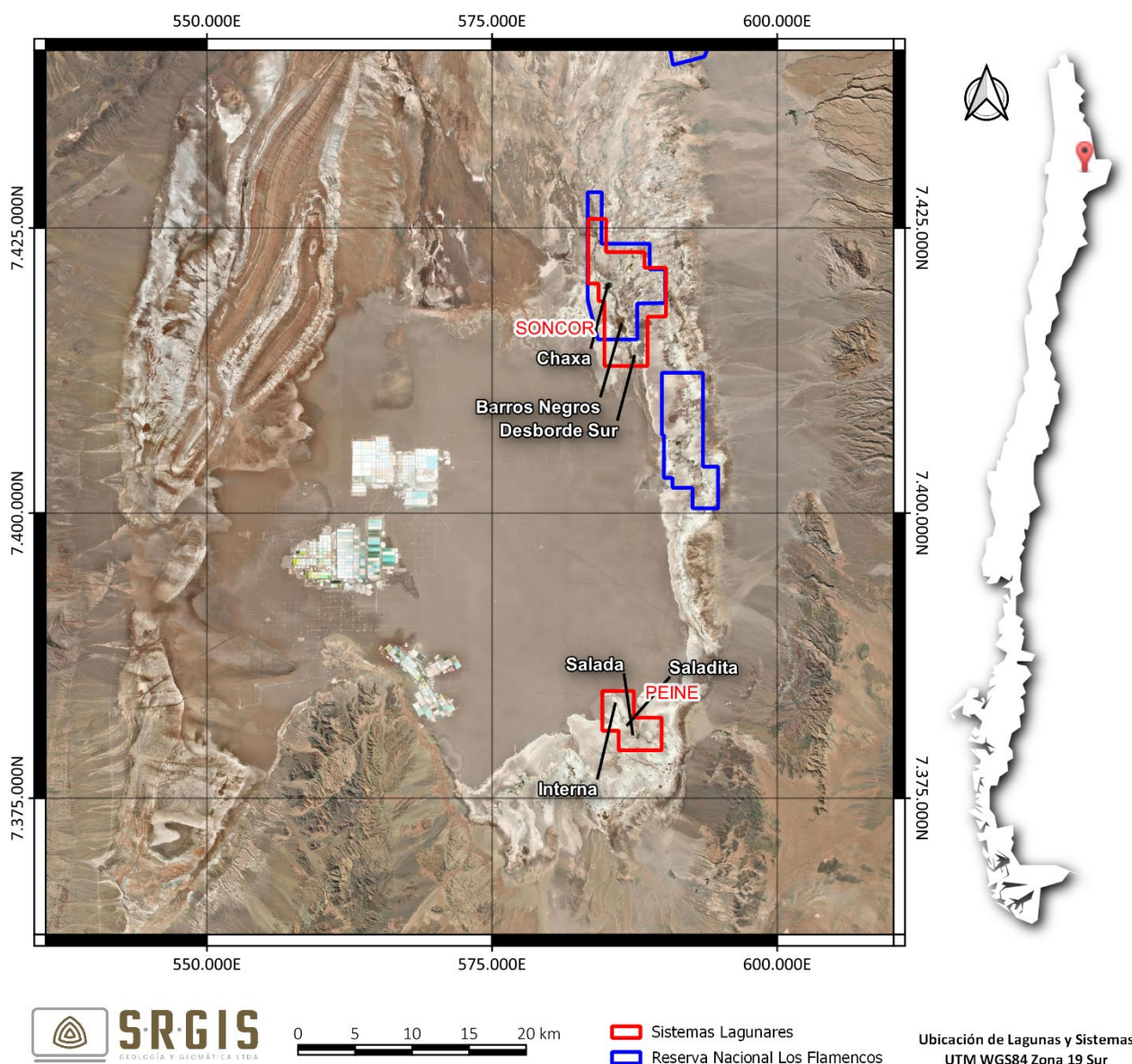


Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S). Elaboración propia.

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 m<sup>2</sup> por píxel (2 x 2 m) para las bandas multispectrales y que además posee una banda pancromática que cubre un área de 0,25 m<sup>2</sup> por píxel (0,5 x 0,5 m). La imagen corresponde al sensor

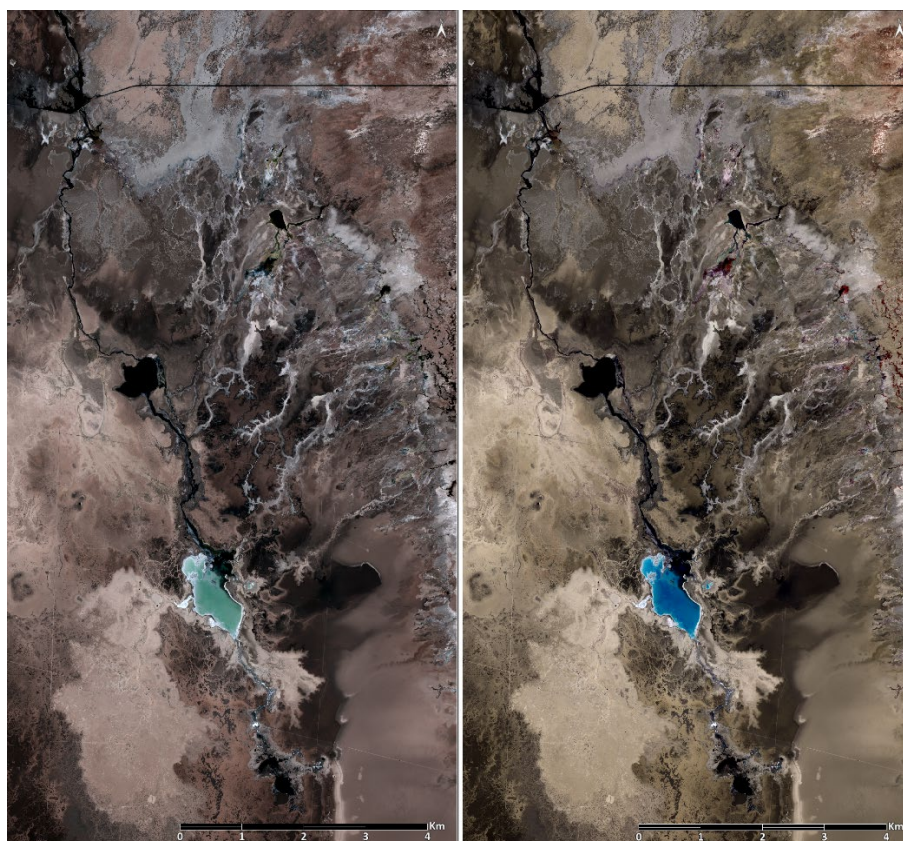


WorldView-2 y fue capturada el día 09 de enero de 2024. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

*Tabla 2: Principales características de la imagen 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 6.0 (NV5 Geospatial), software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. La confección de mapas se realizó en el software QGIS 3.22.

#### **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 multiespectral 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”.

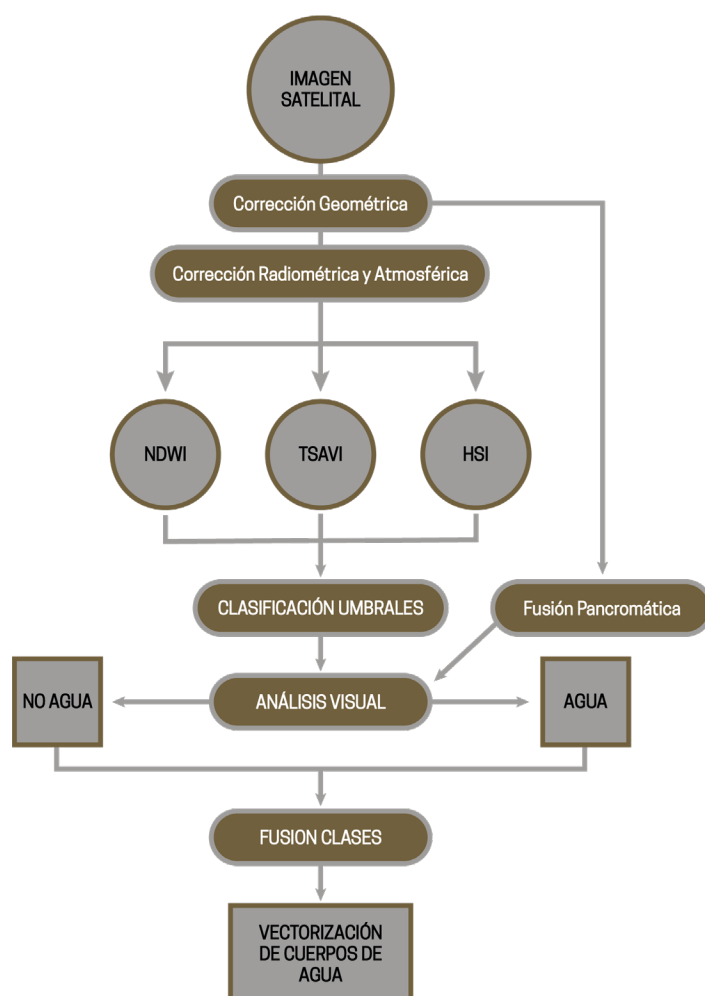


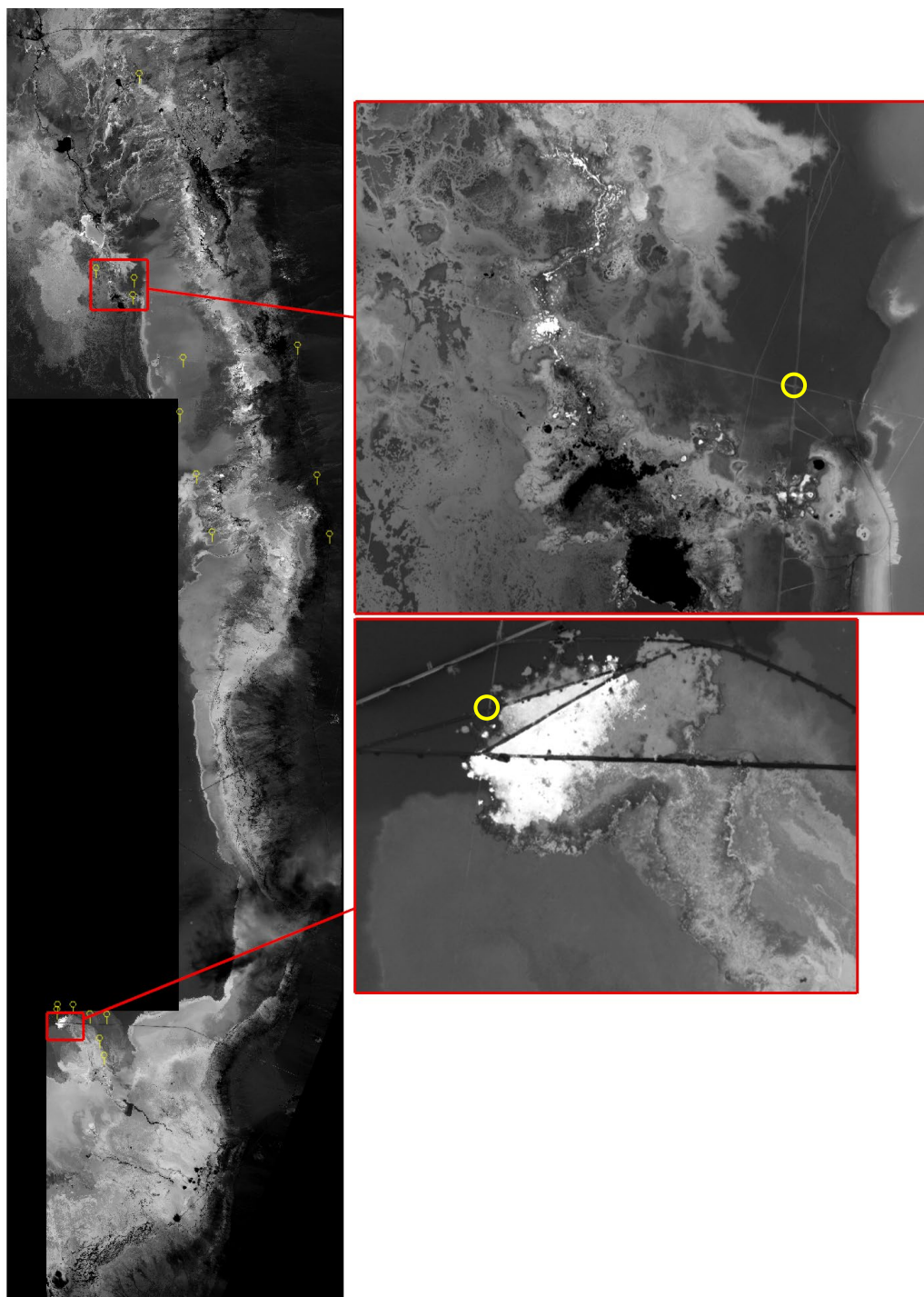
Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.

##### 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 de 2024 por la constelación de satélites de la compañía MAXAR, obteniéndose una imagen WorldView-2 del día 09 de enero. 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 6.0) 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 con un punto de control 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 Control 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 ( $W/(m^2 sr \mu m)$ )

$K_{\lambda}$  : son los niveles digitales de pixeles de la imagen satelital.

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

$\Delta_{\lambda}$  : es el ancho de banda efectivo ( $\mu m$ )

##### 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.



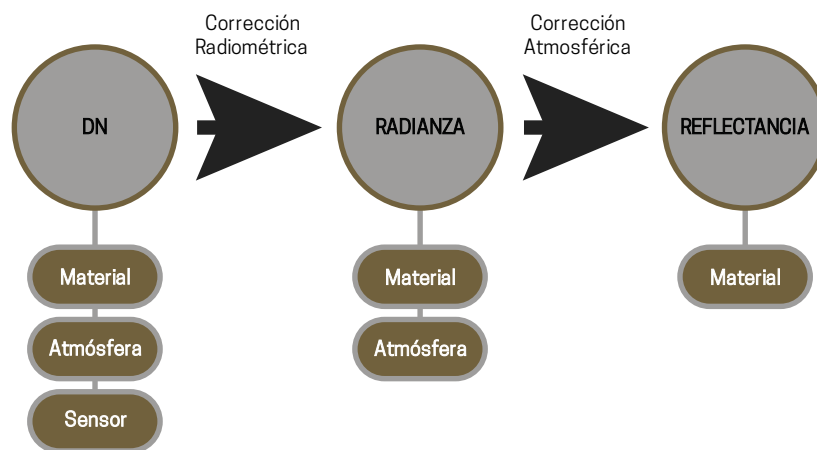


Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.

#### 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 6.0 (Sun et al., 2014).

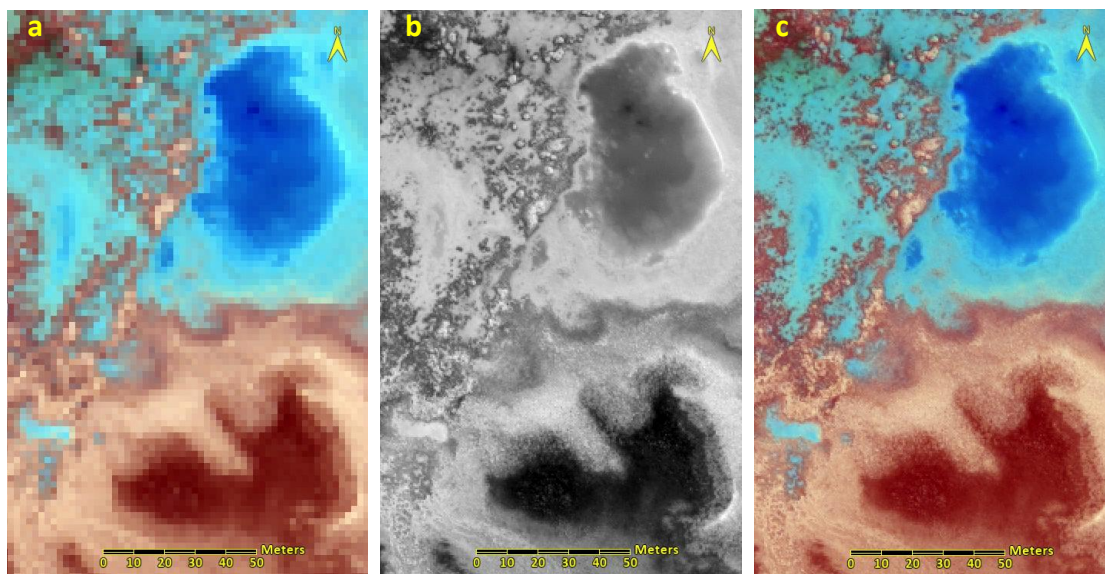


Figura 6: **(a)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen multispectral original (resolución de 2 metros), **(b)** Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y **(c)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multispectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.

#### 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. 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.

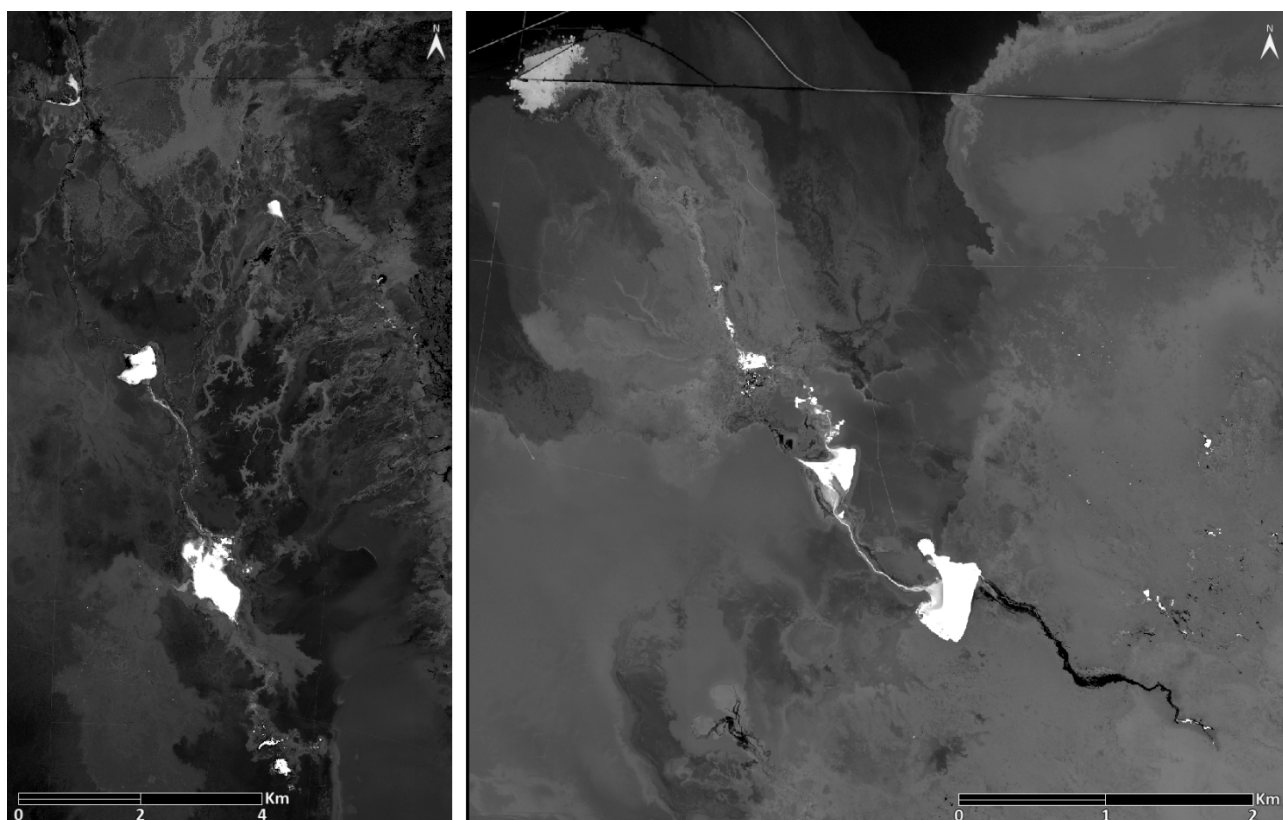


Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

#### 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 el 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 NIR y en el eje Y la banda roja, 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.

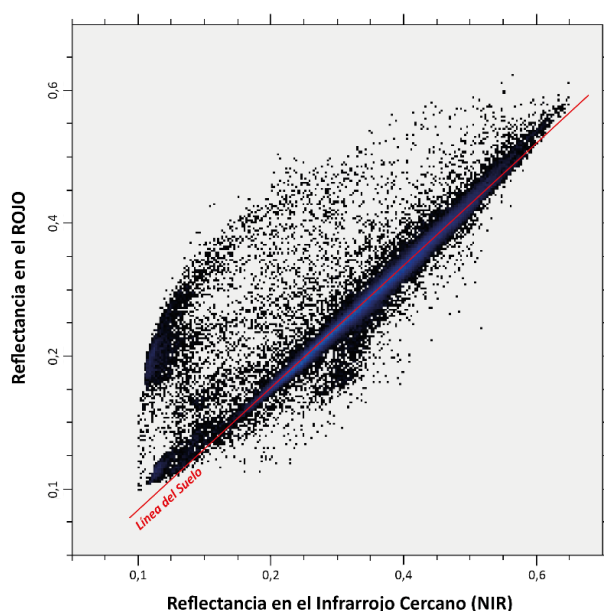


Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)

La Figura 9 muestra los diagramas de dispersión del suelo en las bandas NIR (eje X) y ROJA (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.



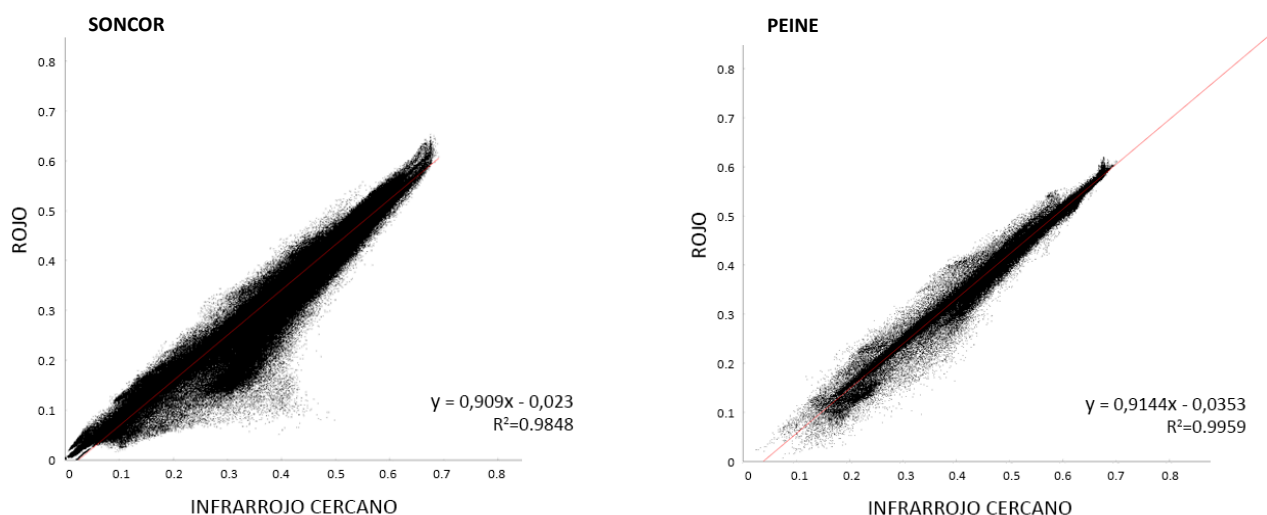
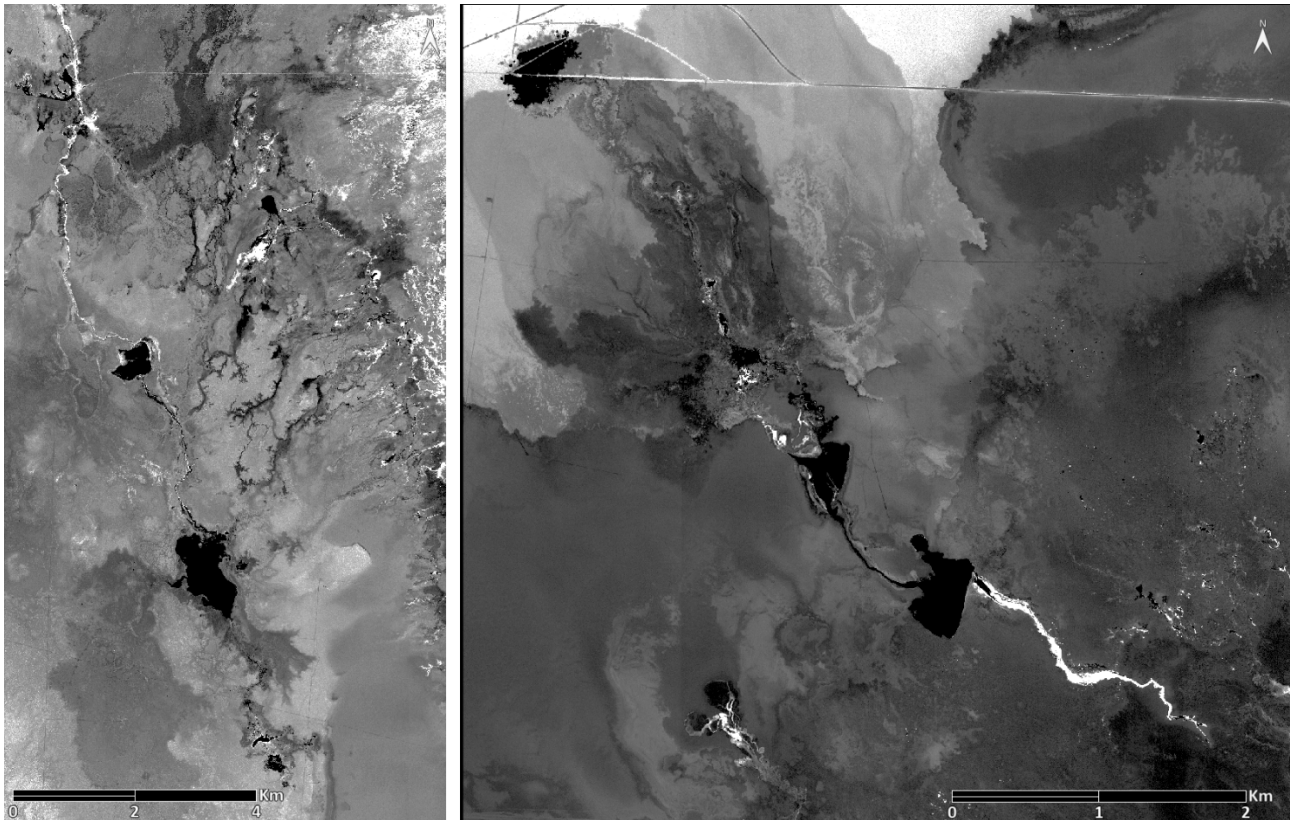


Figura 9: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE

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

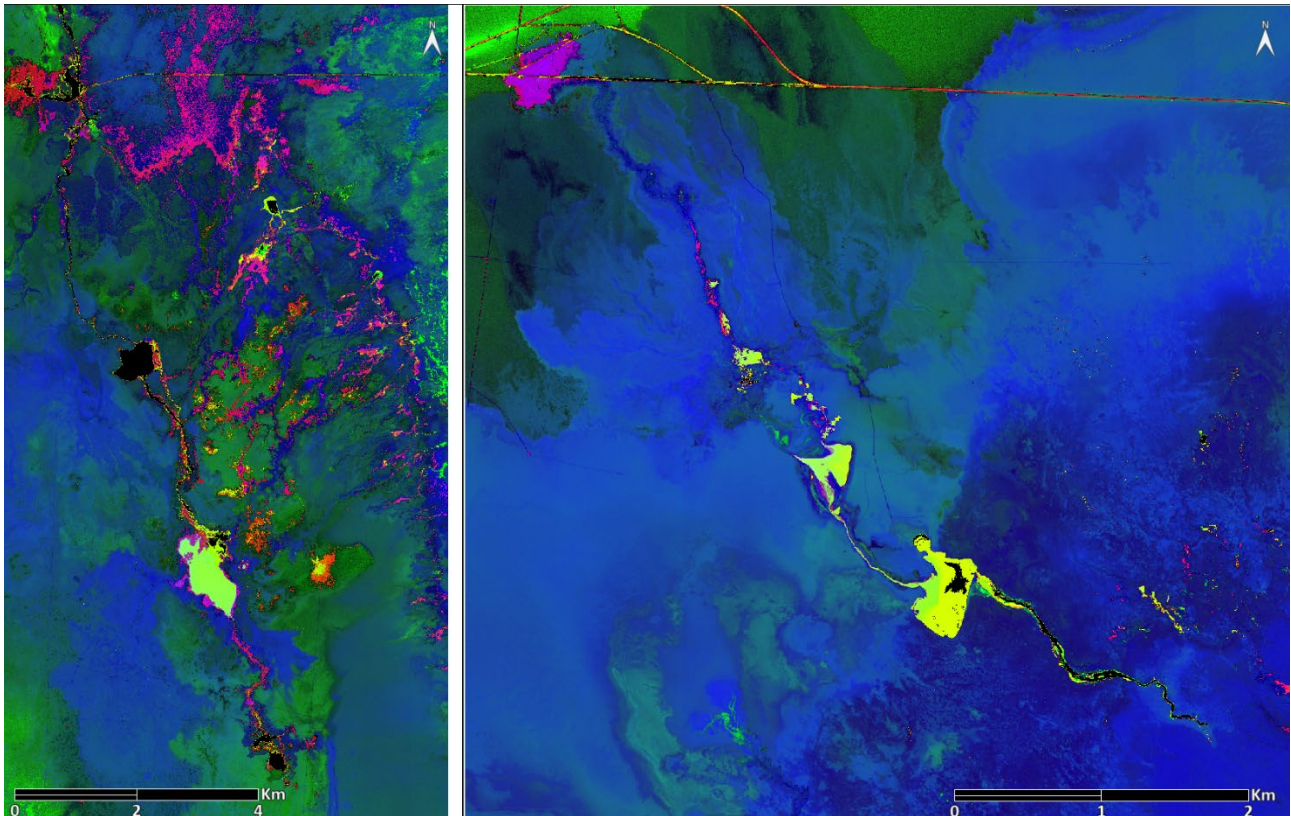
SISTEMA	Factor a	Factor b
SONCOR	0.909	- 0.0230
PEINE	0.914	- 0.0353



*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.



*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	$\geq -0.10$	$\leq 0.075$	$\leq$ N/A	$\geq$ N/A
PEINE	$\geq -0.10$	$\leq 0.100$	$\leq$ N/A	$\geq$ 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.

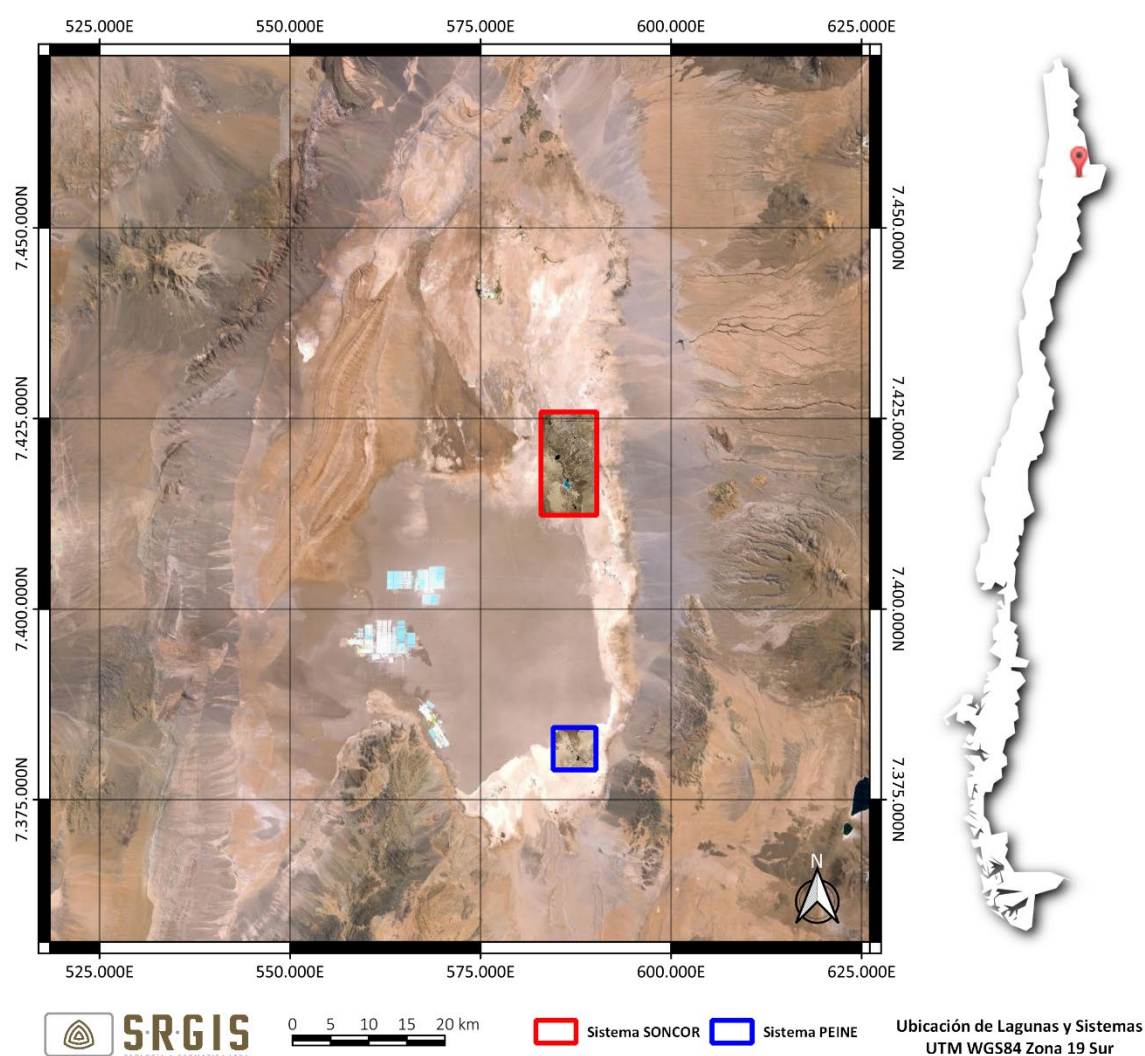


Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE.

#### 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 delimitan los límites de cada laguna Enel 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

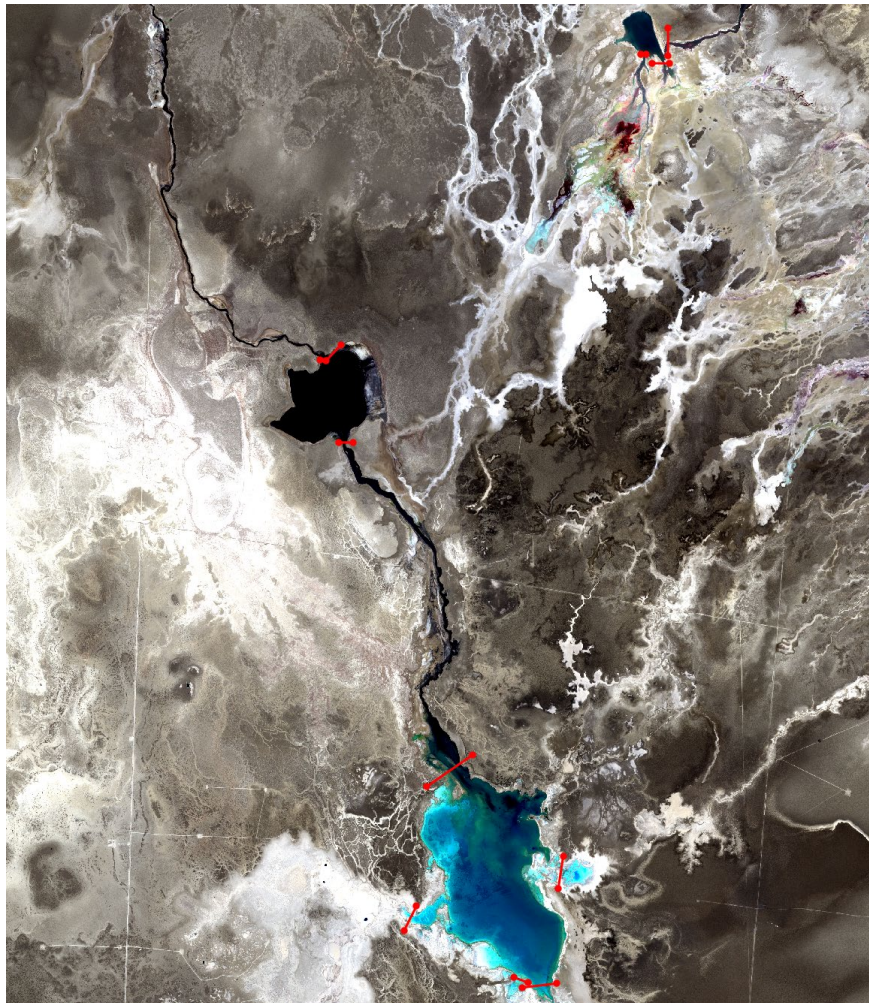
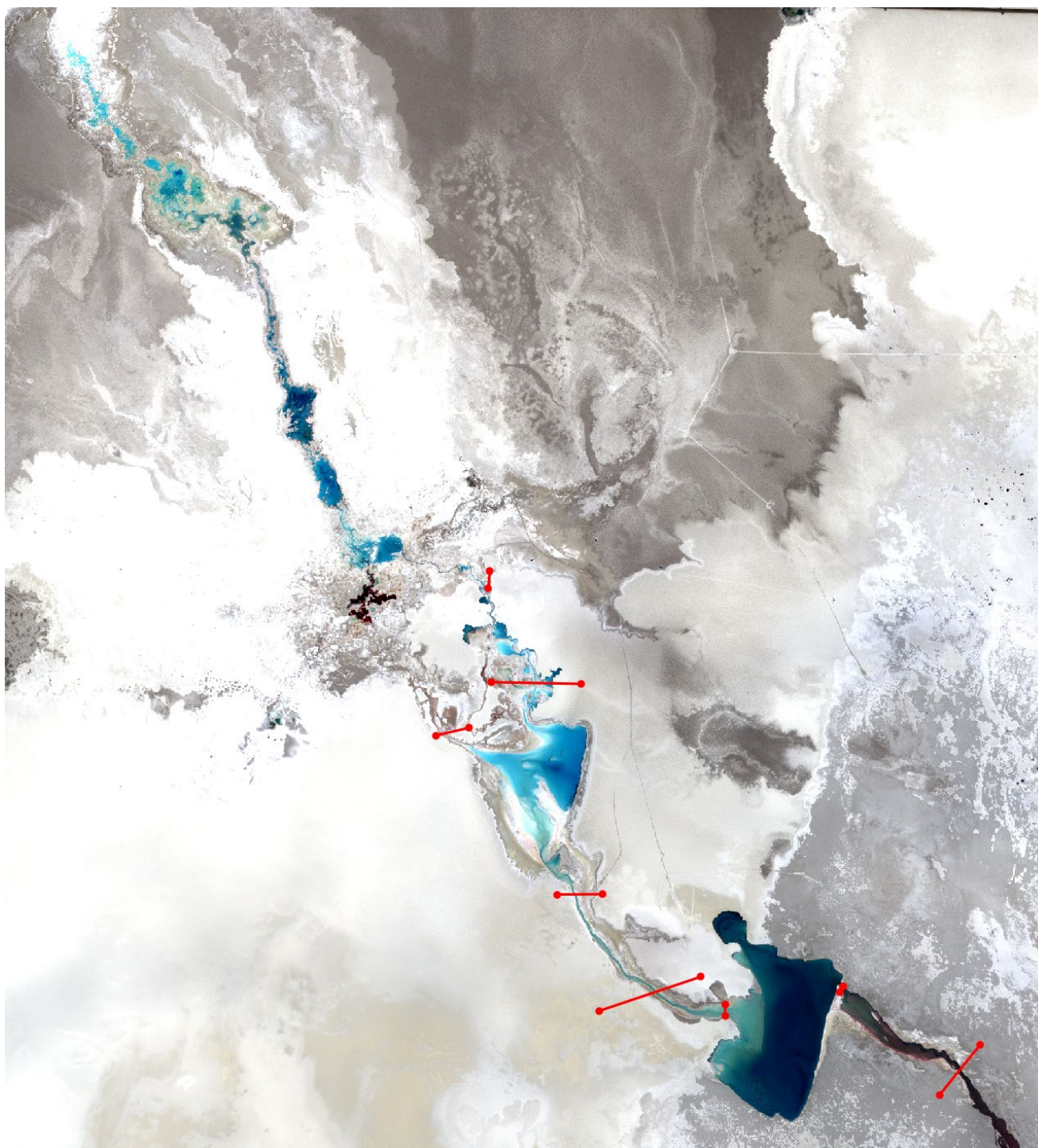


Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor

Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan 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*

## 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 esta campaña no se proporcionaron puntos de control para ningún sistema lagunar.

## 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 2024.

### 5.1 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 <sup>2</sup> )
Laguna Chaxa	280.335
Laguna Barros Negros	755.361
Área de Inundación I (Barros Negros)	1.421
Área de Inundación II (Barros Negros)	8.982
Área de Inundación III (Barros Negros)	0
Puilar	62.058
Desborde Sur	96.876

### 5.1.1. 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, aun así, debido al actual conocimiento histórico del comportamiento de la laguna y el análisis de puntos de control en otros períodos se ha logrado establecer un límite y ajuste de la laguna mediante la visualización y el análisis espectral.

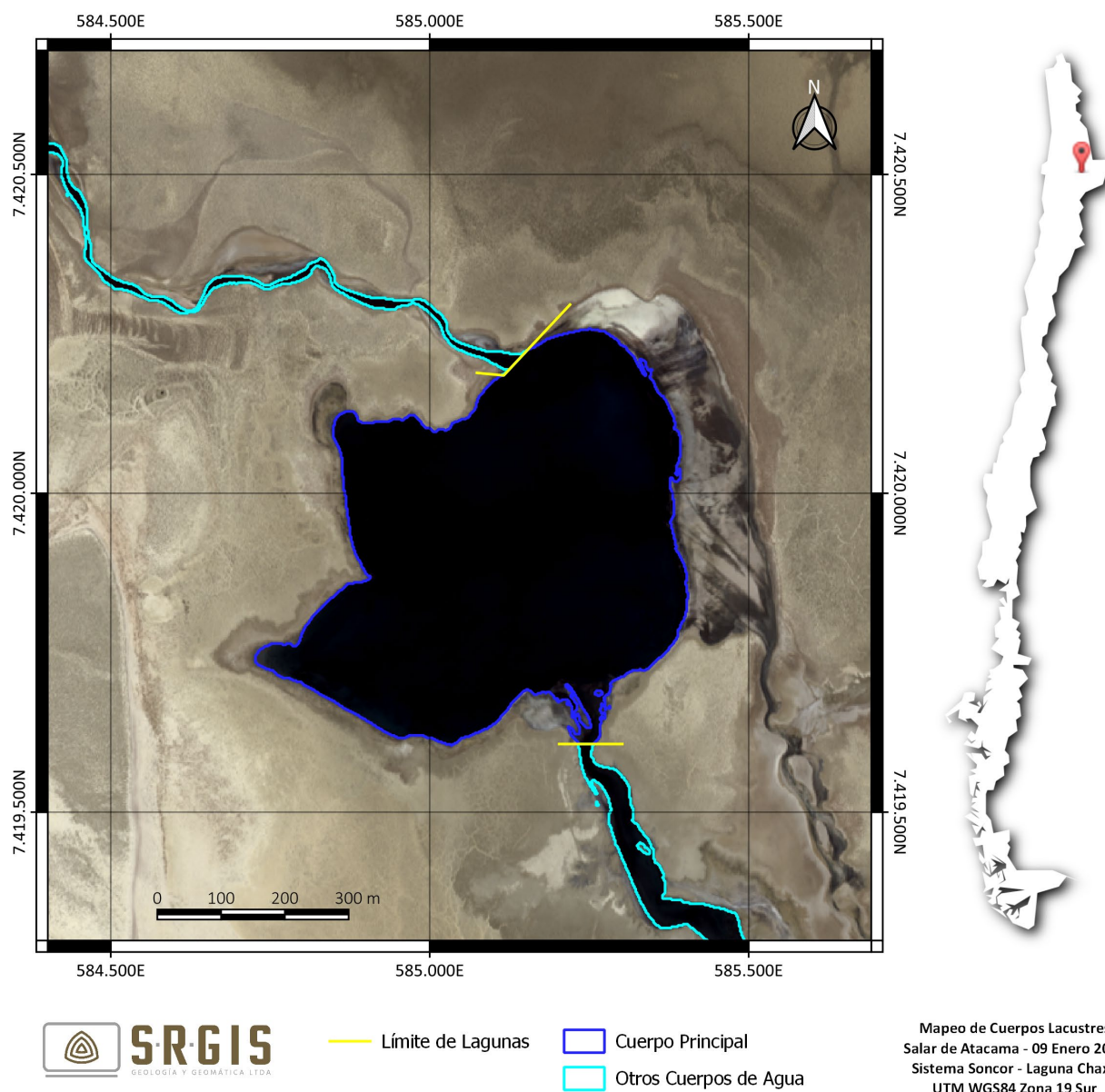


Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa.



### 5.1.2. 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. No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, no obstante, y al igual que en Chaxa, se han empleado criterios de conocimientos acumulados históricos sobre el comportamiento de la laguna para rectificar límites o borde lagunar.

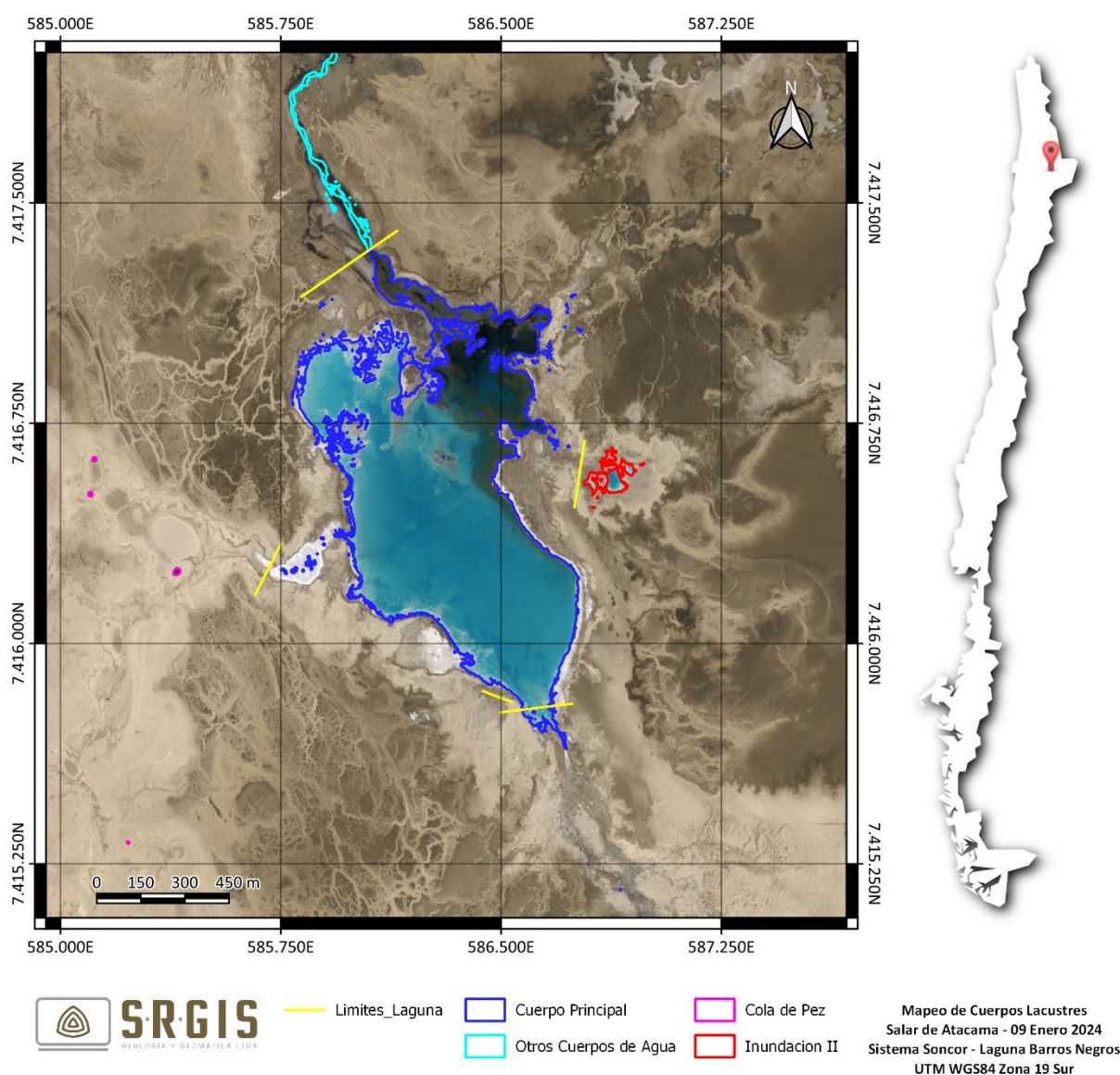


Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros.

### 5.1.3. 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, de todas maneras, la información histórica de puntos de control hacia zonas conflictivas con alta reflectancia en el infrarrojo cercano ha evidenciado la presencia de agua en zonas que, según índices espectrales, se evidencian como vegetación y no como agua. Se ha utilizado este criterio para el ajuste del mapeo en esta laguna.

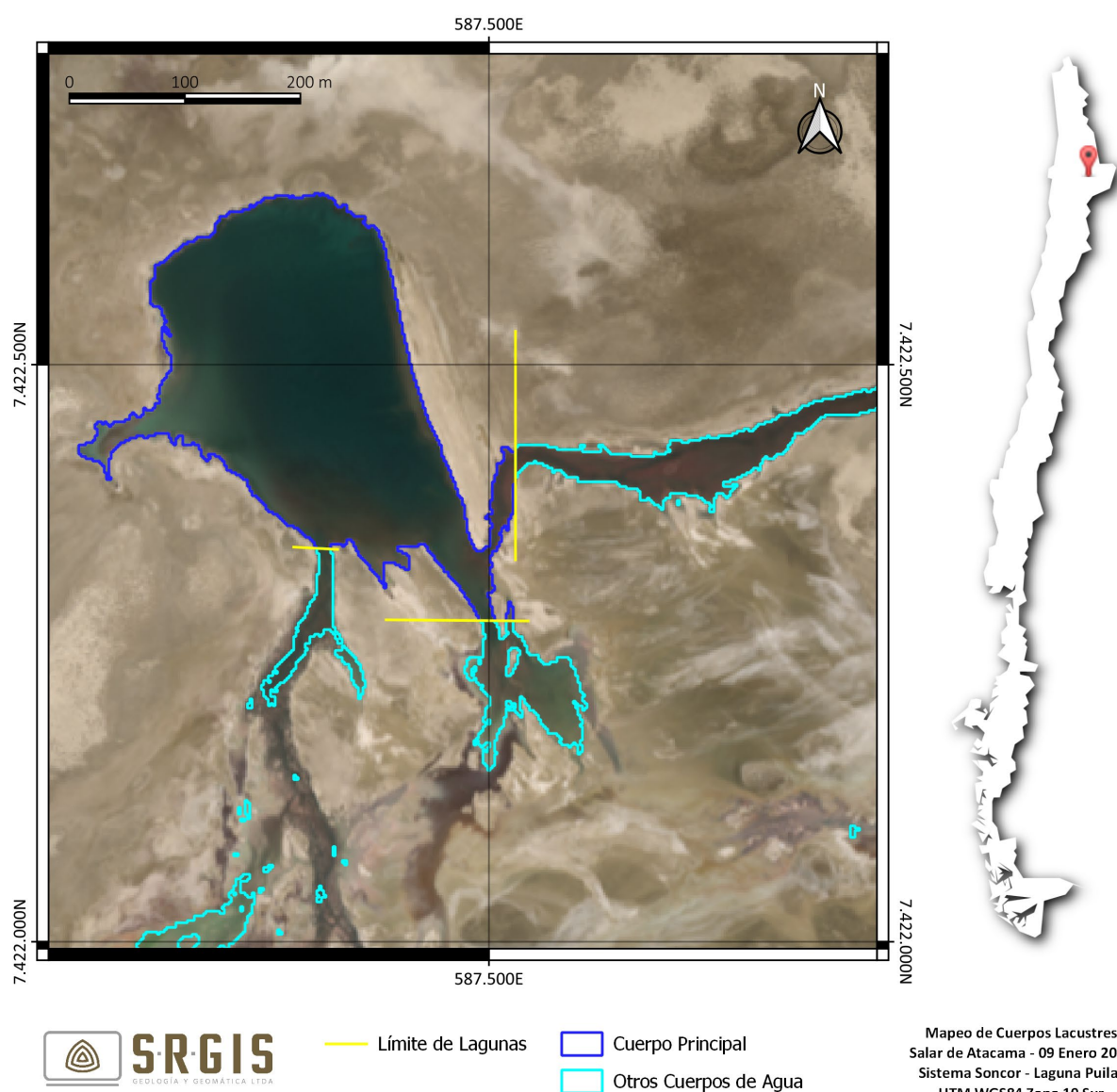


Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.

#### 5.1.4. 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva.

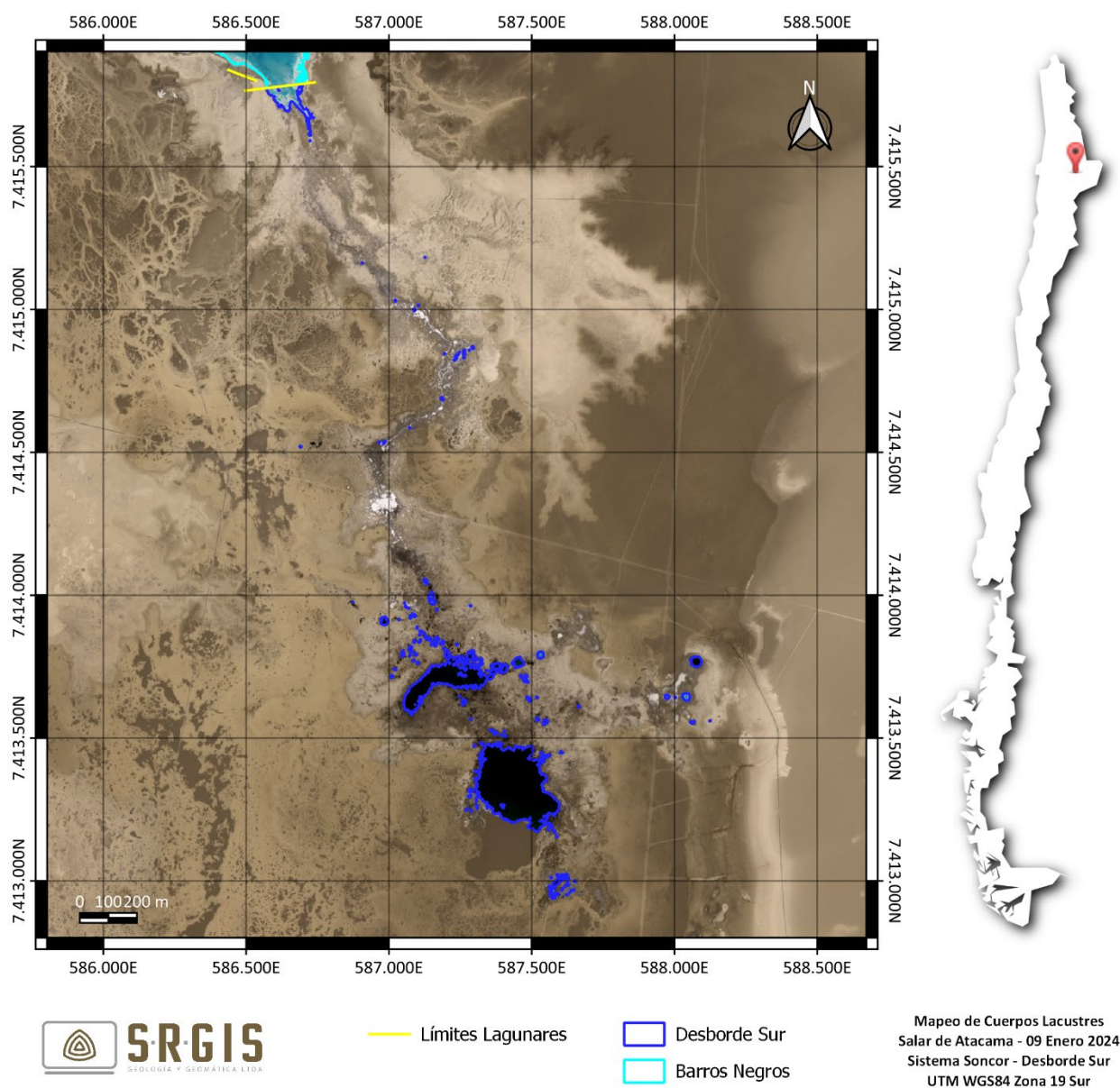


Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur.



## 5.2 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.*

<b>Cuerpo</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Salada	172.931
Canal de Recarga (Salada)	22.487
Canal de Descarga (Salada)	5.484
Saladita	85.293
Interna	35.734

### 5.2.1. 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva.

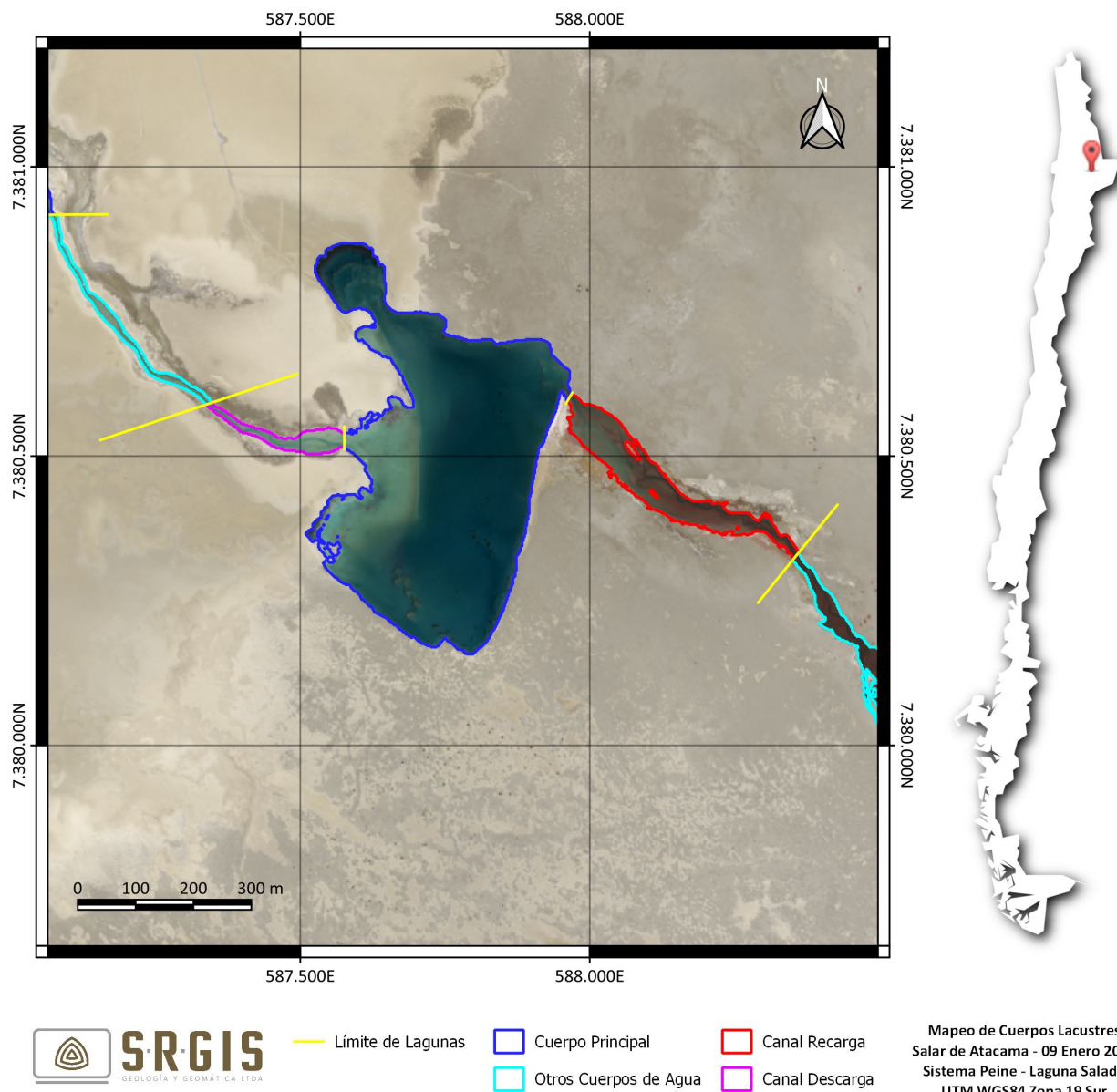


Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.

### 5.2.2. 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 sector de 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), sin embargo, no fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva.

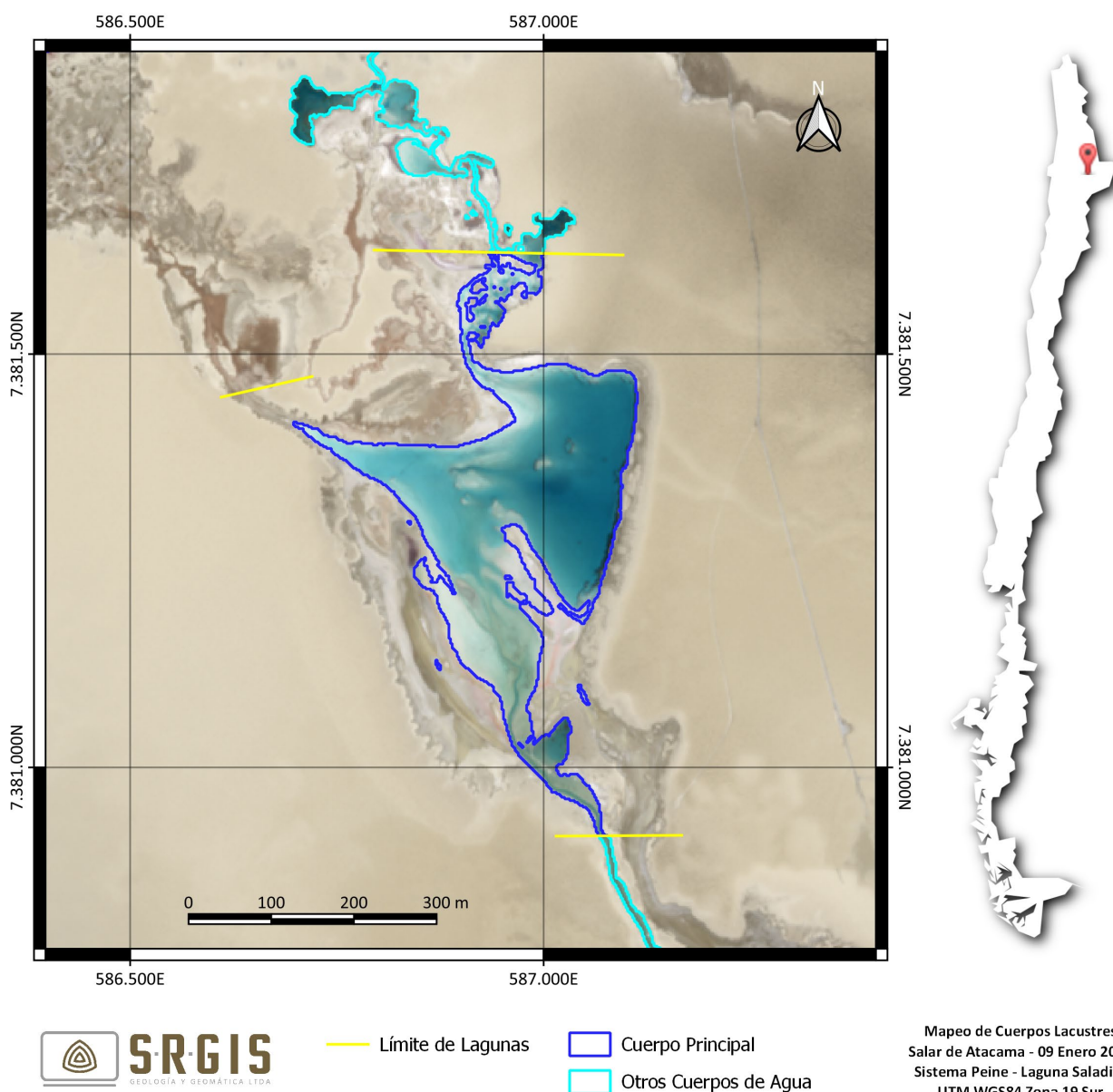


Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita.

### 5.2.3. 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. Se debe considerar que no fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, sin embargo, dada la experiencia con la comparación de puntos de control en campañas anteriores, se ha mejorado la interpretación visual cuando en zonas de difícil delimitación por índices espectrales.

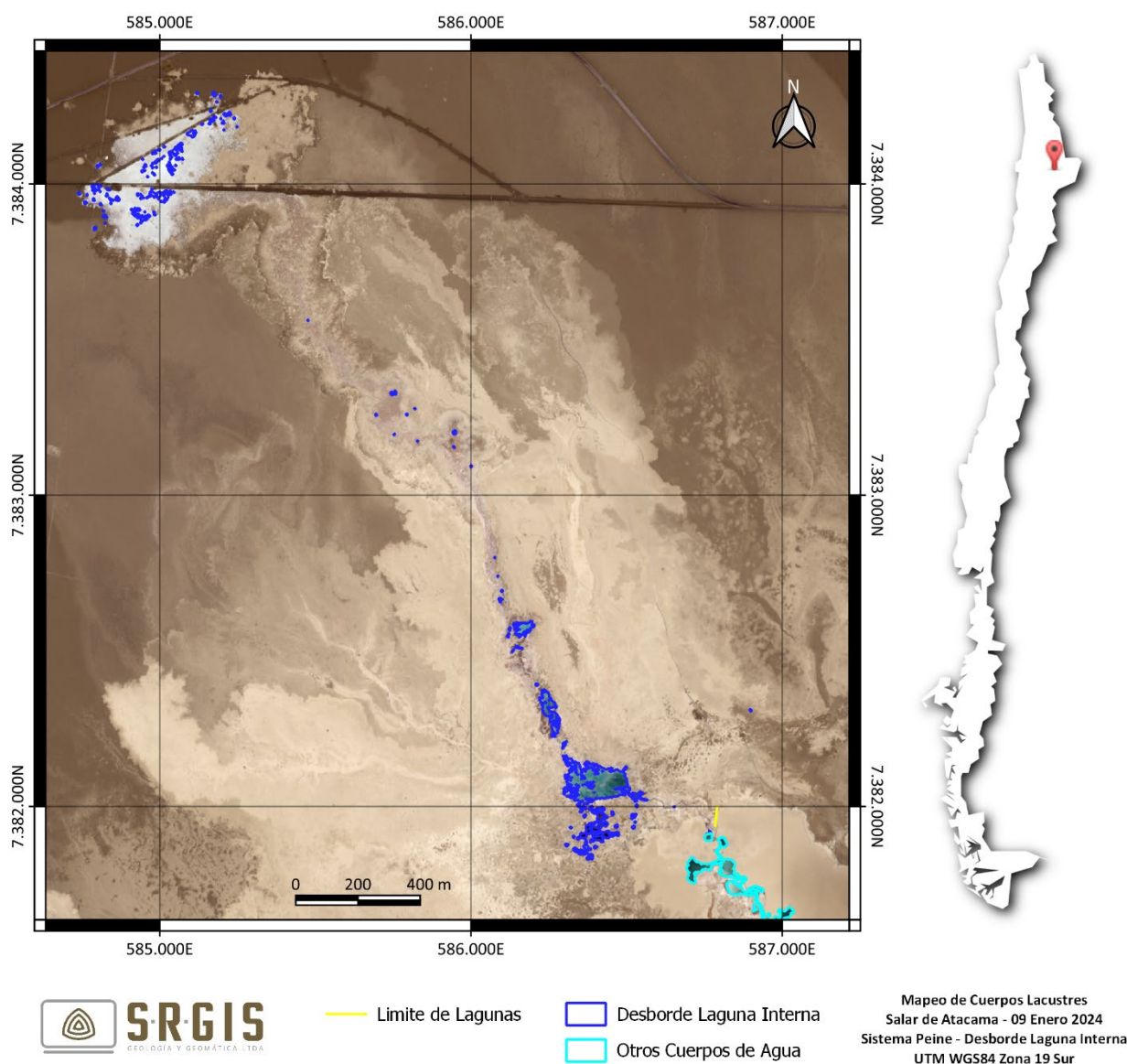


Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna.

## 7. CONCLUSIONES

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

- Laguna Chaxa : 280.335 m<sup>2</sup>
- Laguna Barros Negros : 790.765 m<sup>2</sup>
- Puilar : 62.058 m<sup>2</sup>
- Desborde Sur : 99.320 m<sup>2</sup>

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

- Salada : 172.931 m<sup>2</sup>
- Saladita : 85.293 m<sup>2</sup>
- Desborde Laguna Interna : 35.734 m<sup>2</sup>

## 8. 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



info@srgis.cl



srgisltda



+56 993 498 303

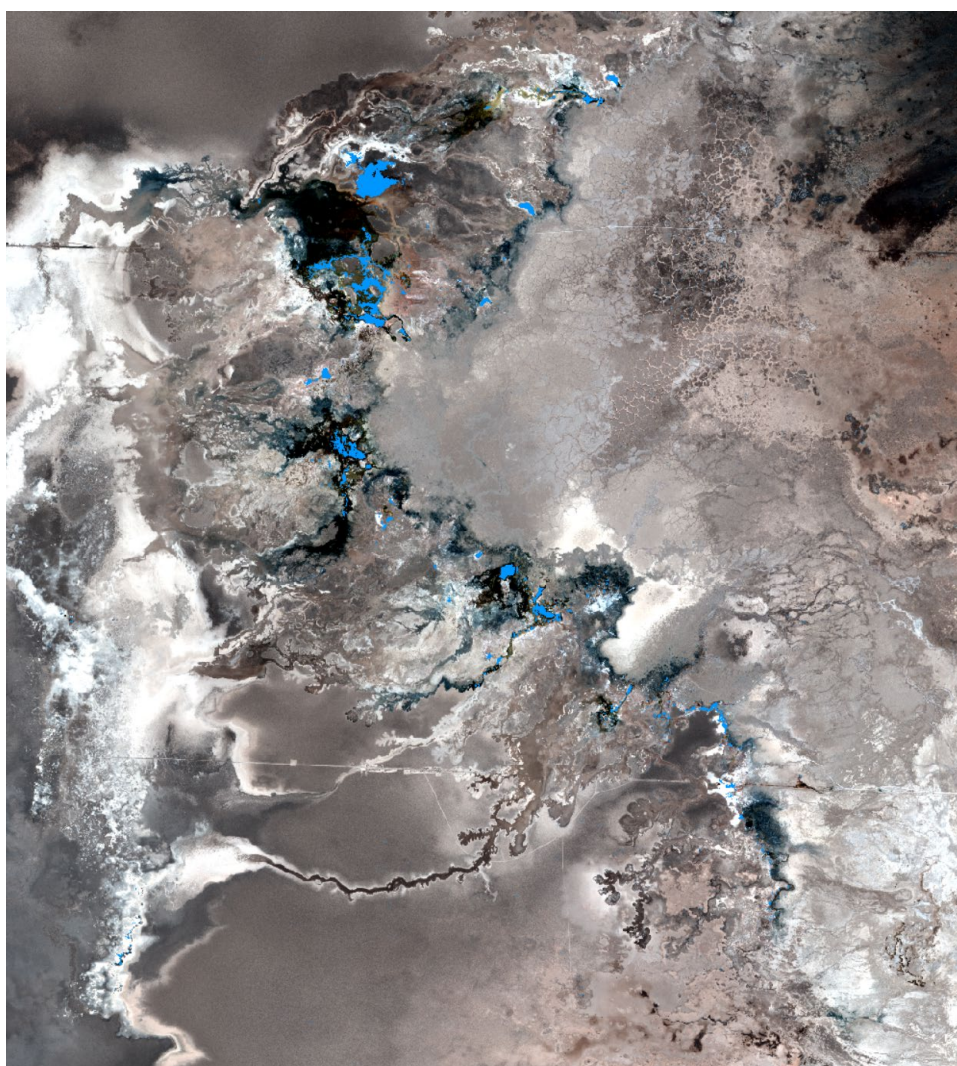


www.srgis.net



## **MAPEO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES EN AGUAS DE QUELANA SALAR DE ATACAMA**

*José Manuel Lattus – SRGIS Geología y Geomática Ltda.*



**Santiago de Chile**

**Abril 2024**

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	3
3.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	4
3.2 MATERIALES Y SOFTWARE .....	5
3.3 METODOLOGÍA .....	5
3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital.....	5
3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia) .....	6
3.3.3 Cálculo de Índices, características espectrales y sus consideraciones (NDWI, NDWI <sub>R</sub> y SAVI) .....	7
3.3.4 Clasificación Binaria .....	9
3.3.5 Pan-Sharpening (Fusión Imagen Multiespectral con Banda Pancromática) .....	10
3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento.....	10
3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas .....	10
4. PUNTOS DE CONTROL .....	11
5. RESULTADOS.....	12
6. DISCUSIÓN .....	14
7. CONCLUSIONES .....	16
8. REFERENCIAS .....	17

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia. ....	4
Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia. ....	6
Figura 3: Puntos de amarre disponibles en Aguas de Quelana. ....	7
Figura 4: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd. ....	9
Figura 5: Ejemplo de Clasificación Binaria (umbrales referenciales). Elaboración Propia. ....	10
Figura 6: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia. ....	11
Figura 7: Puntos de Control en Aguas de Quelana.....	12
Figura 8: Post proceso de edición de resultados.....	13
Figura 9: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 pixel). Elaboración Propia.....	13
Figura 10: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia. ....	14
Figura 11: Puntos de control de borde de agua que no se evidencian en la imagen satelital.....	15

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio en coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur. ....	4
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. Elaboración propia.....	5
Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua.....	13
Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de abril de 2024. Elaboración Propia.....	13

## 1. RESUMEN

El mapeo de cuerpos de agua en el sector de Quelana se realizó mediante el procesamiento de una imagen multiespectral de alta resolución WorldView-2. El sector denominado Aguas de Quelana, dentro de la reserva natural “Los Flamencos”, corresponde un sistema de múltiples cuerpos esporádicos de agua de diversos tamaños, cuyas superficies (cuerpos individuales) pueden ser de algunos pocos metros cuadrados hasta más de 40.000 m<sup>2</sup>. El mapeo de estos cuerpos se realiza mediante análisis de índices espectrales (índices de agua y vegetación), clasificación binaria y datos estadísticos de los píxeles además de una evaluación y edición manual en base a la observación de combinaciones RGB en Color Natural e Infrarrojo Color.

Para cuerpos de agua profundos, la característica espectral del agua (reflectancia de la luz en distintas longitudes de onda) es muy particular, y se identifica principalmente por su alta reflectancia en la longitud de onda del color verde y una muy baja reflectancia en la longitud de onda del infrarrojo cercano, sin embargo, para cuerpos someros de agua la influencia del material bajo ellos (suelo, sales, vegetación) altera la curva espectral debido a que la luz atraviesa la película de agua e interactúa con dichos materiales generando una curva espectral que mezcla la información del suelo y el cuerpo de agua, dificultando la diferenciación y el mapeo del agua.

El mapeo de cuerpos de agua resultó en una superficie de 129.597 m<sup>2</sup> de agua superficial en la zona de estudio.

## 2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales facilitan 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 se enfoca en el sector de Aguas de Quelana ubicado en el extremo oriental del Salar de Atacama donde afloran numerosos cuerpos lacustres de muy variados tamaños, los cuales pueden desarrollarse desde algunos m<sup>2</sup> hasta unos 40.000 m<sup>2</sup> aproximadamente. La gran variabilidad del tamaño de los cuerpos de agua, la poca profundidad de éstos y la presencia de vegetación complejizan la determinación de las superficies.

El mapeo de las superficies lacustres 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 e 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 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. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado por la consultora SRGIS Geología y Geomática Ltda., específicamente por el geólogo José Manuel Lattus, consultor en teledetección y magíster en Teledetección, para el período de abril 2024.

A continuación, se define el área de interés, así como los materiales y metodología empleados para el cálculo de superficie lagunar.



### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la II Región de Antofagasta, Chile, en el extremo oriental del Salar de Atacama en el sector denominado Aguas de Quelana, esta área se encuentra en la Reserva Nacional Los Flamencos (Figura 1). Las coordenadas del área de estudio (vértices) pueden verse en la Tabla 1.

Al sector se puede acceder por la Ruta 23 hacia el sur desde el poblado de San Pedro de Atacama o por la Ruta B-39 que sale de la Ruta 5 a la altura de Baquedano.

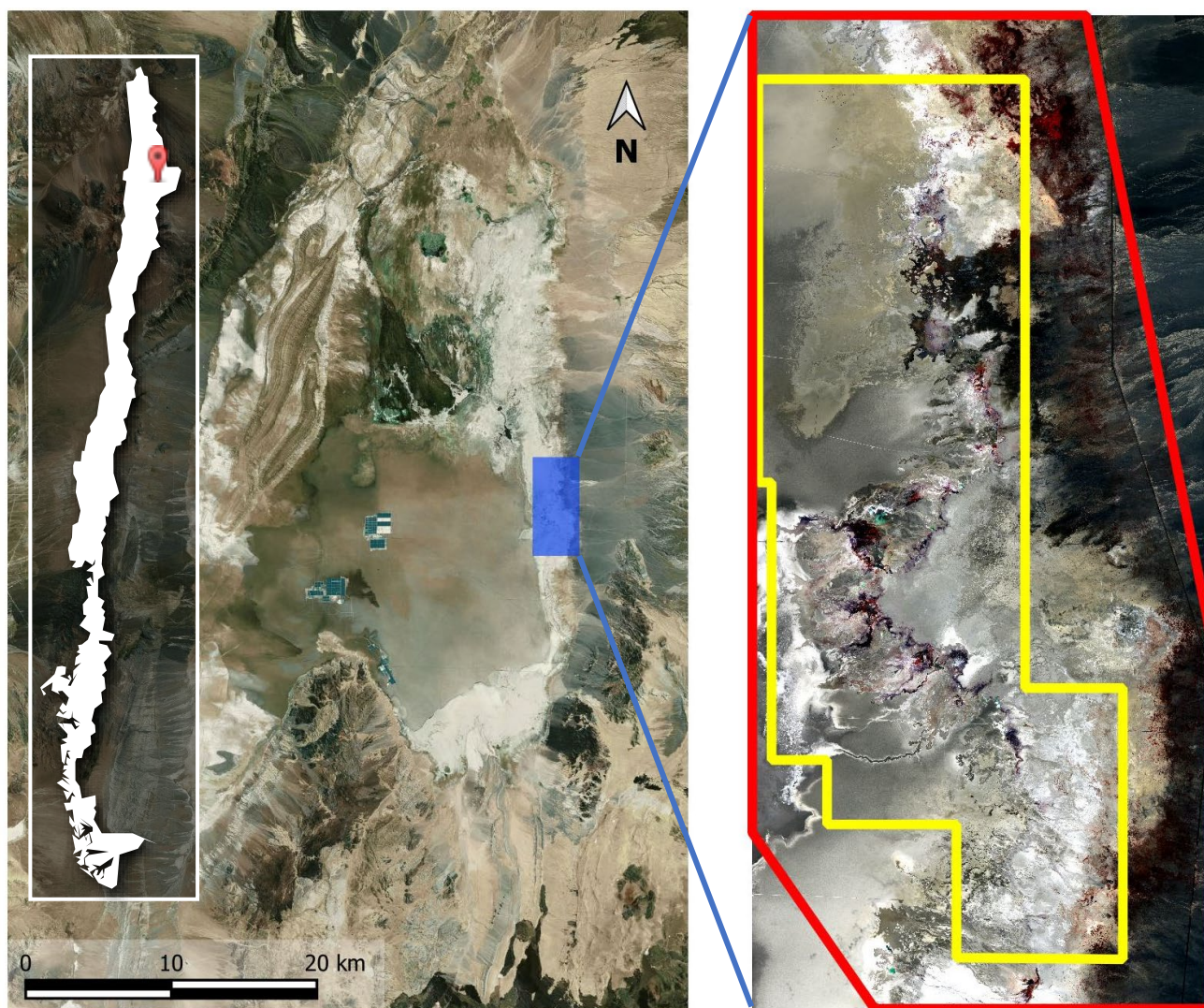


Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia.

: Área de Estudio       : Reserva Nacional Los Flamencos

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio en coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.

Este	Norte
589.804	7.413.170
594.316	7.413.170
596.022	7.404.704
596.022	7.399.743
591.458	7.399.743
589.804	7.402.124

### 3.2 MATERIALES Y SOFTWARE

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial WorldView-2 capturada el 05 de abril de 2024. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

*Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. Elaboración propia.*

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

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 6.0, software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. Todas las imágenes satelitales se trabajaron en el sistema de referencia de coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.

### 3.3 METODOLOGÍA

La medición de cuerpos de agua en la superficie consideró el cálculo de diversos índices, clasificación binaria e inspección visual, y la revisión del comportamiento de las bandas espectrales orientados a la detección y mapeo de cuerpos de agua. Los procesamiento realizados a las imágenes para el mapeo de los cuerpos lacustres son los siguientes:

1. Pre-procesamiento de la imagen satelital
2. Corrección geométrica
3. Cálculo de índices espectrales (NDWI,  $NDWI_R$  y SAVI) y consideración de características espectrales
4. Clasificación binaria
5. Fusión imagen (Pan Sharpening)
6. Control de Terreno
7. Aplicación de Máscara de Lagunas

#### 3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital

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

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:

$$L_{\lambda} = Gain \cdot ND + Offset$$

Donde:

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

Gain : es el factor de ganancia para la banda en  $\lambda$

ND : es el valor del píxel en Niveles Digitales

Offset : es el factor de pérdida para la banda en  $\lambda$

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 píxeles) son comparables con curvas espectrales de laboratorio. Tras esta corrección las imágenes se convierten de Radiancia a Reflectancia (o Reflectancia Relativa).

La Figura 2 resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.

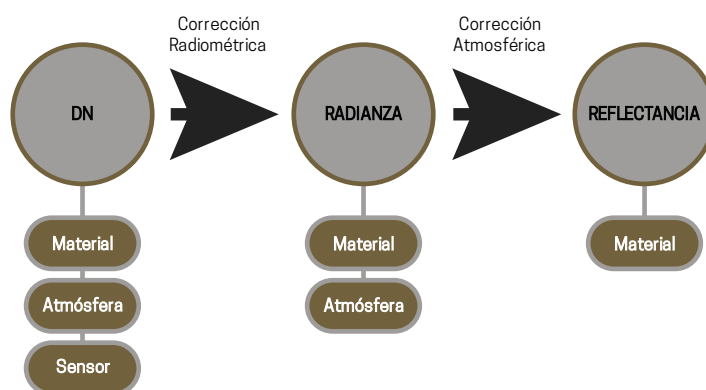


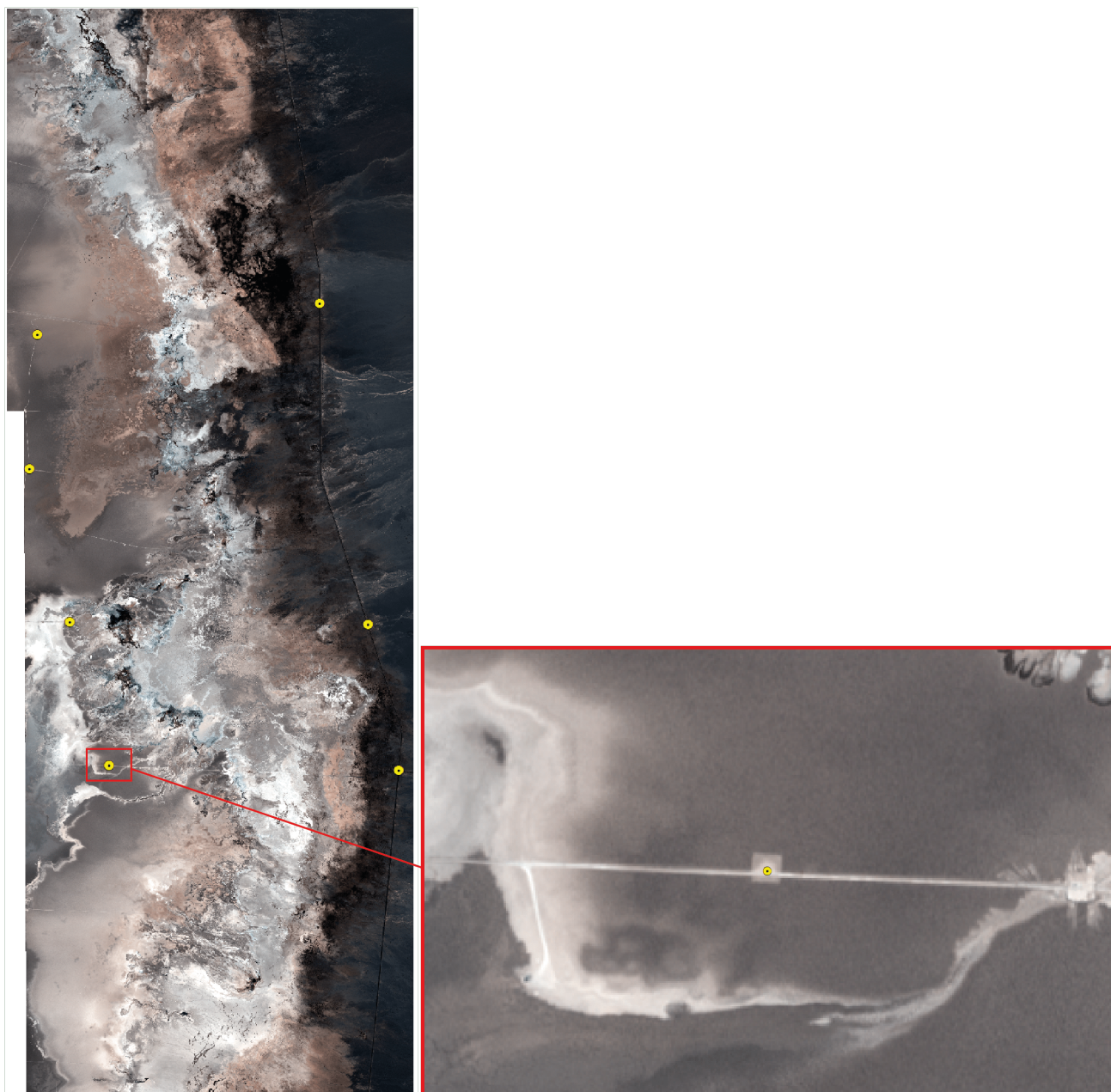
Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia.

La metodología de corrección utilizada fue la corrección “Internal Average Relative Reflectance” (IARR) ya que, para el caso del Salar de Atacama, tras varios estudios, se consideró que es la que entrega mejor resultado para el mapeo específico de cuerpos de agua. Este tipo de corrección funciona mejor para áreas áridas sin vegetación, como es el caso del área de estudio (Harris Geospatial, 2022).

### 3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia)

La ortorectificación consiste en corregir la imagen de distorsiones provocadas principalmente por la topografía, para ello se utiliza un modelo digital de elevación (DEM) y los parámetros internos de la imagen satelital (RPC). Por otro lado, la georeferencia es indicar las coordenadas precisas de algunos píxeles de la

imagen para ajustarla a su posición real, para esto se utilizaron datos de intersección de caminos conocidos e identificados en la imagen.



*Figura 3: Puntos de amarre disponibles en Aguas de Quelana.*

### **3.3.3 Cálculo de Índices, características espectrales y sus consideraciones (NDWI, $NDWI_R$ y SAVI)**

Para el mapeo y delimitación de las superficies lacustres se utilizaron los siguientes índices espectrales: Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), Índice de Agua de Diferencia Normalizada en Rojo ( $NDWI_R$ ) e Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI). A continuación, se pasa a describir cada uno de ellos:

#### **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:

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

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. Como la reflectancia del agua en la banda verde debe ser mayor a la de la banda NIR, valores mayores a cero deben ser considerados a la hora de clasificar el agua con este índice.

#### **b. Índice de Agua de Diferencia Normalizada en Rojo (NDWI<sub>R</sub>)**

Este índice es una modificación del NDWI, cambiando la banda verde por la banda roja. Para cuerpos de agua con mucho sedimento se ha utilizado este índice ya que los suelos tienen una reflectancia mayor en la longitud de onda del color rojo que en la del verde, de esta manera estos cuerpos de agua con alta carga de sedimentos no tienen su máxima reflectancia en el verde sino en el rojo, pero al estar dentro de cuerpos de agua el infrarrojo cercano sigue teniendo baja reflectancia (Gossn et al., 2019; Moore et al., 2014; Ngoc et al., 2020; Ogashawara et al., 2017). Para cuerpos de agua someros esta característica se mantiene ya que el poco espesor de la capa de agua aumenta la reflectancia del rojo sobre el verde, por lo que este índice aporta mucho al mapeo de cuerpos de agua someros. El algoritmo del NDWIR es el siguiente:

$$\text{NDWI}_R = (\text{ROJO} - \text{NIR}) / (\text{ROJO} + \text{NIR})$$

Donde:

*ROJO* : Reflectancia de la imagen en el rango espectral rojo

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

Este índice normalizado entrega valores acotados para los píxeles entre -1 y 1. Como la reflectancia del agua en la banda rojo debe ser mayor a la de la banda NIR, valores mayores a cero deben ser considerados a la hora de clasificar el agua con este índice.

#### **c. Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI)**

El índice SAVI es similar al NDVI (Rouse Jr et al., 1974), pero suprime los efectos de los píxeles del suelo. Utiliza un factor de ajuste de fondo respecto de la capa superior de la vegetación (parte de la vegetación expuesta hacia el sol directamente), "L", que es una función de la densidad de la vegetación y, a menudo, requiere un conocimiento previo de la cantidad de vegetación. Se sugiere un valor óptimo de L=0,5 para tener en cuenta las variaciones de fondo del suelo de primer orden (Teshaeiev et al., 2020). Este índice se usa mejor en áreas con vegetación relativamente escasa donde el suelo es visible a través del dosel. El algoritmo del índice SAVI es el siguiente:

$$\text{SAVI} = 1.5 * (\text{NIR} - \text{ROJO}) / (\text{NIR} + \text{ROJO} + 0.5)$$

Donde:

ROJO : es la reflectancia en el rango espectral del rojo

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

#### d. Consideraciones de Características espectrales

Todos los materiales en la superficie tienen una curva espectral única, con ciertas características particulares en ciertos rangos espectrales del espectro electromagnético. En el caso del agua, esta tiene su máxima reflectancia dentro del rango espectral del color verde, esta reflectancia baja considerablemente (tendiendo a cero) en el rango del infrarrojo cercano. La muestra las curvas espectrales de los principales elementos en la superficie en el espectro solar.

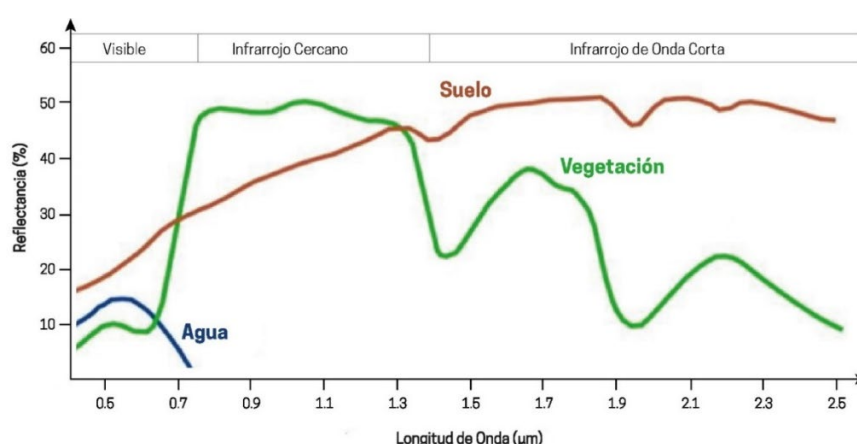


Figura 4: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd.

Bajo estas observaciones, se consideró para el mapeo de cuerpos de agua la reflectancia baja en el rango infrarrojo cercano, lo que se traduce en bajos valores de píxeles en la banda NIR. Es importante considerar que los cuerpos de agua, según su profundidad, pueden resultar en curvas espectrales un poco diferentes a lo esperado, así como el contenido de sedimentos en suspensión, sales disueltas y/o vegetación, de esta manera es que la reflectancia del verde que en general es más alta que la del rojo puede invertirse quedando el rojo con mayor reflectancia lo que justifica el uso del  $NDWI_R$ . De la misma manera se ha evidenciado que la reflectancia baja en el NIR ayuda a separar valores de  $NDWI$  altos que no corresponden a agua, como costras recién formadas, de los que si son cuerpos de agua (criterio Low NIR o Bajo NIR).

#### 3.3.4 Clasificación Binaria

Este tipo de clasificación, también conocida como “Árboles de Decisión” va segmentando la imagen en distintos pasos: todos los píxeles de la imagen se enfrentan a una condición lógica la cual segmenta la imagen en dos clases, los píxeles que cumplen la condición y los que no la cumplen. Estas condiciones son, por ejemplo:  $NDWI \geq X$ , donde  $X$  es el valor partir del cual se considera que dicho píxel corresponde a una cobertura de agua. Cada clase generada se puede convertir en un nuevo nodo con una nueva condición que deben cumplir los píxeles que se clasificaron para volver a segmentarlos en dos clases nuevas (Figura 5).

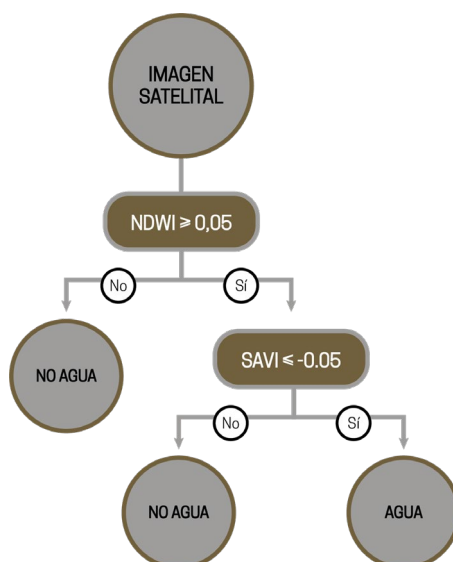


Figura 5: Ejemplo de Clasificación Binaria (umbrales referenciales). Elaboración Propia.

### 3.3.5 Pan-Sharpening (Fusión Imagen Multiespectral con Banda Pancromática)

Este proceso mejora visualmente el detalle de los datos multiespectrales con la banda pancromática debido a que ésta última tiene una resolución espacial mejor que la multiespectral. Es importante señalar que la radiancia medida por el sensor en cada longitud de ondas (azul, rojo, verde e infrarrojo cercano) se encuentra en los datos multiespectrales y que la banda pancromática abarca un rango espectral amplio (desde el azul al infrarrojo cercano) por lo que se recomienda que estos datos fusionados se utilicen de manera estética y para análisis visuales y no procesamientos espectrales.

Para el proceso de PanSharpen, ambas imágenes deben estar corregidas geométricamente para un calce perfecto entre ellas, sin embargo, la corrección radiométrica y atmosférica no es necesario aplicarla a la imagen pancromática, ya que solo se necesita su resolución espacial y no el valor del píxel en reflectancia. Este proceso se realiza utilizando la herramienta de NNDiffuse PanSharpening de ENVI (Sun et al., 2014).

### 3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento

La máscara de lagunas es un archivo digital que posee los límites de las áreas de interés para los diferentes sistemas lagunares. El área seleccionada para el procesamiento en Aguas de Quelana corresponde al “Área de Estudio” indicada en la Figura 1.

### 3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas

Utilizando los índices espectrales, las características de las curvas espectrales y la imagen índice de la clasificación supervisada se procedió al mapeo de los cuerpos de agua visibles en la superficie. La Figura 6 muestra el esquema de procesamiento para el mapeo de los cuerpos lagunares utilizando todas las variables consideradas en este estudio.



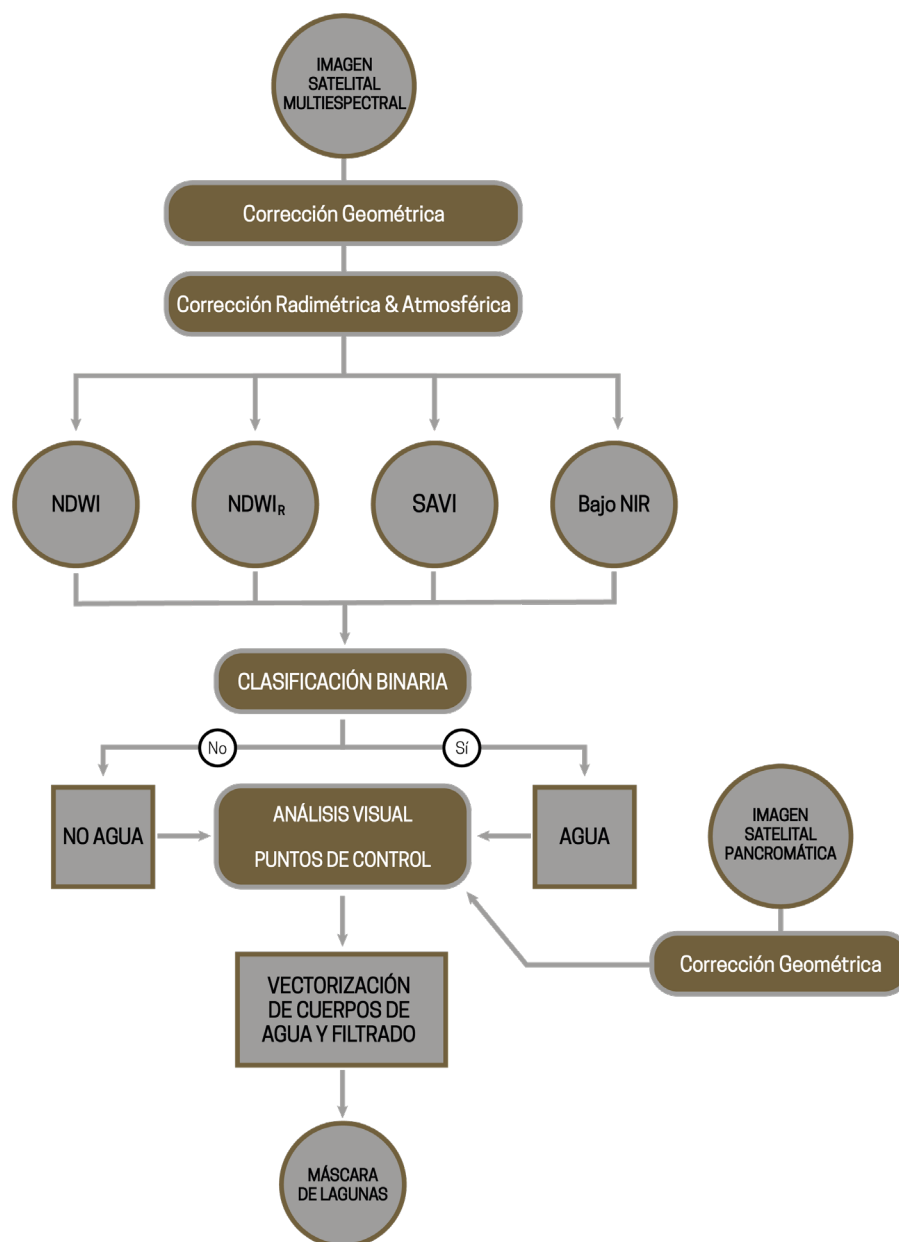


Figura 6: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia.

#### 4. PUNTOS DE CONTROL

Para la campaña de abril 2024, se realizó una campaña de puntos de control de terreno donde se definieron puntos de borde de agua (Figura 7), en cada punto se indica la coordenada específica del punto de control, la cota y observaciones sobre la presencia y espesor de cuerpos de agua; se adjunta también una fotografía orientada y videos el 360° para tener un respaldo de la situación en terreno y poder mejorar el análisis de la imagen satelital; este trabajo fue realizado por la consultora ATyGeo los días 11, 15 y 16 de abril de 2024.

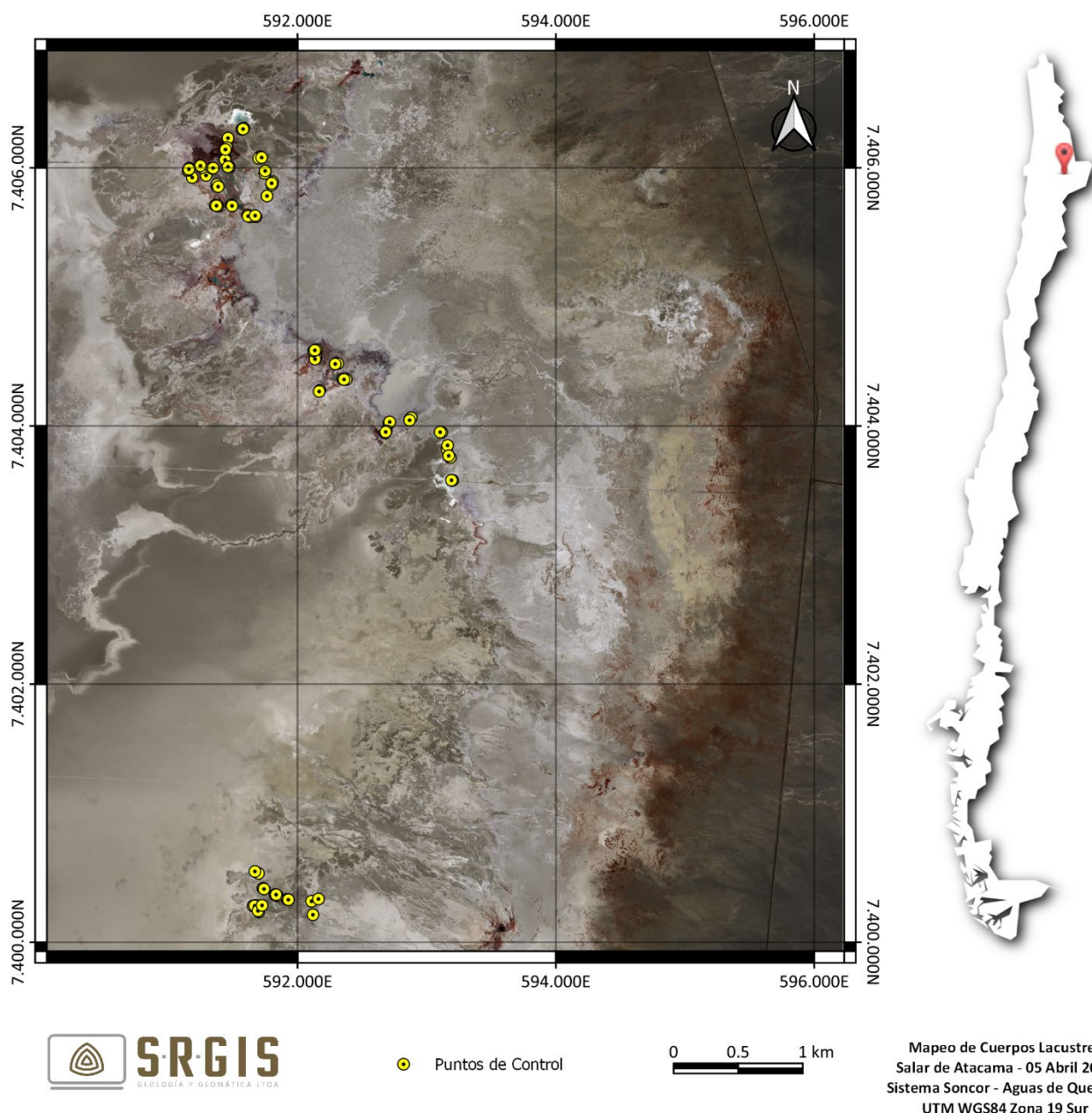


Figura 7: Puntos de Control en Aguas de Quelana

## 5. RESULTADOS

Para obtener el resultado final del mapeo de cuerpos de agua se realizan dos etapas posteriores importantes al mapeo inicial. El resultado inicial (mapeo inicial) es el resultado de la clasificación binaria por medio del uso de índices y consideraciones espectrales, el cual pasa por un proceso de inspección visual y edición donde se agregan cuerpos de agua que no fueron mapeados, así como se eliminan píxeles que inicialmente se clasificaron como agua pero se identifica que no lo son (mapeo editado); este paso es sensible ya que está sujeto a la interpretación del consultor de determinar cuáles cuerpos mapeados inicialmente no se consideran como cobertura de agua, cuáles cuerpos de agua no se mapearon por la clasificación y deben agregarse al resultado, y la edición de otros cuerpos (extenderlos o disminuirlos), en esta etapa la existencia de puntos de control es fundamental para tomar decisiones respecto de la extensión de los cuerpos de agua. Luego, debido que el mapeo inicial tiene bastante ruido, se realiza un proceso de filtrado donde se eliminan todos los píxeles

aislados, o con un área mínima, mapeados como cuerpos de agua (mapeo filtrado). De esta manera tenemos tres resultados distintos: Mapeo Inicial, Mapeo Filtrado y Mapeo Final (Figura 8).



Figura 8: Post proceso de edición de resultados

El proceso de filtrado consiste eliminar píxeles aislados, el cual se aplica considerando que un píxel aislado no es representativo del mapeo y representa más el ruido del proceso que cuerpos de agua en sí (Figura 9). Para este trabajo se mantendrán cuerpos de agua que sean mayores o iguales a 2 píxeles.

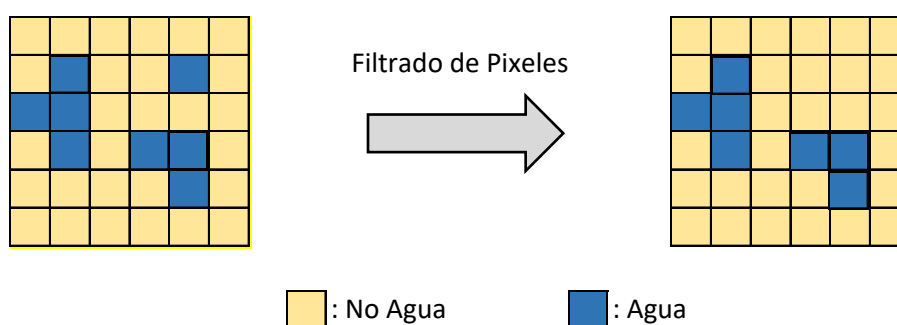


Figura 9: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 píxel).  
Elaboración Propia.

La Tabla 3 resume los parámetros utilizados en la clasificación binaria para el mapeo de los cuerpos de agua.

Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua

SISTEMA	NDWI	NDWI <sub>R</sub>	SAVI	NIR
AGUAS DE QUELANA	$\geq 0,050$	$\geq 0,075$	$\leq -0,050$	$0,075$

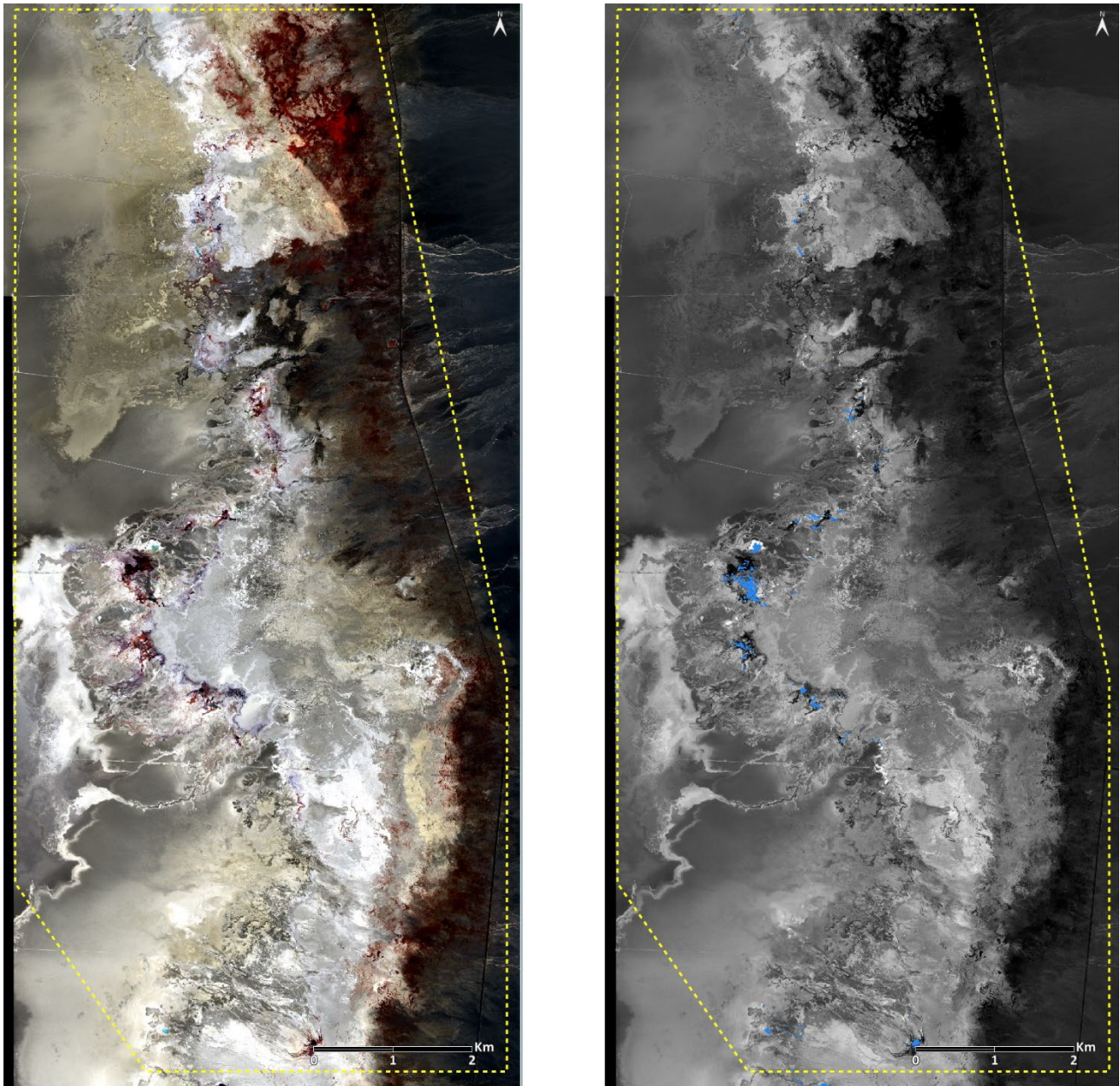
El área mapeada para la imagen de abril 2024 puede verse en la Tabla 4.

Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de abril de 2024. Elaboración Propia.

Fecha	Mapeo Inicial (m <sup>2</sup> )	Mapeo Editado (m <sup>2</sup> )	Mapeo Final (m <sup>2</sup> )
05-04-2024	54.324	130.168	129.597

La Figura 10 muestra el resultado final del mapeo en Aguas de Quelana.





*Figura 10: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia.*

## 6. DISCUSIÓN

Hay una importante diferencia entre el mapeo semiautomático (mapeo inicial) con el mapeo final, esto se debe a que se prioriza el mapeo de cuerpos efectivos de agua al inicio, al modificar los umbrales para los índices se mapeaban más cuerpos de agua, pero también aparecen muchos falsos positivos; en la edición manual es más eficiente agregar nuevos cuerpos de agua que eliminar mapeos que no corresponden a agua. Por otra parte, se pudo contar con puntos de control de terreno para mejorar la interpretación en algunos sectores de la zona de estudio, estos fueron tomados los días 11, 15 y 16 de abril por la consultora ATyGEO.

Se detectó que algunos de los puntos tomados los días 15 y 16 de abril no coincidían con cuerpos identificables en la imagen satelital, esto es probablemente debido los 10 días que pasaron desde la captura de la imagen hasta la toma de puntos de control, y conociendo la dinámica de la zona que estamos en un período de aumento de la extensión lagunar hasta julio/agosto. Esto puede observarse en la zona oriental de la Figura 11



donde aparecen puntos de control de borde de agua y no se observan cuerpos de agua en la imagen. Observando la foto del punto QL19 (15 abril), puede evidenciarse que son apenas películas de agua sobre la costra salina que deben comenzar a aflorar en el lapso entre la fecha de la imagen y la de la campaña de terreno (se indica un espesor de 1 cm de la columna de agua).



*Figura 11: Puntos de control de borde de agua que no se evidencian en la imagen satelital. La fotografía corresponde al punto PC\_QL19 (591.753,24 E; 7.405.776,74 N), tomada el 15-04-2024 con un azimut de 346°.*

En la parte central y occidental de la Figura 11, hay coincidencia entre el borde lagunar de la imagen y los puntos de control, lo mismo ocurre en el resto de los puntos de control fuera de la imagen de ejemplo.



## 7. CONCLUSIONES

La metodología utilizada para el mapeo de cuerpos de agua en Aguas de Quelana considera las características espectrales del agua, así como consideraciones particulares de la zona como la restricción espacial donde afloran estos cuerpos y un porcentaje bajo de cobertura de agua respecto del total de la zona de estudio.

El mapeo de la cobertura total de agua está relacionado al tamaño y profundidad de los cuerpos de agua. Los posibles errores en la clasificación de los materiales (“Agua” y “No Agua”) están condicionado a la validación realizada mediante interpretación visual la cual se depura de mejor manera con la presencia de puntos de control. Por medio del procesamiento de imágenes en fechas anteriores y sus respectivos puntos de control, se ha generado un aprendizaje para poder incorporar cuerpos de agua que no se detectan con los índices debido a mezclas espectrales (agua y vegetación). La captura de puntos de terreno con la información correspondiente en una fecha lo más cercana a la captura de la imagen satelital, mejora sustancialmente la delimitación de cuerpos de agua en la zona de estudio y ya se han identificado zonas específicas donde esta información se vuelve más importante por zonas de cuerpos de agua someros, algas en cuerpos de agua y otras zonas donde la imagen no releva con total certeza la existencia de cuerpos de agua. Para esta captura de puntos de control de terreno no se logró que la fecha la campaña de terreno coincidiera con la captura de la imagen, sino que se tomaron puntos 6, 10 y 11 días después, es importante poder alinear este tipo de esfuerzos con el objetivo de una mejor comprensión del comportamiento de cuerpos lagunares en Aguas de Quelana

## 8. REFERENCIAS

- Gossn, J. I., Ruddick, K. G., & Dogliotti, A. I. (2019). Atmospheric correction of OLCI imagery over extremely turbid waters based on the red, NIR and 1016 nm bands and a new baseline residual technique. *Remote Sensing*, 11(3), 220.
- Harris Geospatial. (2022). *ENVI 5.6 Help*.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- 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.
- Moore, T. S., Dowell, M. D., Bradt, S., & Verdu, A. R. (2014). An optical water type framework for selecting and blending retrievals from bio-optical algorithms in lakes and coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 143, 97–111.
- Ngoc, D. D., Loisel, H., Vantrepotte, V., Chu Xuan, H., Nguyen Minh, N., Verpoorter, C., Meriaux, X., Pham Thi Minh, H., Le Thi, H., & Le Vu Hong, H. (2020). A simple empirical band-ratio algorithm to assess suspended particulate matter from remote sensing over coastal and inland waters of vietnam: Application to the VNREDSat-1/NAOMI sensor. *Water*, 12(9), 2636.
- Ogashawara, I., Li, L., & Moreno-Madriñán, M. J. (2017). Slope algorithm to map algal blooms in inland waters for Landsat 8/Operational Land Imager images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 12005.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.
- Sun, W., Chen, B., & Messinger, D. W. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53(1), 13107.
- Teshaev, N., Mamadaliyev, B., Ibragimov, A., & Khasanov, S. (2020). The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan. *ICIGIS*, 26, 324–333.

José Manuel Lattus

SRGIS Geología & Geomática Ltda.



srgis



info@srgis.cl



srgisltda



+56 993 498 303



www.srgis.net

Cálculo de superficies lacustres

Campaña abril de 2024

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

**Región de Antofagasta**



**Abril 2024**

## 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.....	16
4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies .....	17
5. PUNTOS DE CONTROL .....	20
6. RESULTADOS.....	21
7. CONCLUSIONES .....	30
8. REFERENCIAS .....	32

### INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S).....	6
Figura 2: Imagen WorldView-2 Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.....	7
Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua .....	8
Figura 4: Ubicación de Puntos de Control de Amarre en SONCOR y PEINE .....	9
Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones .....	11
Figura 6: <b>(a)</b> Combinación RGB Infrarrojo Color de las imagen multiespectral original (resolución de 2 metros), <b>(b)</b> Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y <b>(c)</b> Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multiespectral fusionada con la banda Pancromática .....	11
Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha) .....	12
Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los pixeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)..	13
Figura 9: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE .....	14
Figura 10: TSAVI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha) .....	15
Figura 11: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha) .....	16

Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE.....	17
Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor.....	19
Figura 14: Límites de las lagunas en el sistema Peine .....	20
Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa. ....	22
Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros. ....	23
Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.....	24
Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur. ....	25
Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.....	27
Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita. ....	28
Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna. ....	29

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, abril 2024. Elaboración Propia. ....	4
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2.....	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. ....	16
Tabla 5: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Soncor.....	18
Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna en el sistema Peine .....	19
Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR. ....	21
Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.....	26



## 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 abril 2024 representado en una imagen satelital capturada el día 05 de abril del mismo año.

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 abril 2024.

*Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, abril 2024. Elaboración Propia.*

Sistema	Nombre del Cuerpo de Agua	Superficie del espejo de agua (m <sup>2</sup> )
Soncor	Chaxa	275.850
	Barros Negros (Cuerpo Principal)	824.777
	Puilar	61.931
	Desborde Sur	94.786
Peine	Salada (Cuerpo Principal)	170.994
	Saladita	81.967
	Interna	56.938

## 2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales nos ayudan con la observación superficial de los elementos que cubren la superficie de cualquier terreno, en este caso, nos 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.

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 abril del año 2024. 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).

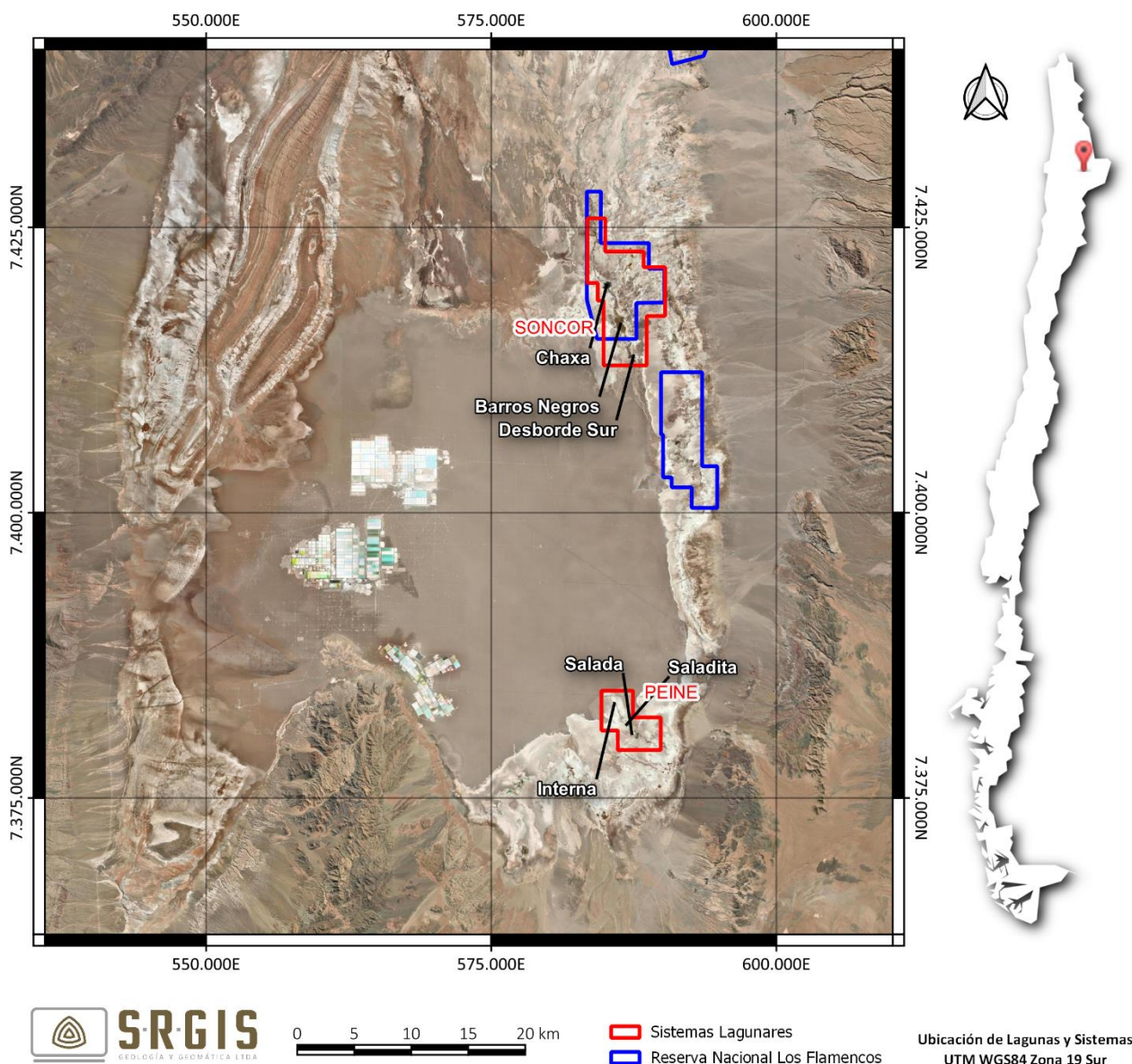


Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S). Elaboración propia.

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

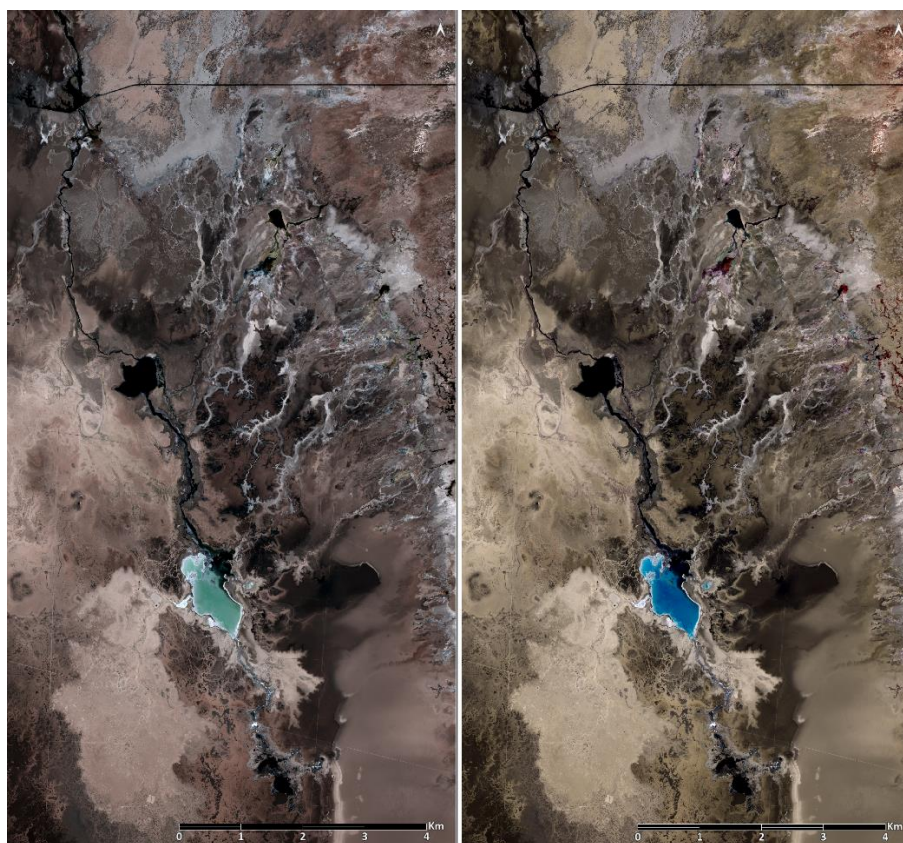
Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial que posee píxeles que cubren un área de 4 m<sup>2</sup> por píxel (2 x 2 m) para las bandas multispectrales y que además posee una banda pancromática que cubre un área de 0,25 m<sup>2</sup> por píxel (0,5 x 0,5 m). La imagen corresponde al sensor

WorldView-2 y fue capturada el día 05 de abril de 2024. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

*Tabla 2: Principales características de la imagen 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 6.0 (NV5 Geospatial), software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. La confección de mapas se realizó en el software QGIS 3.22.

#### **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 multiespectral 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”.

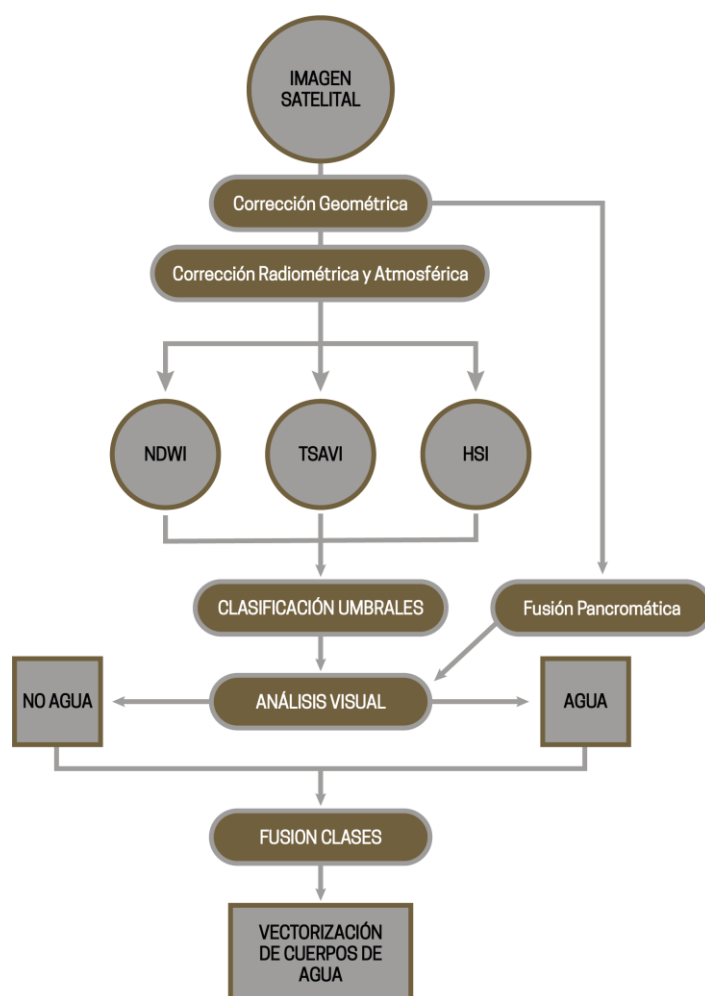


Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.

##### 4.5.1. Análisis de Imágenes Satelitales

Se realizó la solicitud de captura de una imagen satelital de alta resolución para el mes de abril de 2024 por la constelación de satélites de la compañía MAXAR, obteniéndose una imagen WorldView-2 del día 05 de abril. 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 6.0) 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 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.

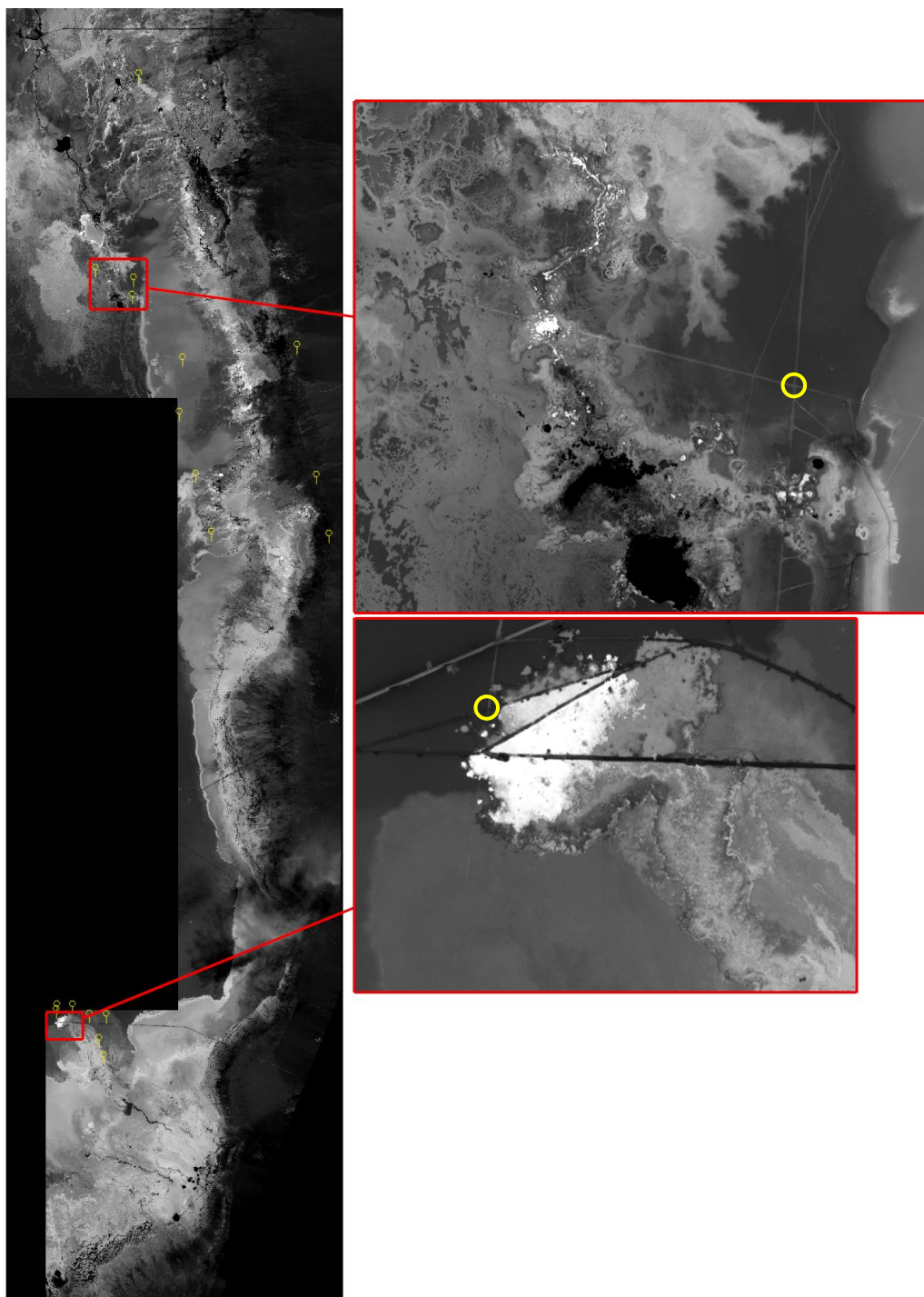


Figura 4: Ubicación de Puntos de Amarre en SONCOR y PEINE

#### 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 ( $W/(m^2 sr \mu m)$ )

$K_{\lambda}$  : son los niveles digitales de pixeles de la imagen satelital.

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

$\Delta_{\lambda}$  : es el ancho de banda efectivo ( $\mu m$ )

##### 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.

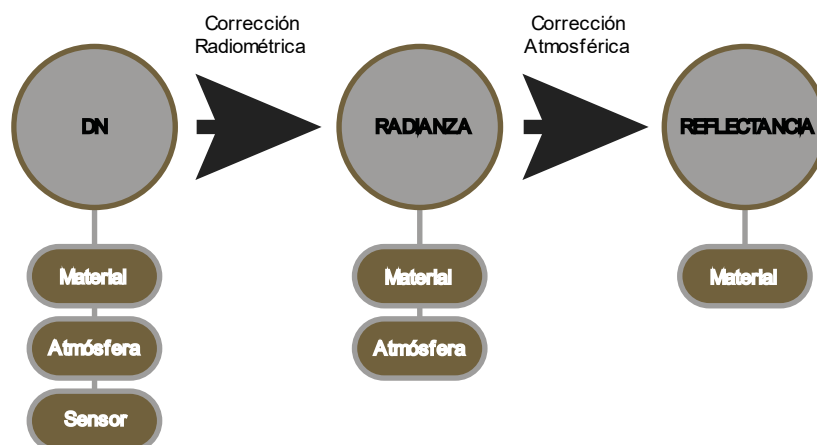


Figura 5: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.

#### 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 6.0 (Sun et al., 2014).

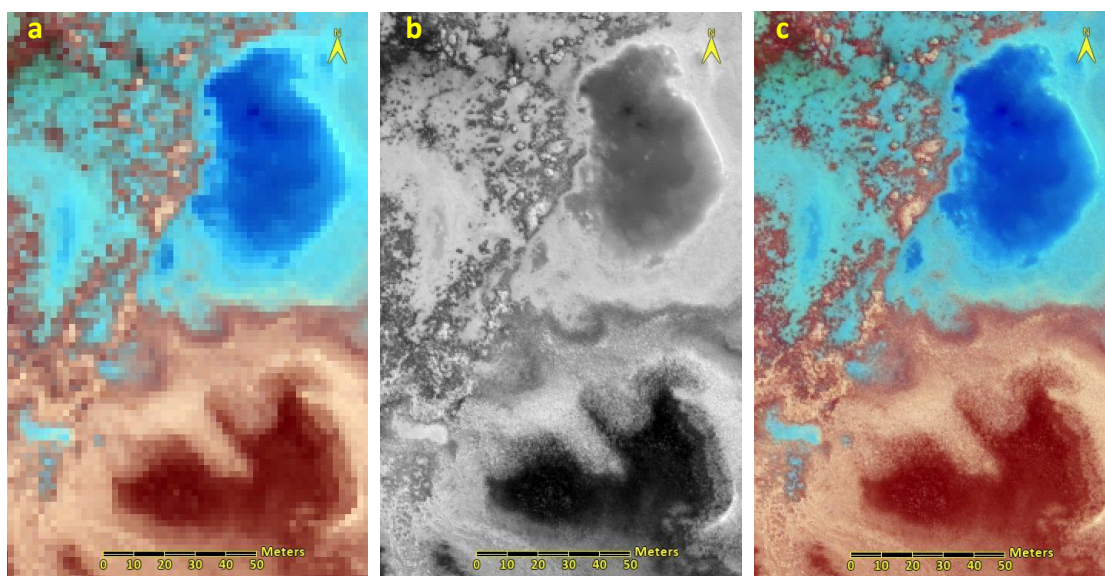


Figura 6: **(a)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen multispectral original (resolución de 2 metros), **(b)** Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y **(c)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multispectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.

#### 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.

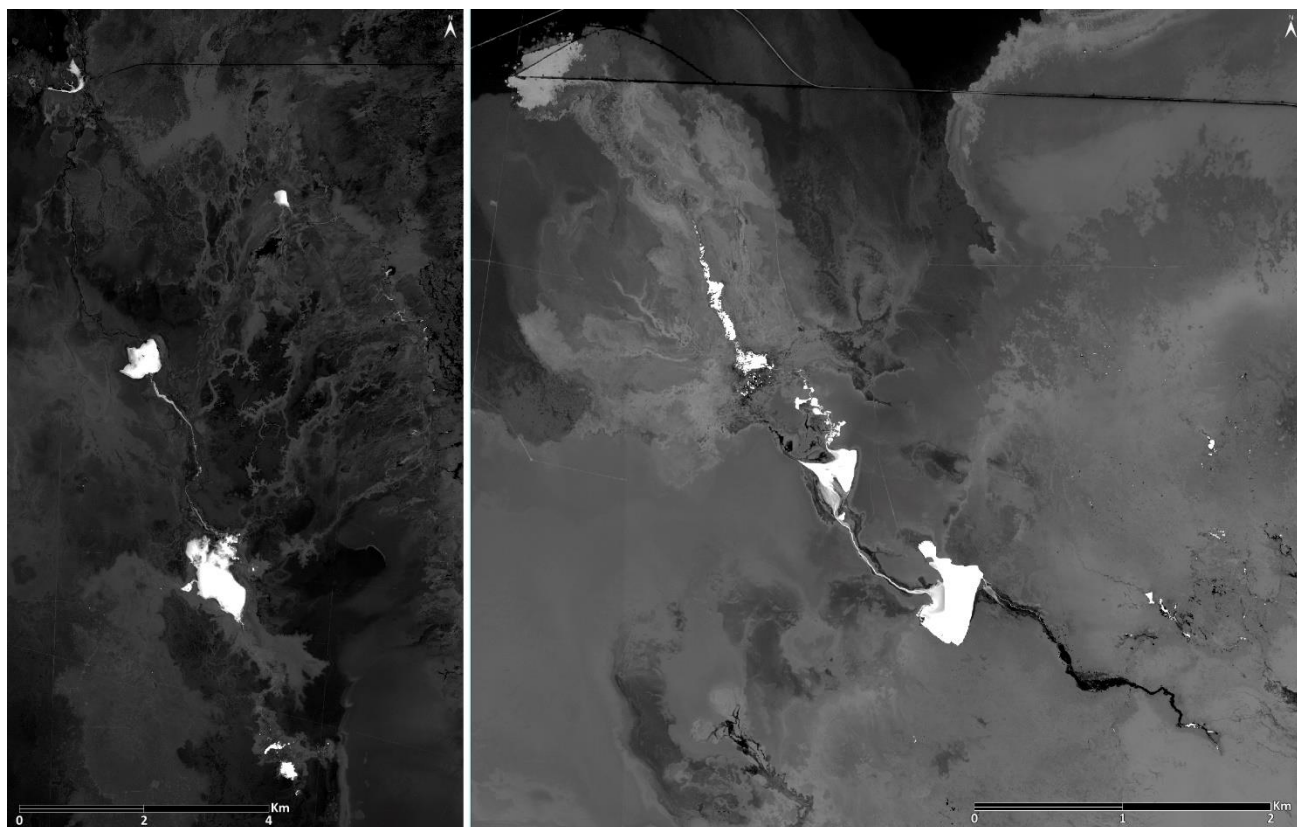


Figura 7: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

#### **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 NIR y en el eje Y la banda roja, 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.

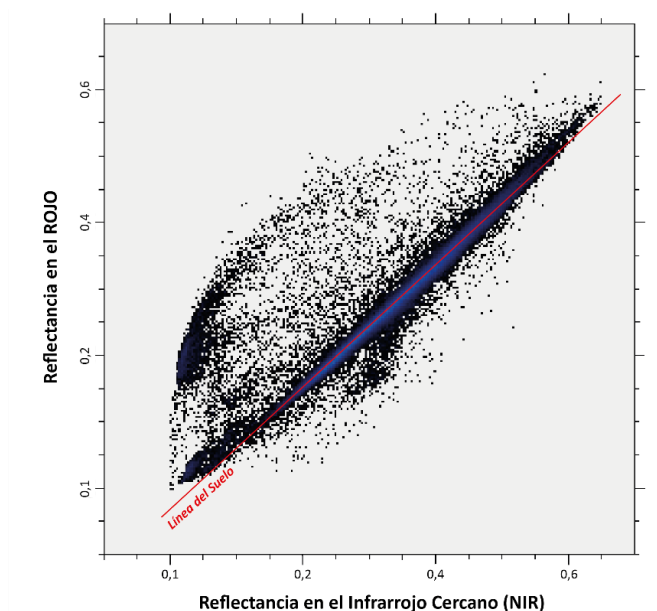


Figura 8: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)

La Figura 9 muestra los diagramas de dispersión del suelo en las bandas NIR (eje X) y ROJA (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.



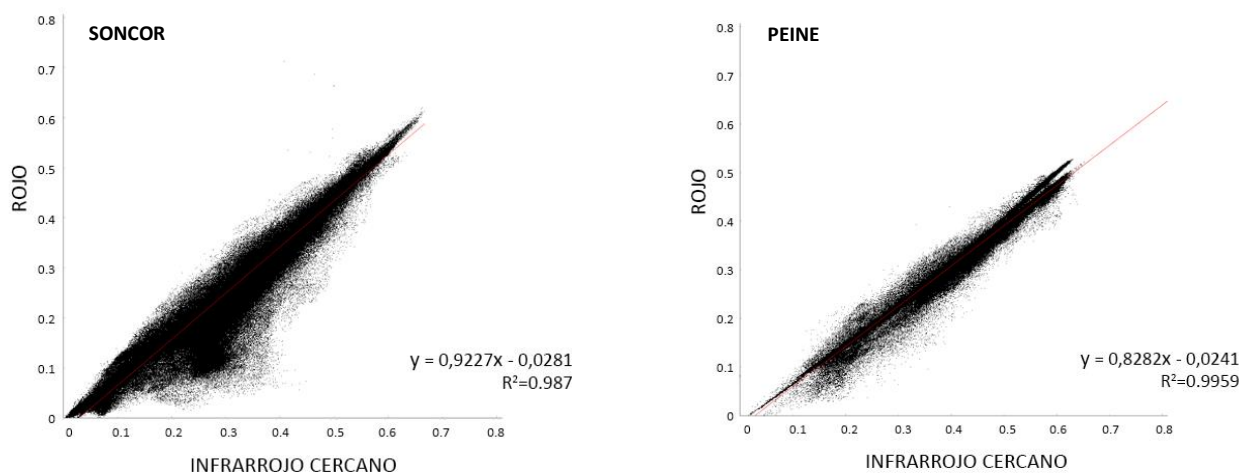
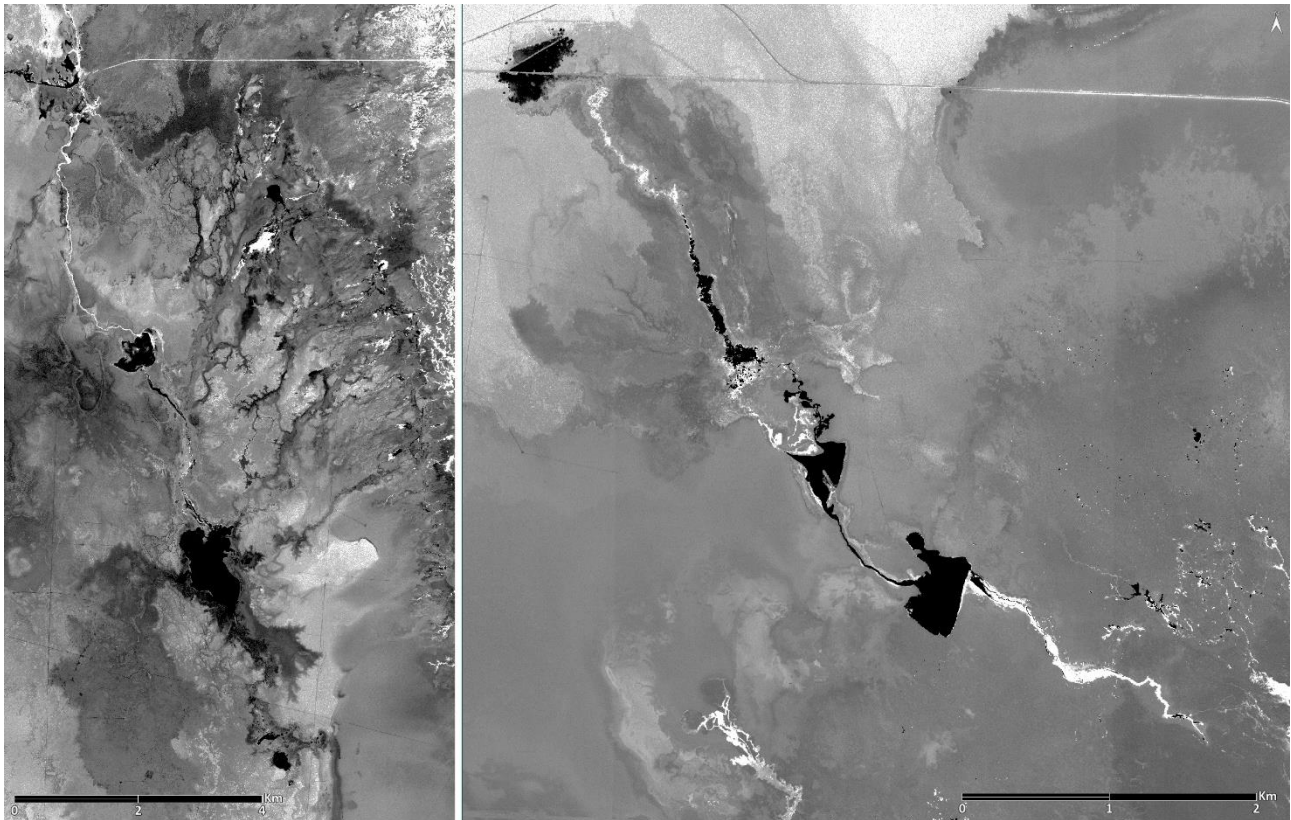


Figura 9: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE

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	0.9227	- 0.0281
PEINE	0.8282	- 0.0241



*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.

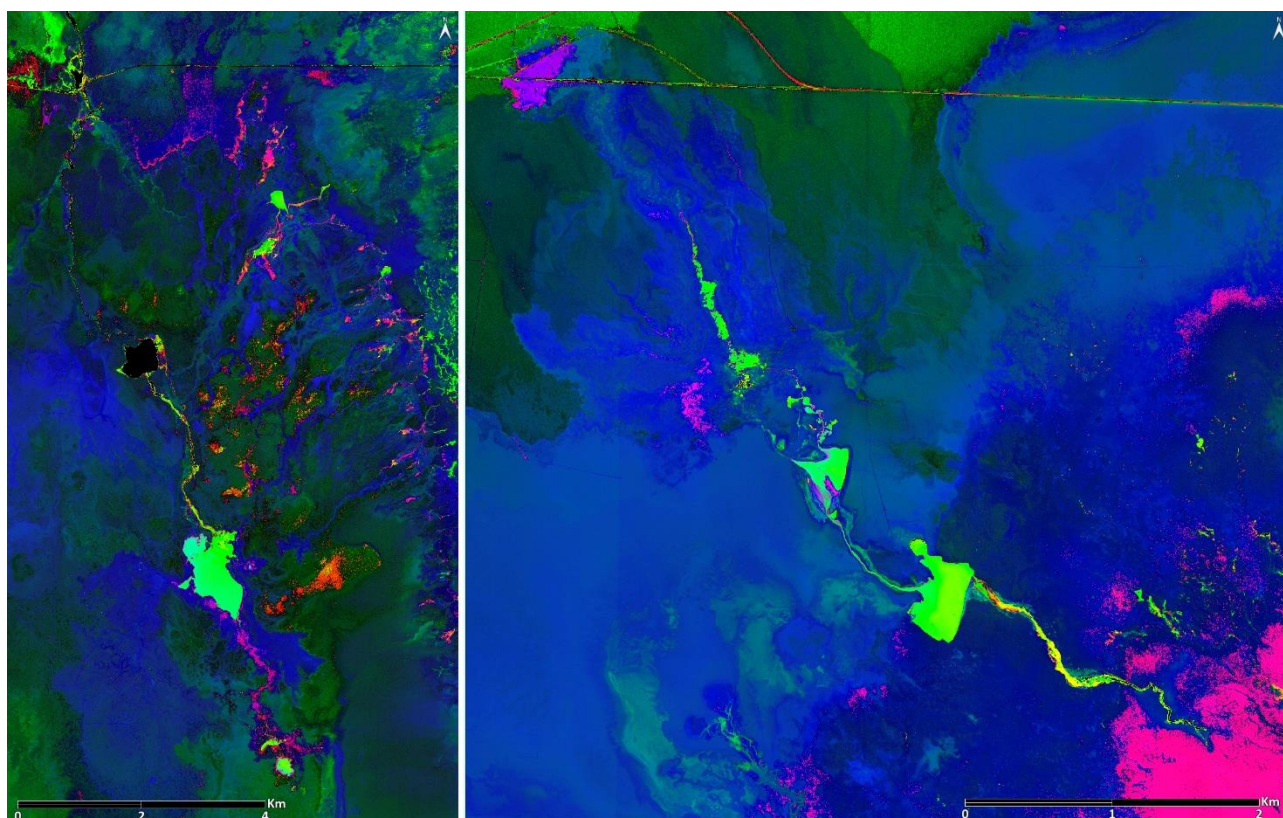


Figura 11: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

#### 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	≥ -0.100	≤ 0.075	≤ N/A	≥ N/A
PEINE	≥ -0.125	≤ 0.125	≤ 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.

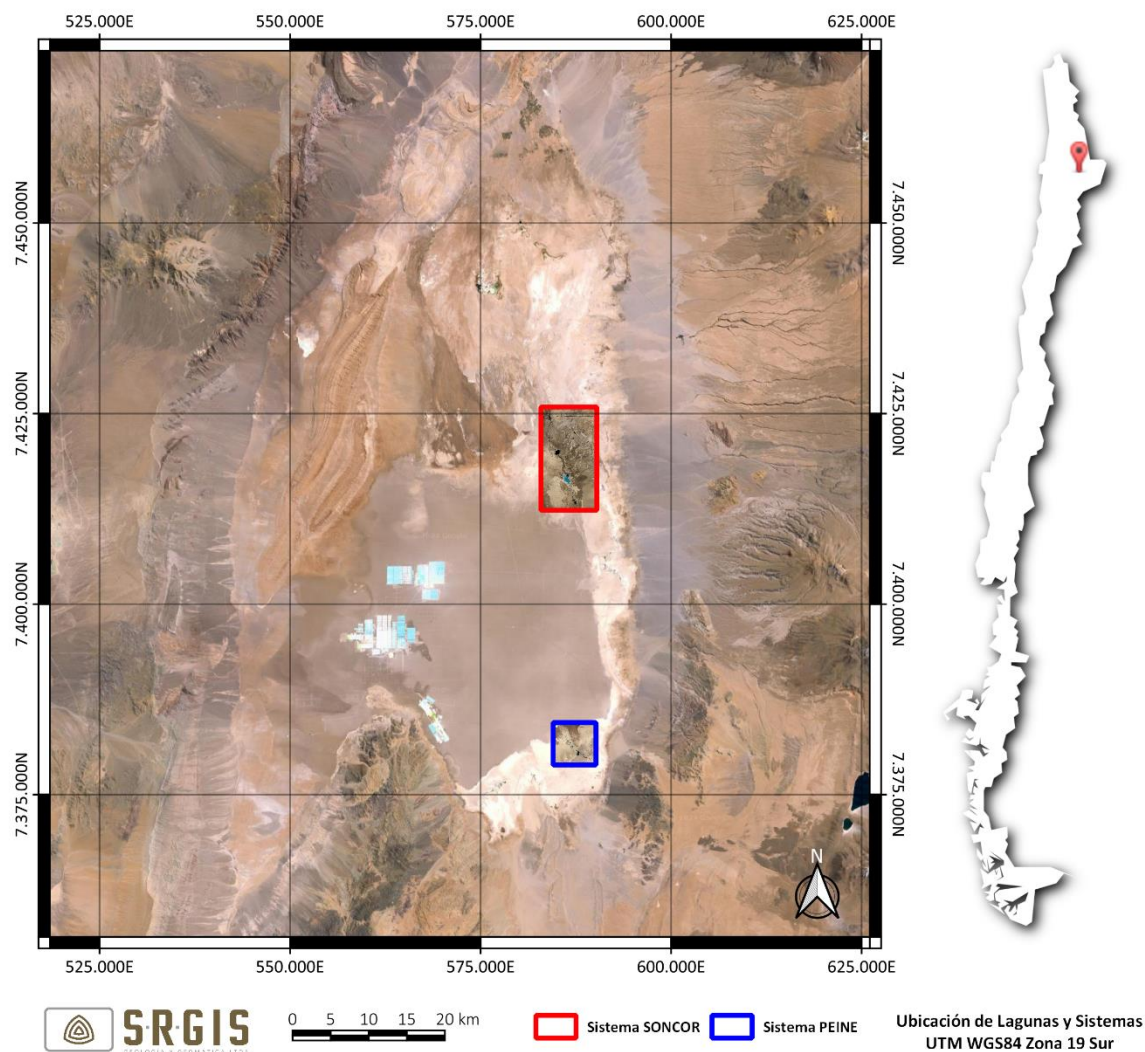


Figura 12: Límites de análisis ráster para cada laguna en los sistemas SONCOR y PEINE.

#### 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 delimitan los límites de cada laguna Enel 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



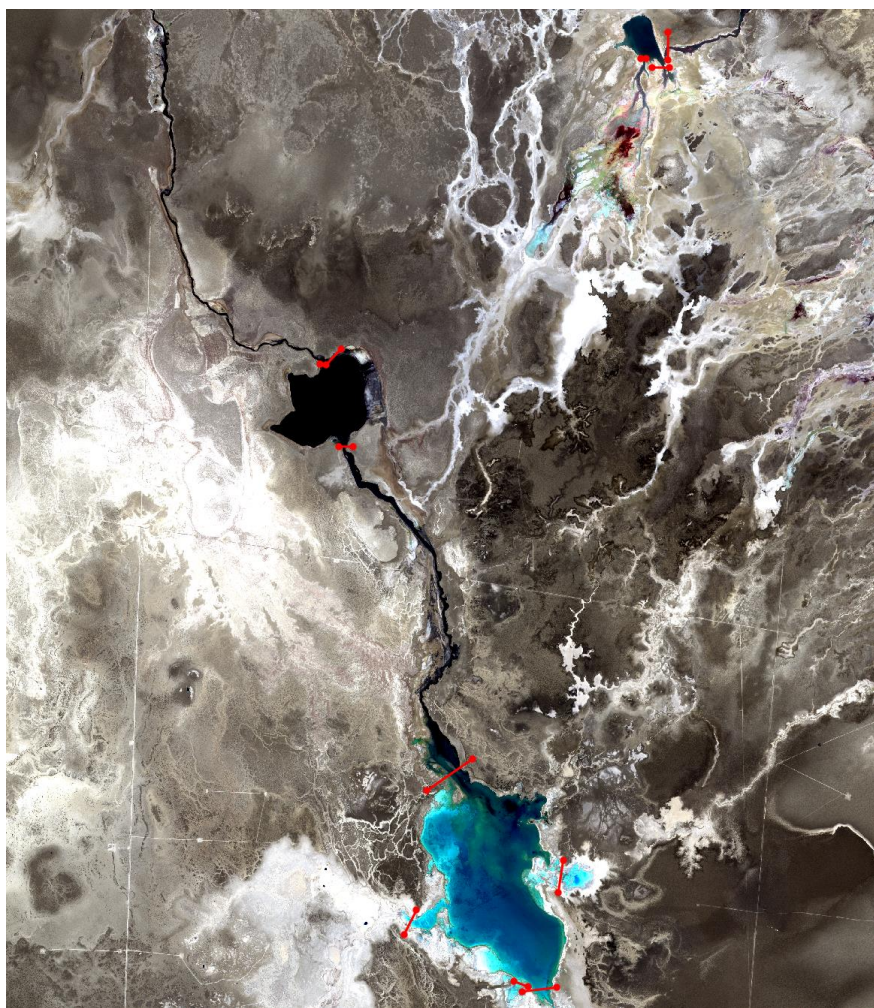
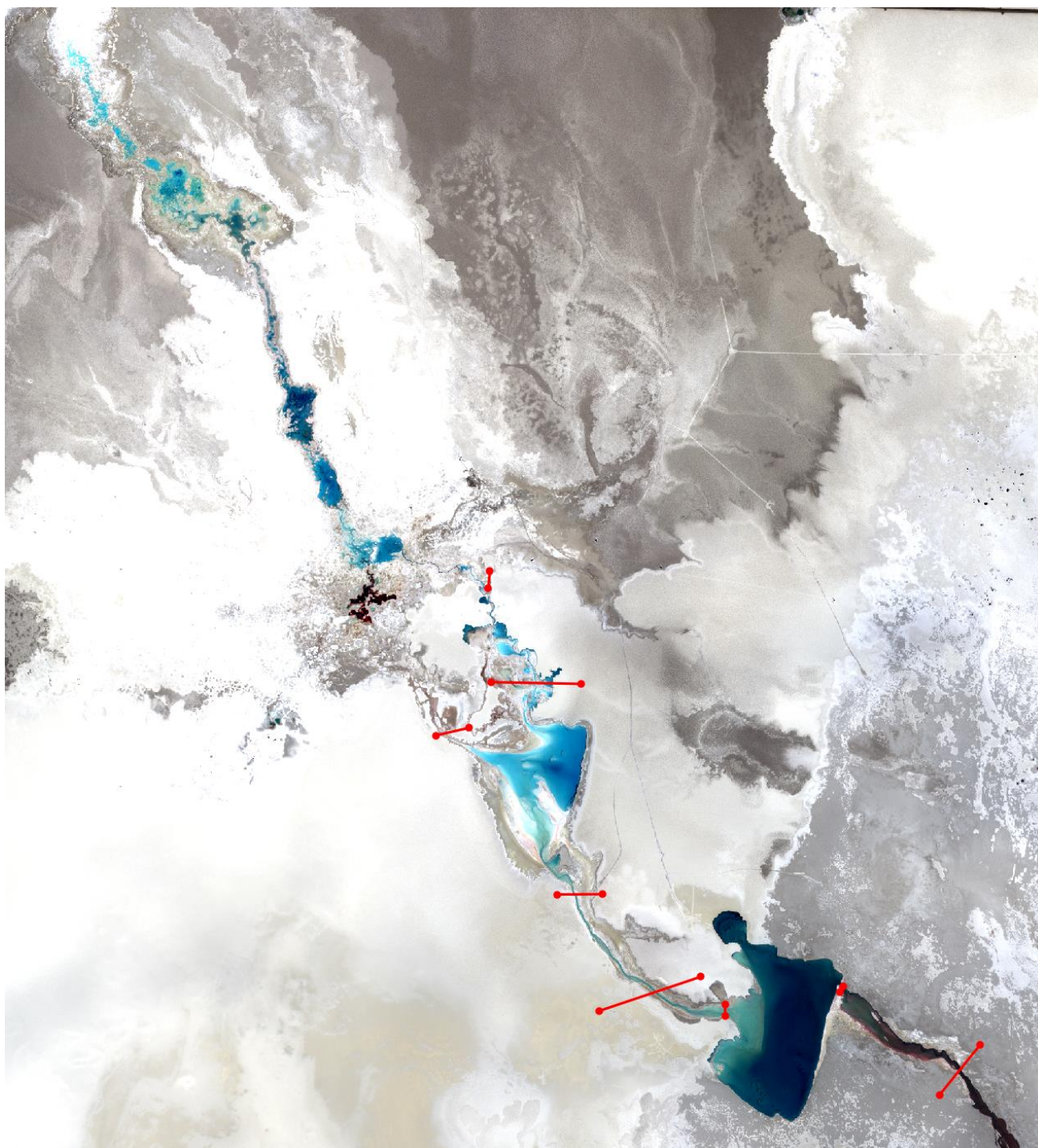


Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Soncor

Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan 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*

## 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 esta campaña se realizó una campaña de toma de puntos de control de borde lagunar, esta se llevó a cabo por la consultora ATyGeo los días 1 y 2 de abril para Desborde Sur, 11, 15 y 16 de abril para Aguas de Quelana, 12 y 13 de abril para Barros Negros y 22 de abril para Chaxa.

## 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 abril 2024.

### 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 <sup>2</sup> )
Laguna Chaxa	275.850
Laguna Barros Negros (Cuerpo Principal)	824.777
Área de Inundación I (Barros Negros)	1.329
Área de Inundación II (Barros Negros)	1.805
Área de Inundación III (Barros Negros)	0
Puilar	61.931
Desborde Sur	94.786



### 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 se pudieron obtener puntos de control de terreno los cuales ayudan a depurar el mapeo de los cuerpos.

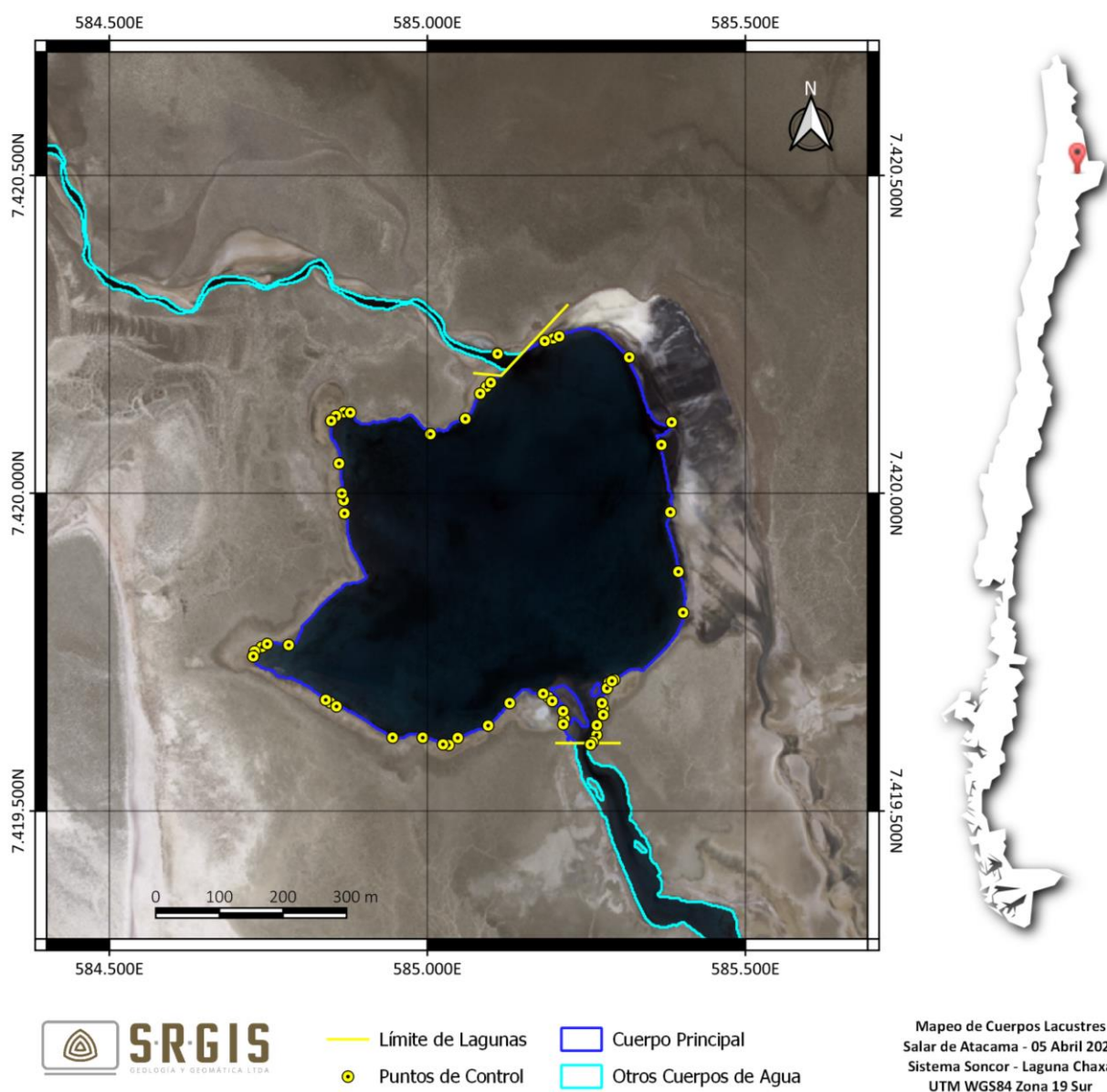


Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa.

### 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 se pudieron obtener puntos de control de terreno los cuales ayudan a depurar el mapeo de los cuerpos.

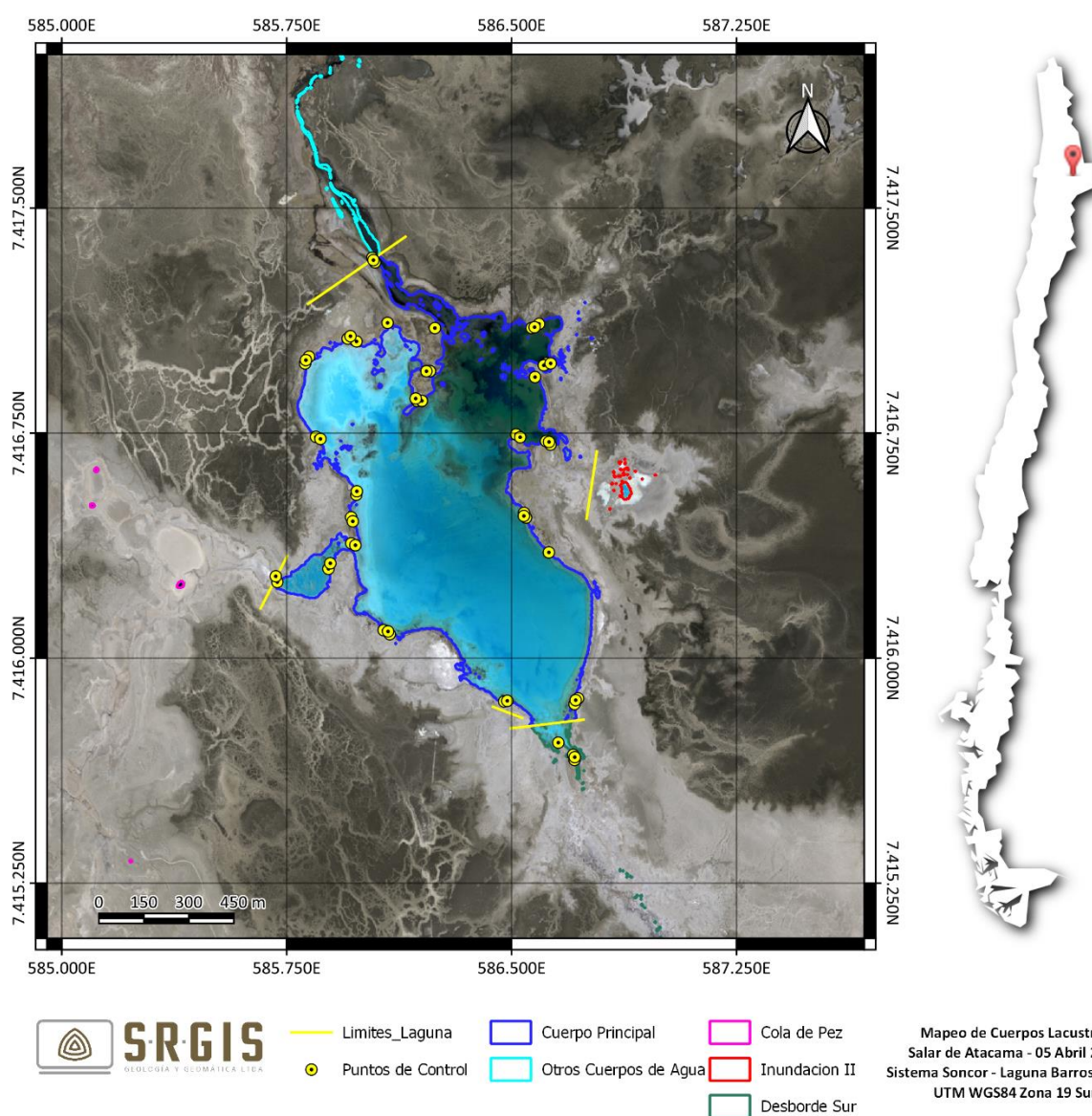


Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros.



### 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, de todas maneras, la información histórica de puntos de control hacia zonas conflictivas con alta reflectancia en el infrarrojo cercano ha evidenciado la presencia de agua en zonas que, según índices espectrales, se evidencian como vegetación y no como agua. Se ha utilizado este criterio para el ajuste del mapeo en esta laguna.

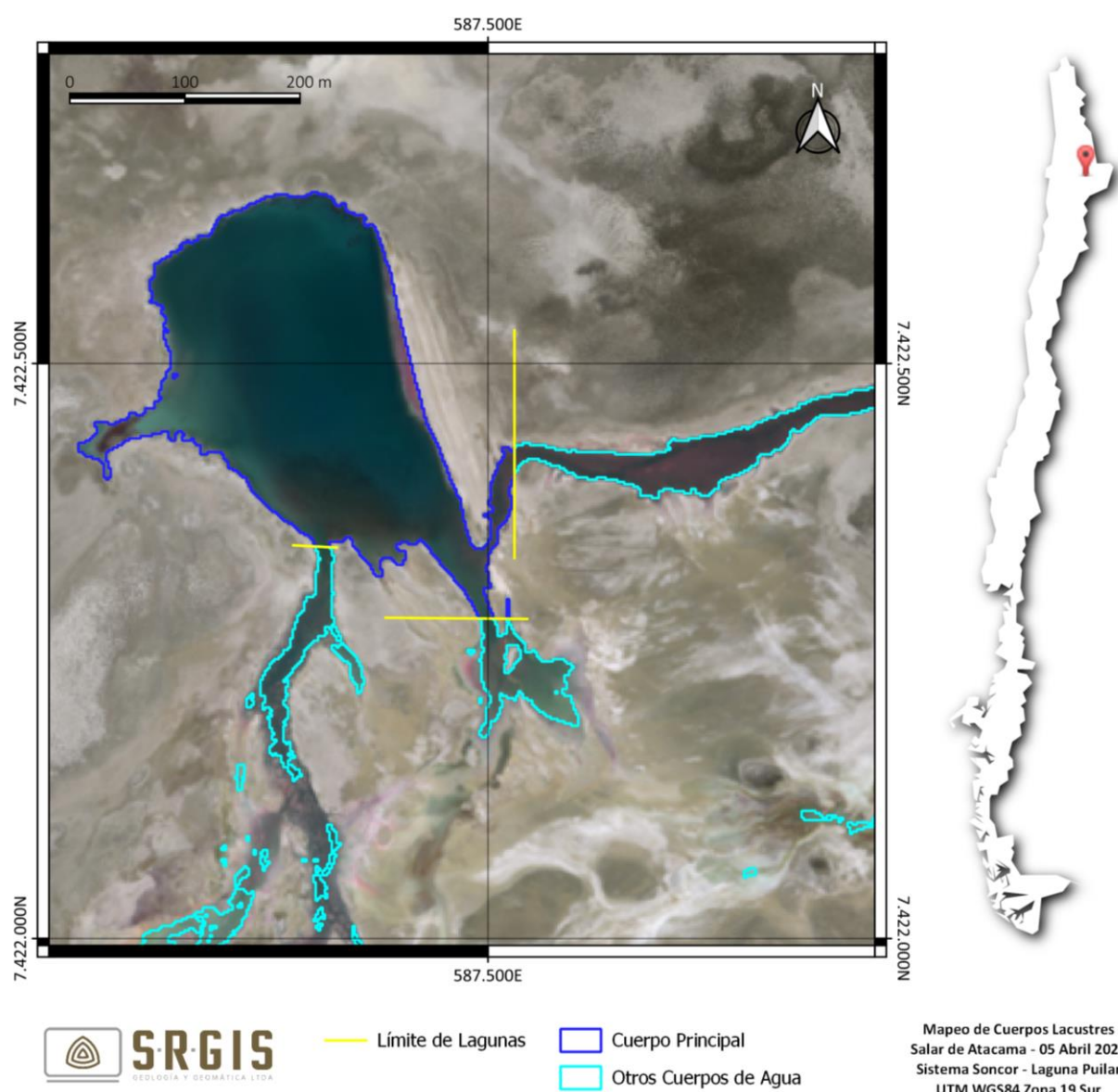


Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.

#### 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 pudieron obtener puntos de control de terreno los cuales ayudan a depurar el mapeo de los cuerpos.

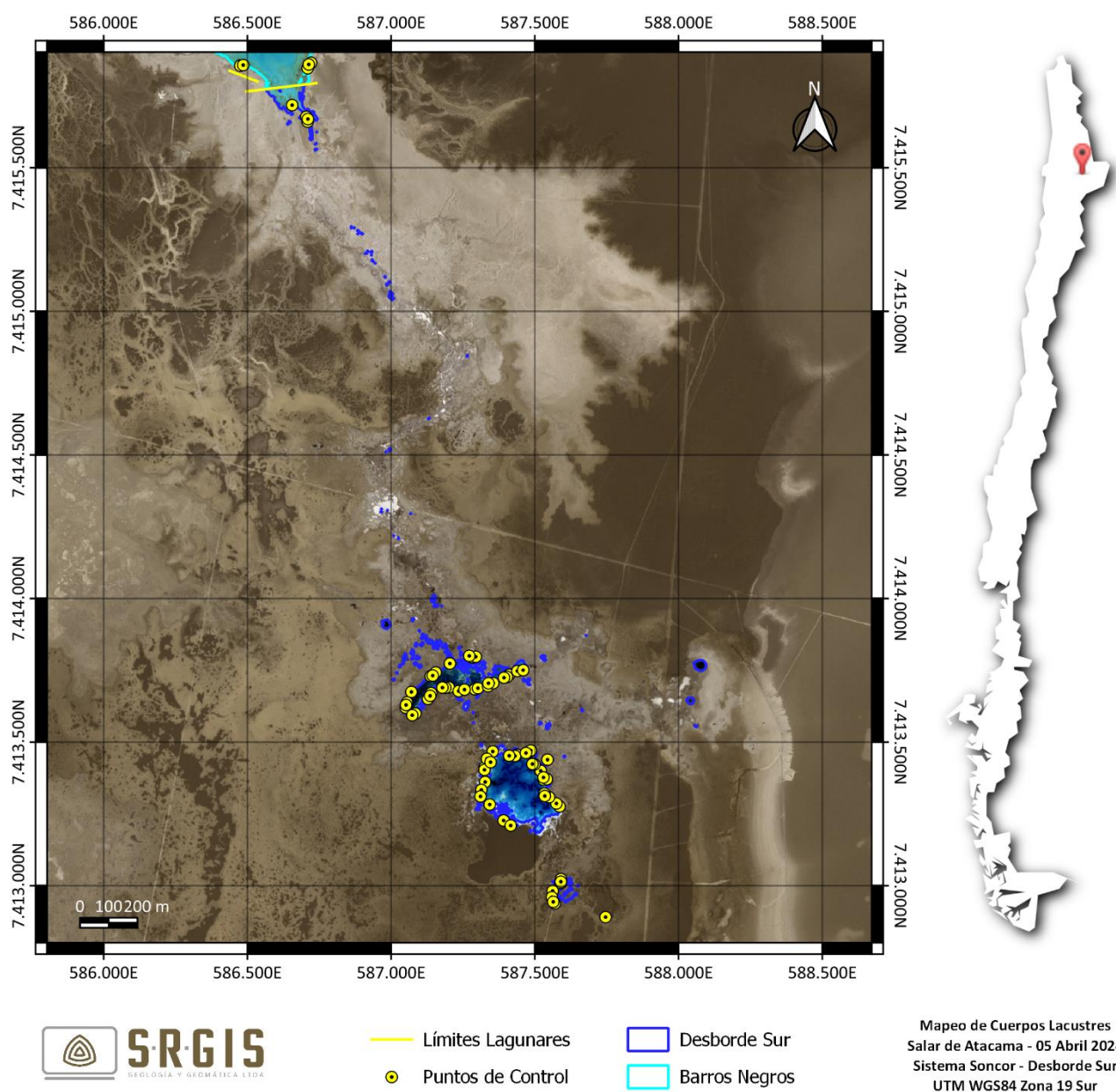


Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur.

## 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.*

<b>Cuerpo</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Salada	170.994
Canal de Recarga (Salada)	20.466
Canal de Descarga (Salada)	4.462
Saladita	81.967
Interna	56.938

### 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). No fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva.

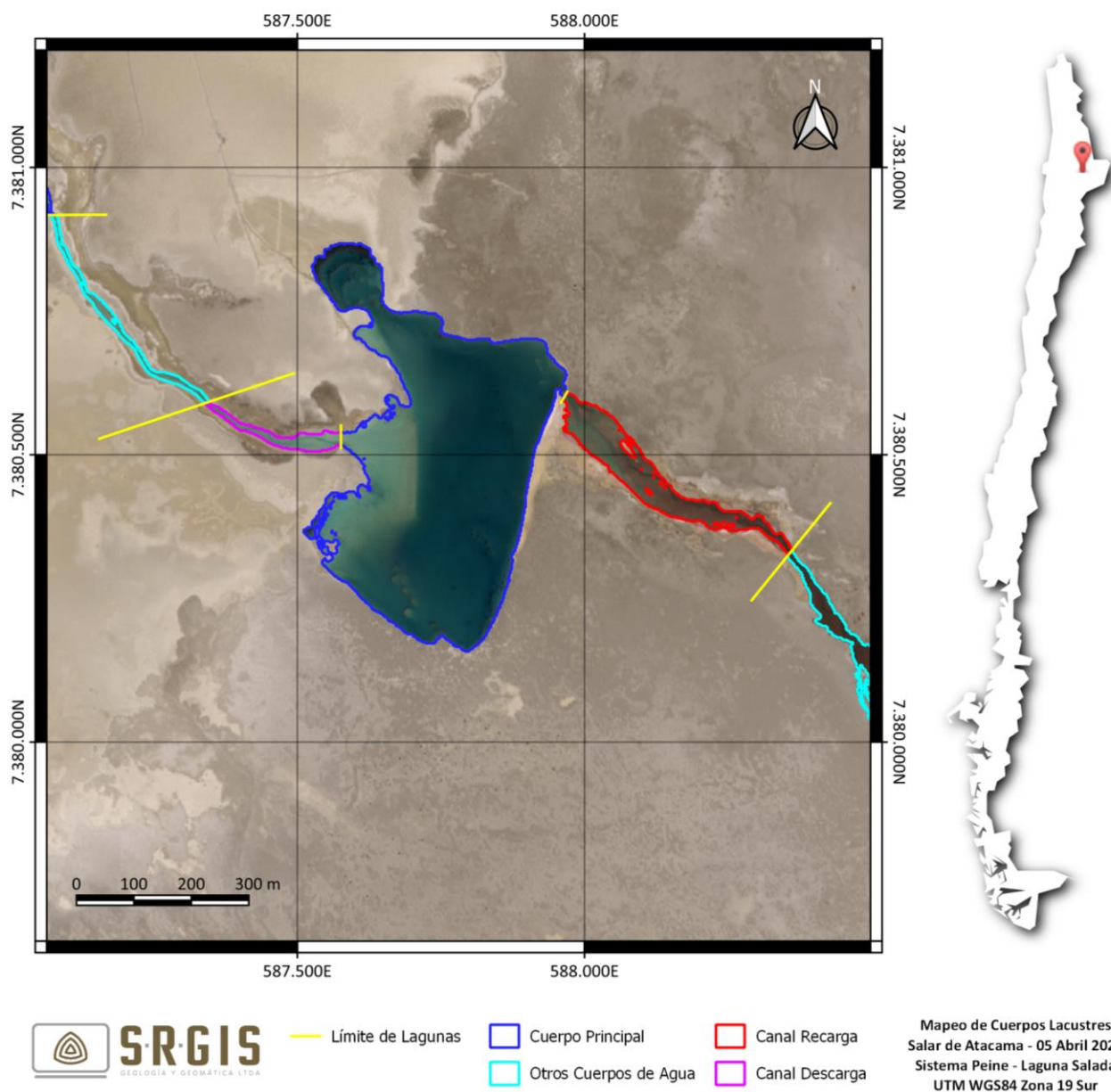


Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.



### 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), sin embargo, no fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva.

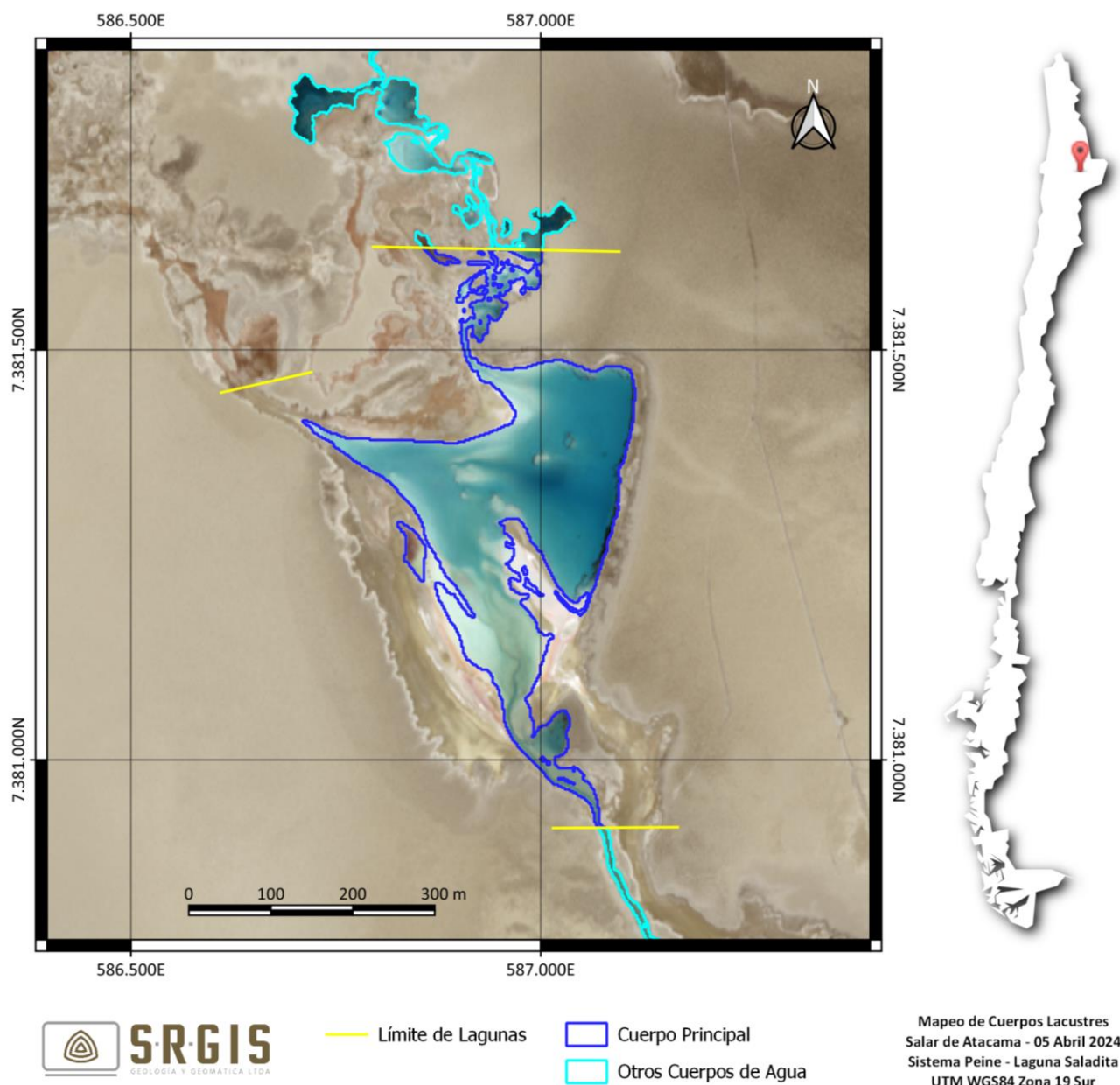


Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita.



### 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. Se debe considerar que no fue posible realizar una campaña de toma de puntos de control para este período por restricciones de acceso a la reserva, sin embargo, dada la experiencia con la comparación de puntos de control en campañas anteriores, se ha mejorado la interpretación visual cuando en zonas de difícil delimitación por índices espectrales.

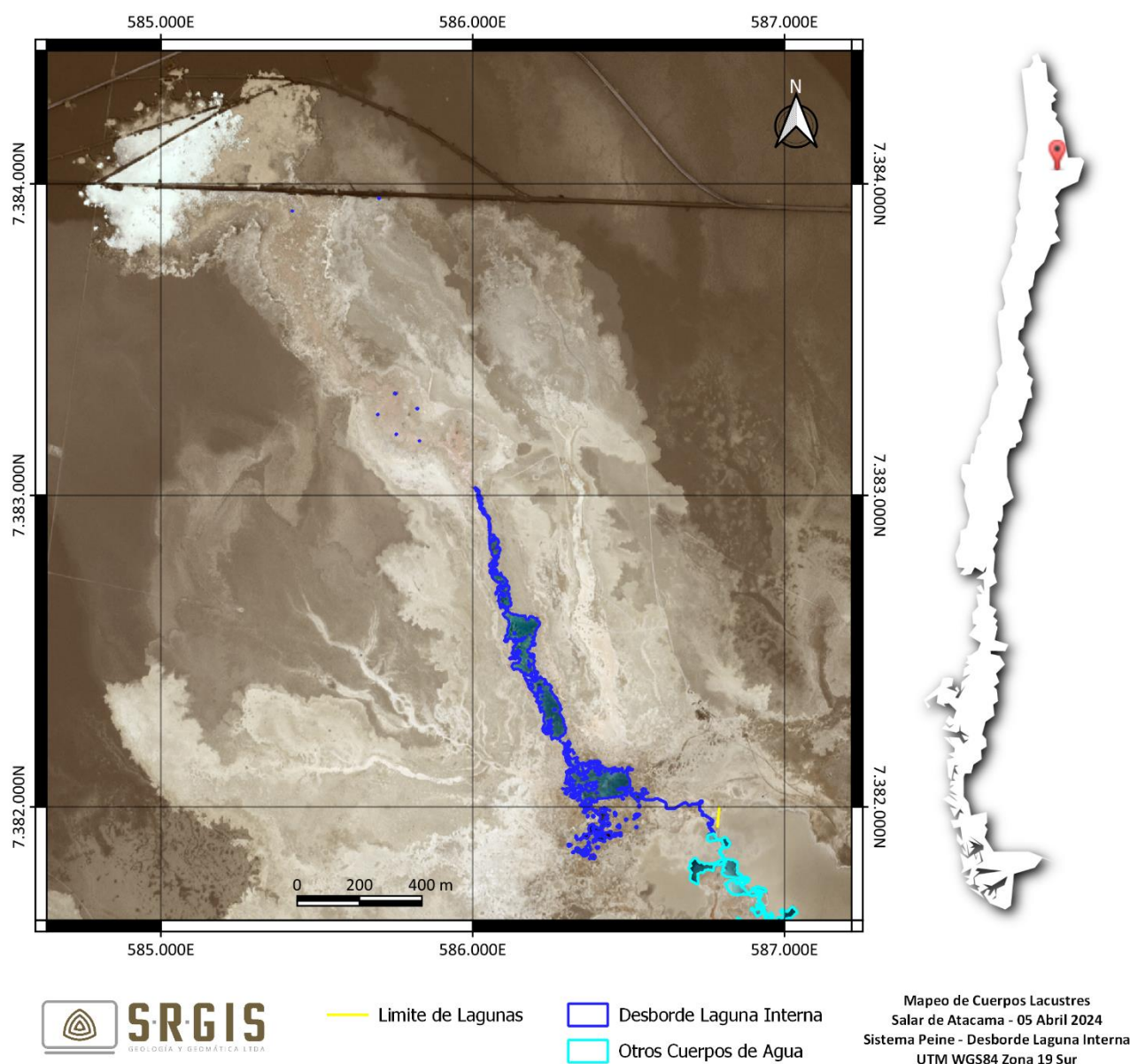


Figura 21: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna.

## 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 es importante en zonas donde los índices no delimitan bien los cuerpos, y ayudan a delimitar contornos con mejor precisión.

Es importante considerar que la imagen satelital fue capturada el día 4 de abril de 2024, y que los puntos de control fueron tomados días antes o después (según campaña y lagunas) lo cual puede dificultar en algunos casos la interpretación por efectos de evaporación de cuerpos de agua someros o bien, por aparición de surgencias de nuevos cuerpos de agua.

La diferencia entre la fecha de captura y toma de puntos de control puede generar algunos conflictos en la interpretación, por ejemplo, en la laguna Barros Negros, había una zona donde se indica un borde lagunas que en la imagen satelital no se puede definir. Corresponde al punto BN06 donde podemos ver en la Figura 22, que marca un borde donde la imagen no evidencia ese contacto. Para este tipo de casos, tan claro en la imagen, se decide respetar la información que entrega la imagen satelital, ya que hay entre 7 y 8 días de diferencia entre la imagen y la toma de puntos de control. Debido a que estamos en período de recarga de cuerpos de agua, la cola de orientación SW que se observa en la Figura 22 desde el punto BN06, que en la imagen no evidencia cobertura de agua, pudo haberse rellenado durante los 7 a 8 días posteriores.

Sólo en esta zona se observó un conflicto importante, los demás puntos de control se encuentran correctamente en borden lagunares evidenciados en la imagen o levemente desplazados lo que podemos atribuir al aumento del tamaño de las lagunas pasados 7 a 8 días desde la captura de la imagen hasta las mediciones de terreno.



*Figura 22: Punto de control BN06 de borde de agua en conflicto con la imagen satelital.*

## 8. CONCLUSIONES

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

- Laguna Chaxa : 275.850 m<sup>2</sup>
- Laguna Barros Negros (Cuerpo Principal) : 824.777 m<sup>2</sup>
- Puilar : 61.931 m<sup>2</sup>
- Desborde Sur : 94.786 m<sup>2</sup>

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

- Salada (Cuerpo Principal) : 170.994 m<sup>2</sup>
- Saladita : 81.967 m<sup>2</sup>
- Desborde Laguna Interna : 56.938 m<sup>2</sup>

## 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



## **Anexo 10.2**


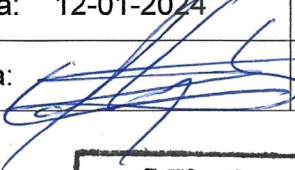
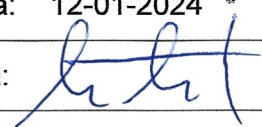
Estacas perimetrales y puntos de control

**Informe Topográfico:**  
**SL-00-IT-0015\_REV.0**

**“Levantamiento de Superficies Lacustres  
medición de puntos de control  
periodo enero 2024”**

**Salar de Atacama – SQM, Región de  
Antofagasta”**

Viernes, 12 de enero de 2024

<b>ATyGeo</b>	<b>ATyGeo</b>	
Nombre: Cristian Trigo T.	Nombre: Verónica Villalobos R.	Nombre:
Fecha: 12-01-2024	Fecha: 12-01-2024	Fecha:
Firma: 	Firma: 	Firma:



## 1. RESUMEN

El Contrato Marco denominado “Servicios de Levantamiento de estacas perimetrales y toma de puntos de control de terreno, Salar de Atacama”, contempla el monitoreo de superficies lacustres en los sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana.

El presente informe entrega los resultados de la toma de Puntos de Control como apoyo al cálculo de cuerpos de agua superficial vía imagen satelital para el periodo enero 2024.

Este monitoreo es desarrollado bajo el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama”. Los puntos de control responden a la metodología establecida en la RES-EX 244/2010.

El trabajo se realizó entre los días 08 y 09 de enero, ejecutando la toma de puntos de control en el sector denominado Aguas de Quelana.

La medición de puntos de control en el sector Desbordes Sur debía realizarse entre los días 10 y 11 de enero, pero se tuvo que suspender porque el Consejo de Pueblo Atacameños cerró los caminos de acceso al Salar de Atacama.

Las demás lagunas de los sistemas lacustres mencionados no fueron medidas por no contar con autorización de ingreso debido a la época reproductiva de los flamencos, estas lagunas son: Puilar, Chaxa, Barros Negros, Salada, Saladita y Desborde de la Laguna Interna.

En la Tabla N°1 se entrega lista de lagunas y fecha de mediciones.

**Tabla N°1. Lista de lagunas y fecha de mediciones.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

LAGUNA	SECTOR	FECHA MEDICION	OBSERVACION
AGUAS DE QUELANA	SONCOR	08 y 09-01-2024	REALIZADA PARCIALMENTE
DESBORDES SUR	SONCOR	10 y 11-01-2024	ACTIVIDAD SUSPENDIDA

En la Tabla N°2 se entrega resumen de puntos de control medidos en este periodo.

**Tabla N°2. Resumen medición de puntos de control.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024**

LAGUNA	CANTIDAD
AGUAS DE QUELANA	25
DESBORDES SUR	0
TOTAL	25

---

## 2. INTRODUCCION

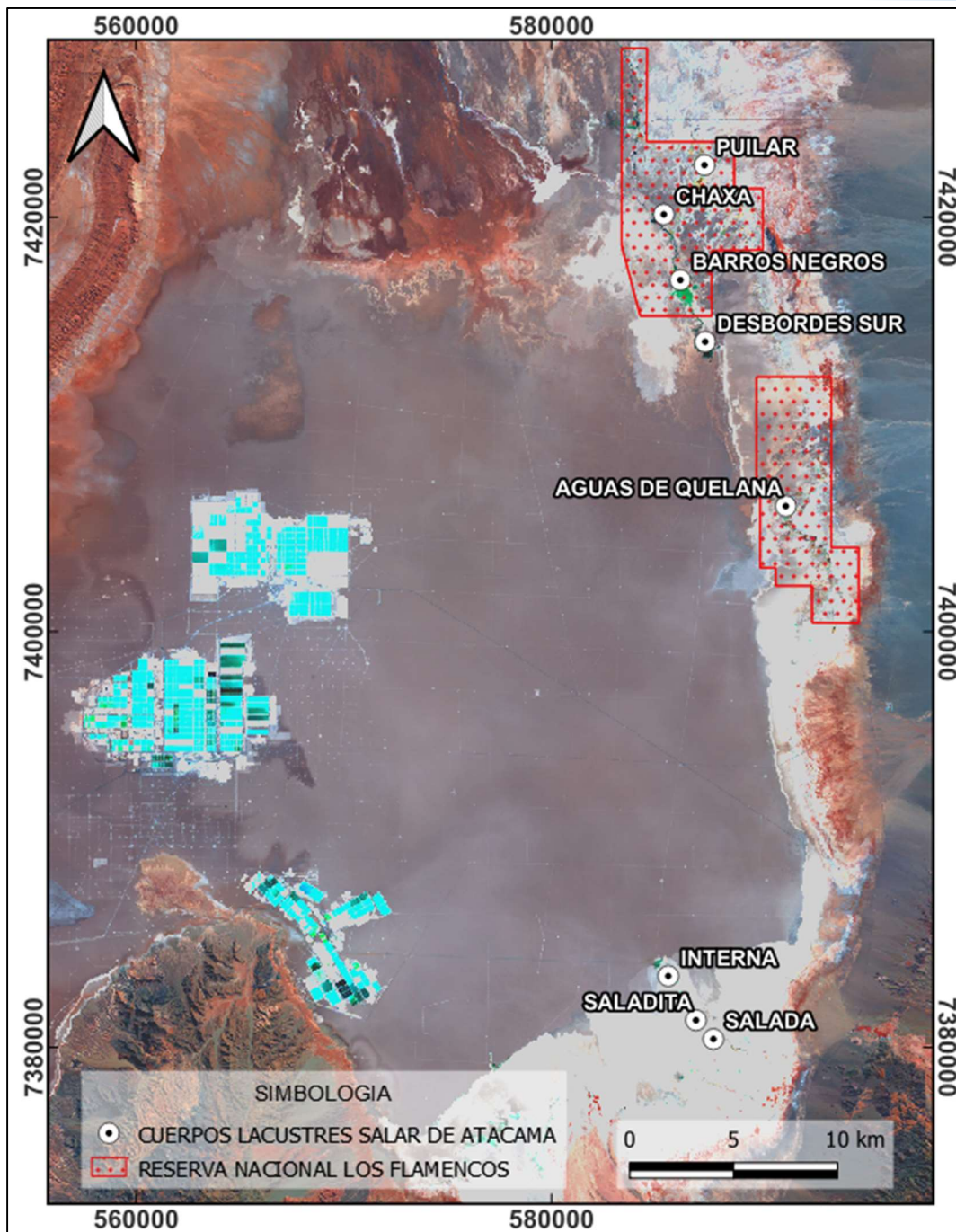
SQM solicitó a ATyGeo el levantamiento topográfico de puntos de control en superficies lacustres del Salar de Atacama para el periodo enero 2024, en los sistemas de Soncor, Peine y Aguas de Quelana. Esto en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama” y en particular en función 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 a la Acción N° 19: Robustecer el monitoreo de la superficie lagunar mediante imágenes satelitales de alta resolución con una frecuencia trimestral.

Los puntos de control responden a la metodología establecida en la RES-EX 244/2010.

En este informe se entrega los resultados del Servicio de toma de puntos de control en las superficies lacustres, donde se obtienen datos de posición, características generales del suelo, existencia de vegetación y profundidad de cuerpos de agua.

En la Figura N°1 se entrega la ubicación general de las superficies lacustres del Salar de Atacama.





**Figura N°1. Ubicación general de las superficies lacustres. UTM WGS84 19S**  
**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

### 3. OBJETIVOS

- Medir puntos de control de superficies lacustres en el Salar de Atacama, entregando información relevante de posición con coordenadas precisas, características generales o fisionómicas del suelo, presencia de vegetación y profundidad de cuerpos de agua, para apoyar al cálculo de extensión lacustre con imágenes satelitales de alta resolución.
- Dar cumplimiento con el aumento de frecuencia de monitoreo lagunar relativo a la acción N°19 establecida, referente al Hecho Infraccional N°1 del PdC (29 de agosto de 2022, RES. EX. N°38/ROL F-041-2016).

### 4. MATERIALES Y METODOS

#### 4.1 MATERIALES

Los materiales y equipos utilizados para esta labor se resumen en la Tabla N°3.

**Tabla N°3. Materiales y equipos.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

ITEM	MATERIALES Y EQUIPOS	UTILIZACION
1	GNSS DIFERENCIAL MARCA TRIMBLE MODELO R4	MEDICION DE PUNTOS DE CONTROL CON METODOS RTK Y PPK
2	TRIPODE DE FIBRA	SOPORTE GNSS BASE
3	JALON DE FIBRA MARCA TRIMBLE, PORTA GNSS MOVIL, DE 2 METROS DE ALTURA	UTILIZADO COMO ESCALA GRAFICA EN FOTOGRAFIAS
4	CAMIONETA 4X4	TRASLADO A SUPERFICIES LACUSTRES
5	JARDINERA CON BOTAS PVC	PROTECCION AL CAMINAR POR BORDE DE LAGUNAS
6	BALACLAVA, BANDANA, GORRO LEGIONARIO, GUANTES, LENTES, BLOQUEADOR SOLAR	PROTECCION SOLAR AL CAMINAR POR SUPERFICIES LACUSTRES
7	ROPA DE COLOR BEIGE	ROPA SOLICITADA PARA EVITAR AHUYENTAR A LAS AVES

## 4.2 METODOS

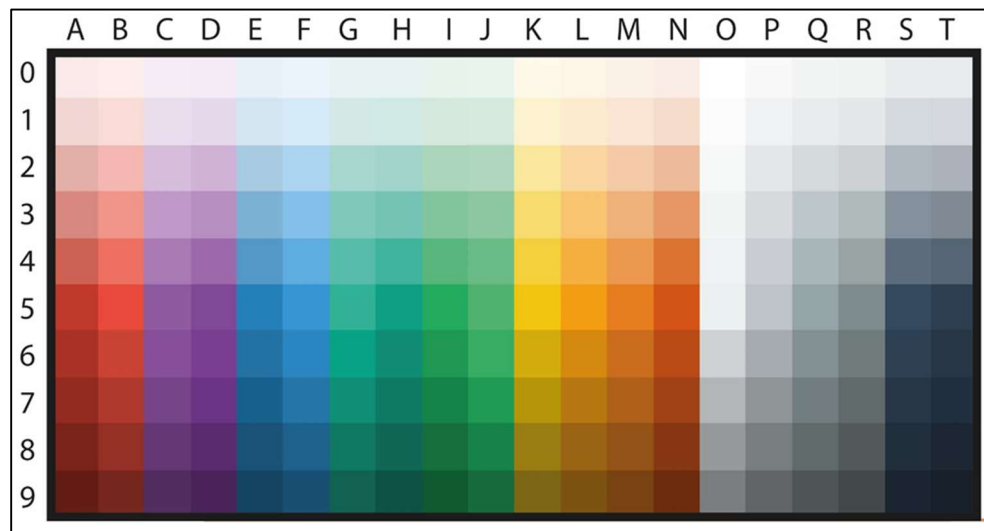
El servicio consiste en realizar mediciones de puntos de control de superficies lacustres en lagunas Aguas de Quelana, Chaxa, Puilar, Barros Negros, Desbordes Sur, Salada, Saladita y Desborde de la laguna Interna.

La medición de puntos de control se debe realizar en sistema coordenado UTM Datum WGS-84 Zona 19 Sur, incluyendo la elevación ortométrica (m.s.n.m.), indicar características del suelo como color, textura y tamaño, vegetación y fauna existente, espesor de columna de agua, respaldos fotográficos orientados y videos en 360°.

Para las características del suelo, se debe tomar de referencia las instrucciones entregadas por el cliente en el documento “Toma de puntos de control en terreno” (SQM 2023), las cuales indican:

### 4.2.1 COLOR

El color del suelo debe ser escogido en referencia a la matriz de colores de la Figura N°2.

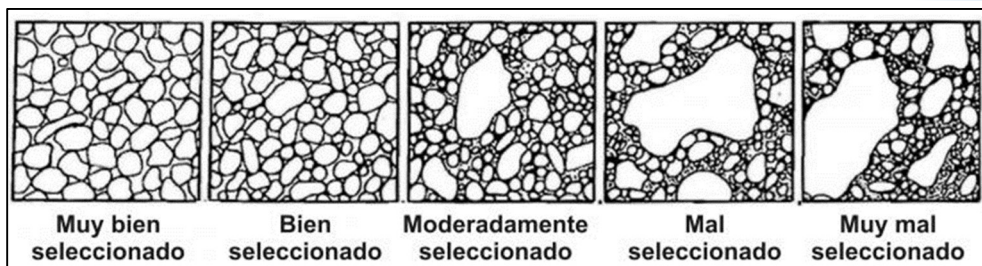


**Figura N°2. Matriz de colores de referencia para indicar color del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

### 4.2.2 TEXTURA

La textura del suelo debe ser escogida en relación con las imágenes de referencia indicadas en la Figura N°3.



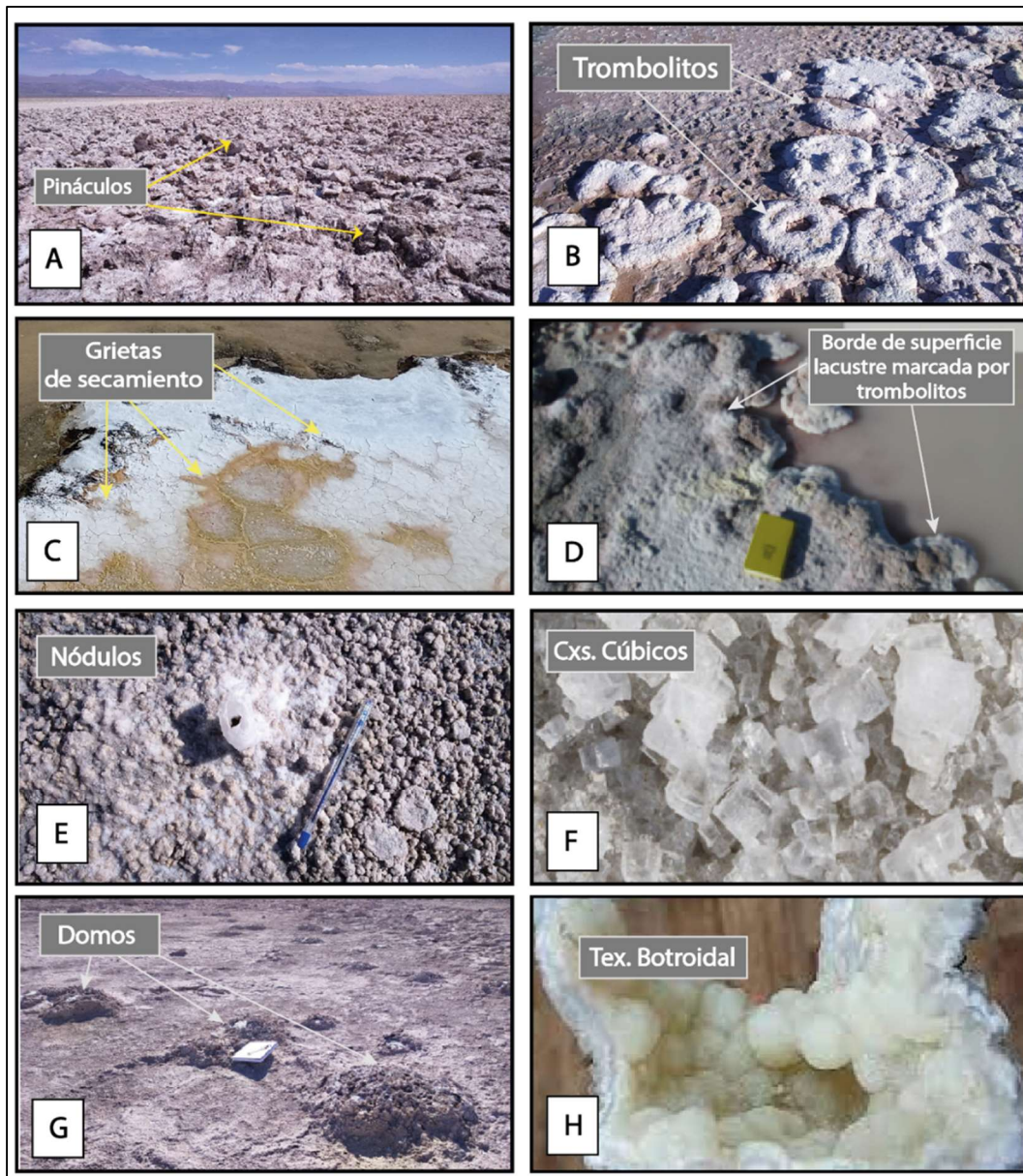
**Figura N°3. Imágenes de referencia para indicar textura del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

Por otro lado, es necesario utilizar descripciones texturales de costras salinas, depósitos sedimentarios evaporíticos de mayor predominancia en el Salar, así como declarar ciertas morfologías típicas en estos ambientes. En este sentido, se entiende por textura al “aspecto”, y corresponde a la forma y distribución de granos minerales, lo que permite en primer orden comprender las condiciones fisicoquímicas y/o ambientales de su formación. Dentro de las principales formas y morfologías vistas en terreno, se han compilado y seleccionados las cercanas a cuerpos de agua. En la Figura N°4, se muestran diferentes fotografías de apoyo para descripción en terreno de un punto de control. En estas fotografías se puede observar:

- A: Pináculos, formados por evaporación intensa en ambientes áridos, pueden ser caracterizados por su geometría o tamaño relativo.
- B: Trombolitos, formas circulares formadas producto de actividad biológica en ambientes dulces o mixtos.
- C: Grietas de secamiento, geometrías poligonales formadas por la pérdida de agua o humedad.
- D: Trombolitos como morfología delimitadora de superficie lacustre.
- E: Costra con textura nodular, a menudo dispuestos en patrones repetitivos.
- F: Cristales cúbicos de halita, indica condiciones de alta salinidad y precipitación lenta.
- G: Domos, formados por dilución adyacente.
- H: Textura botroidal o en almohadilla





**Figura N°4: Descripciones texturales de costras salinas.**  
**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

### 4.2.3 TAMAÑO

El tamaño de las partículas de terreno se escogerá de acuerdo con lo indicado en la Figura N°5.

Clastos sedimentarios		Tamaño del clasto en mm.
G R A V A	Bloques	256
	Grava	64
	Guijarro	4
	Granos	2
A R E N A	Arena muy gruesa	1
	Arena gruesa	0.5
	Arena media	0.25
	Arena fina	0.125
	Arena muy fina	0.032
L O D O	Limo	0.004
	Arcilla	

**Figura N°5: Escala granulométrica para tamaño de partículas del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

### 4.2.4 ESPESOR COLUMNA DE AGUA

Si el punto se encuentre dentro de un cuerpo lagunar o cercano a él, se debe medir el espesor de la columna de agua, el que comprende la longitud desde la base o fondo del cuerpo a la superficie. El espesor de columna de agua se debe medir de acuerdo con lo indicado en la Figura N°6.



**Figura N°6: Medición de espesor de columna de agua.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

#### 4.2.5 REGISTRO FOTOGRAFICO ORIENTADO

Junto con todos los datos del suelo obtenidos, se debe entregar un registro fotográfico de los puntos de control, que incluya una fotografía del suelo donde se midió el punto de control, fotografías orientadas donde se entregue su azimut, incluir un elemento que pueda ser utilizado como escala de medida y videos en 360°. Los elementos incluidos en las fotografías para ser utilizados como escala son:

- En las fotografías del suelo donde se tomó el punto de control se utiliza un plumón destacadador de color verde de 0.12 m de largo.
- En las fotografías orientadas y los videos se usa el jalón de fibra donde se posiciona el equipo GNSS móvil, el cual tiene una altura fija de 2 metros.

Además, se debe registrar la presencia de vegetación y aves, la cual se indica bajo el siguiente criterio:

- VEGETACION:

SI = vegetación en el mismo lugar o cercana al Punto de Control.

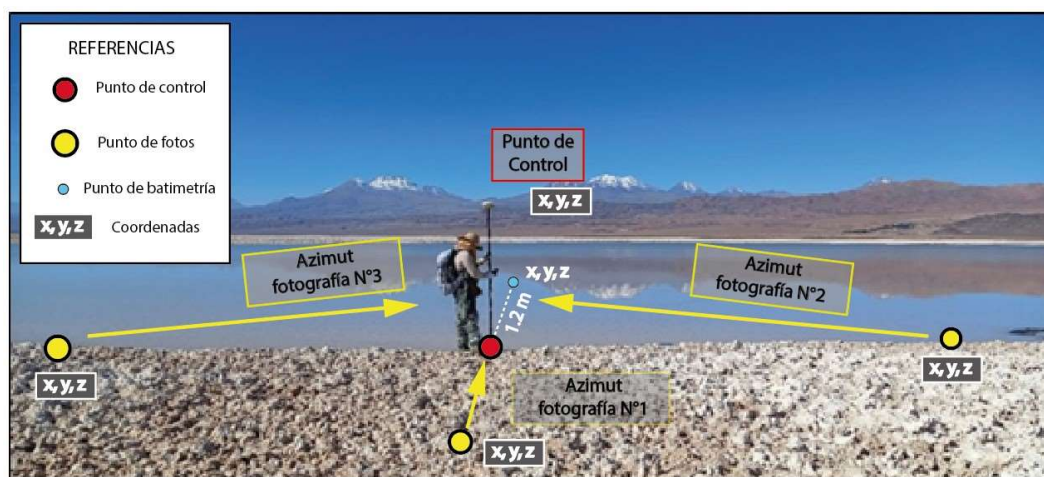
NO = sin vegetación en el lugar o en las cercanías.

- AVES:

SI = aves en el sector o cerca del Punto de Control.

NO = no se ven aves en el sector ni en las cercanías.

En la Figura N°7 se muestra una fotografía referencial donde se detallan los datos obtenidos de terreno en cuanto a las posiciones de fotografías, la ubicación del punto de control y el punto de batimetría ubicado 1.2 m dentro del agua siguiendo el azimut de la fotografía N°1.



**Figura N°7. Fotografía referencial donde se observa posición de las fotografías, el punto de control y el punto de batimetría. Fuente ATyGeo, enero 2024.**

---

El procedimiento para la toma de los puntos de control es el siguiente:

- El operador 1 se posiciona en el punto de control (círculo de color rojo en la figura N°7) y toma la medición con GNSS.
- El operador 2 se posiciona de frente al operador 1 mirando en dirección a la laguna. Toma la fotografía 1 y el video en 360°. Deja un plumón en el lugar como referencia.
- El operador 2 se cambia de posición quedando al borde de la laguna mirando de frente al operador 1, teniendo a la derecha la laguna. Toma la fotografía 2 y deja un plumón en el lugar como referencia.
- El operador 2 se cambia de posición quedando al borde de la laguna mirando de frente al operador 1, teniendo a la izquierda la laguna. Toma la fotografía 3 y espera en la posición al operador 1.
- El operador 1 posiciona un plumón destacador en el lugar donde midió el punto de control. Toma la fotografía del suelo y retira el plumón destacador.
- El operador 1 mide con flexómetro 1.2 m hacia dentro de la laguna siguiendo el azimut de la fotografía 1 (círculo de color verde en la figura N°7), mide con el flexómetro la profundidad de la capa de lodo y la altura del agua.
- El operador 2 registra en una libreta los datos dictados por el operador 1.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 2 ubicada por el plumón de referencia, mide el punto con GNSS y retira el plumón.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 1 ubicada por el plumón de referencia, mide el punto con GNSS y retira el plumón.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 3, mide el punto con GNSS.
- El operador 2 registra en una libreta los datos de suelo, vegetación y aves del sector.
- Ambos operadores se dirigen al siguiente punto de control.



Las unidades de medición utilizadas son:

- **Coordenadas (m)** = metros
- **Elevaciones (m)** = metros
- **Distancias (m)** = metros
- **Ángulo y Azimut (°)** = grados sexagesimales

Se debe indicar que las características de suelo o corteza, como color, textura, tamaño y descripción general, son observadas en el borde de los cuerpos lacustres, donde se mide cada punto de control, lugar que generalmente se encuentra seco, blando o lodoso, o una mezcla de ellos.

#### 4.3 TECNICA DE MEDICION

Para este trabajo se utilizaron equipos GNSS diferencial marca Trimble modelo R4, midiendo con técnica Cinemática Postprocesada (PPK), la cual se detalla a continuación:

##### 4.3.1 PPK (POST PROCESSED KINEMATIC)

Cinemática postprocesada. Esta técnica permite obtener coordenadas precisas con procesamiento de datos en etapa de gabinete. Se requiere un equipo GNSS diferencial modo base en un punto de referencia conocido, recibiendo señal satelital y guardando los datos en memoria; un equipo GNSS diferencial modo móvil desplazándose en terreno midiendo los puntos, recibiendo señal satelital y guardando los datos en memoria. Luego, en etapa de gabinete, se procesan los datos guardados, obteniendo coordenadas y elevaciones con precisiones centimétricas.

Las características de precisión y confiabilidad de los equipos GNSS utilizados se entregan en Tabla N°4 y son obtenidos del documento “Hoja de datos Sistema Trimble R4 GNSS”

**Tabla N°4. Características de equipos GNSS Trimble R4.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

CARACTERISTICA	VALORES
PRECISION HORIZONTAL	8 mm + 0,5 ppm
PRECISION VERTICAL	15 mm + 0,5 ppm
INICIALIZACION	< 8 segundos
CONFIABILIDAD	99.90%

## 5. RESULTADOS

Se entregan los resultados obtenidos de las mediciones de puntos de control en las Superficies Lacustres del Salar de Atacama, periodo enero 2024.

A continuación, se detallan los trabajos realizados y se entregan los resultados:

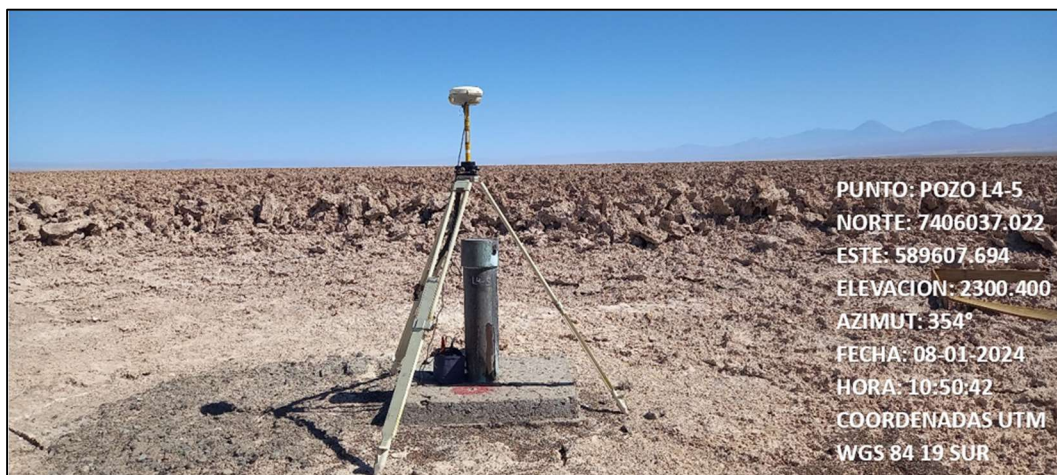
### 5.1 AGUAS DE QUELANA

#### 5.1.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo de medición de puntos de control en el sector Aguas de Quelana se desarrolló los días 08 y 09 de enero del 2024, utilizando como puntos de referencia los Pozos L4-5 y L5-13. El sector se dividió en dos zonas, las cuales fueron cubiertas una por día. Se debe indicar que ambas zonas se encuentran dentro de Reserva Nacional Los Flamencos.

El primer día, a las 9:30 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con Guardaparques de CONAF, para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Pozo L4-5 usado como Hito de referencia para las mediciones en Zona 1, donde se procedió a instalar un equipo GNSS base, utilizando la técnica PPK para realizar las mediciones. En la Fotografía N°1 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo L4-5.



**Fotografía N°1. Pozo L4-5 con el equipo GNSS base instalado.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

En la Zona 1 se midieron 14 puntos de control, menor a lo esperado, esto por el cese prematuro de actividades indicado por Guardaparques de CONAF, debido a la presencia de flamencos en el sector.

El segundo día, a las 9:30 h, se reunió personal de ATyGeo con Guardaparques de CONAF, para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Pozo L5-13 usado como Hito de referencia para las mediciones en la Zona 2, se procedió a instalar un equipo GNSS base, usando la técnica PPK. En la Fotografía N°2 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo L5-13.



**Fotografía N°2. Pozo L5-13 con el equipo GNSS base instalado.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

En la Zona 2 se midieron 11 puntos de control.

En total se midieron 25 puntos de control en el sector Aguas de Quelana.

### 5.3.2 RESULTADOS DE MEDICIONES

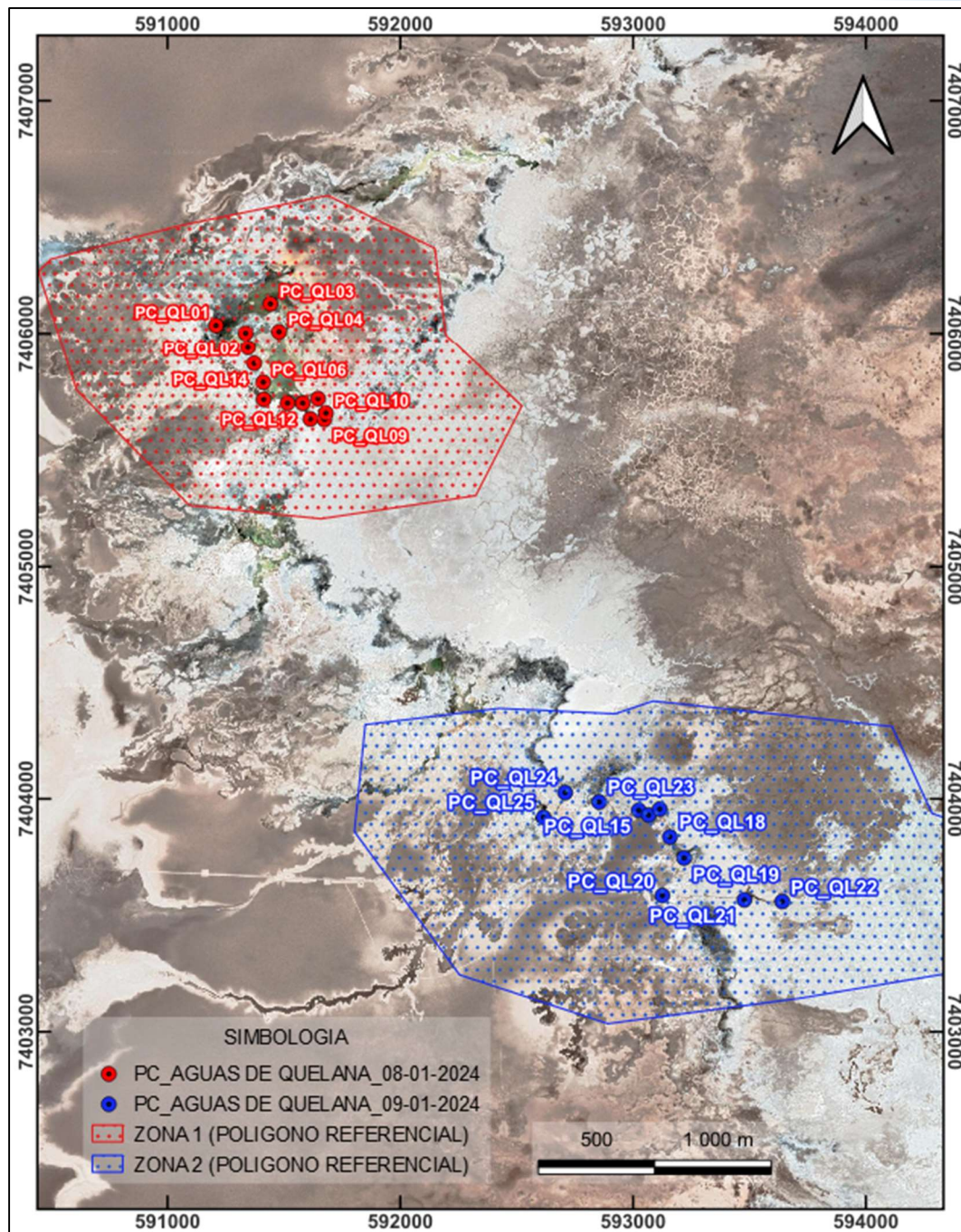
En la Figura N°8 y utilizando una imagen satelital de fondo, se entrega la ubicación de los puntos de control medidos en el sector de Aguas de Quelana, indicando la fecha de medición de cada punto y la Zona a la que corresponden.

En la Tabla N°5 se entrega la información recopilada durante la medición topográfica de los puntos de control, la cual incluye ID, coordenadas norte, este, elevación, espesor de columna de agua medido a 1.2 m desde el punto de control hacia adentro del cuerpo lacustre siguiendo el azimut de fotografía N°1, fecha de medición y tipo de punto.

En la Tabla N°6 se entrega la información del suelo para los puntos de control medidos, la cual incluye ID, ubicación, color, textura y tamaño.

En la Tabla N°7 se entrega la información de cada punto de control, la cual incluye ID y descripción general del sector donde se realizó la medición.





**Figura N°8. Utilizando imagen satelital de fondo, se indica la posición de los Punto de control en el sector Aguas de Quelana y su fecha de medición. Los polígonos de Zonas 1 y 2 son referenciales. Fuente ATyGeo, enero 2024.**

**Tabla N°5. Información de ubicación, espesor columna de agua, fecha y tipo de punto. Fuente ATyGeo, enero 2024.**

ID	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m)	ESPESOR COLUMNA DE AGUA A 1.2m DEL BORDE	FECHA	TIPO DE PUNTO
PC_QL01	7406037.557	591208.995	2300.385	0.005	08-01-2024	CONTROL
PC_QL02	7406003.840	591336.563	2300.436	0.040	08-01-2024	CONTROL
PC_QL03	7406130.629	591442.569	2300.363	0.005	08-01-2024	CONTROL
PC_QL04	7406010.162	591479.492	2300.449	0.010	08-01-2024	CONTROL
PC_QL05	7405938.588	591346.401	2300.450	0.020	08-01-2024	CONTROL
PC_QL06	7405787.901	591412.081	2300.497	0.010	08-01-2024	CONTROL
PC_QL07	7405714.269	591413.769	2300.527	0.020	08-01-2024	CONTROL
PC_QL08	7405629.914	591614.351	2300.735	0.005	08-01-2024	CONTROL
PC_QL09	7405627.643	591674.617	2300.791	0.090	08-01-2024	CONTROL
PC_QL10	7405655.794	591680.972	2300.790	0.050	08-01-2024	CONTROL
PC_QL11	7405717.284	591647.399	2300.648	0.030	08-01-2024	CONTROL
PC_QL12	7405697.698	591581.389	2300.541	0.050	08-01-2024	CONTROL
PC_QL13	7405698.291	591516.110	2300.539	0.010	08-01-2024	CONTROL
PC_QL14	7405869.695	591373.089	2300.485	0.010	08-01-2024	CONTROL
PC_QL15	7403946.938	593024.548	2300.687	0.030	09-01-2024	CONTROL
PC_QL16	7403926.614	593067.075	2300.659	0.010	09-01-2024	CONTROL
PC_QL17	7403952.320	593114.741	2300.652	0.010	09-01-2024	CONTROL
PC_QL18	7403832.928	593158.043	2300.622	0.005	09-01-2024	CONTROL
PC_QL19	7403742.323	593219.349	2300.687	0.020	09-01-2024	CONTROL
PC_QL20	7403581.162	593126.201	2300.654	0.040	09-01-2024	CONTROL
PC_QL21	7403562.624	593478.254	2301.199	0.005	09-01-2024	CONTROL
PC_QL22	7403555.505	593641.156	2301.491	-	09-01-2024	CONTROL
PC_QL23	7403982.575	592854.247	2300.735	0.030	09-01-2024	CONTROL
PC_QL24	7404022.766	592708.633	2300.739	0.050	09-01-2024	CONTROL
PC_QL25	7403916.943	592615.715	2300.711	0.020	09-01-2024	CONTROL

Nota: PC\_QL22 sin medición de Espesor de columna de agua a 1.2m del borde.



**Tabla N°6. Información relacionada con el suelo, ID, ubicación, color, textura y tamaño. Fuente ATyGeo, enero 2024.**

ID	UBICACIÓN	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO
PC_QL01	BORDE DEL AGUA	L6-T2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL02	BORDE DEL AGUA	L8-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL03	BORDE DEL AGUA	M4-S2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL04	BORDE DEL AGUA	L7-Q1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL05	BORDE DEL AGUA	M3-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL06	BORDE DEL AGUA	P1-S2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL07	BORDE DEL AGUA	N2-P1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL08	BORDE DEL AGUA	M4-O2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL09	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL10	BORDE DEL AGUA	L1-P1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL11	BORDE DEL AGUA	M2-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL12	BORDE DEL AGUA	A4-L1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL13	BORDE DEL AGUA	O2-P1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL14	BORDE DEL AGUA	P1-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL15	BORDE DEL AGUA	B1-O2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL16	BORDE DEL AGUA	P1-S2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL17	BORDE DEL AGUA	M8-N2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL18	BORDE DEL AGUA	L8-N4	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL19	BORDE DEL AGUA	M9-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL20	BORDE DEL AGUA	B1-O1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL21	BORDE DEL AGUA	A3-R1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL22	BORDE DEL AGUA	A2-P3	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL23	BORDE DEL AGUA	M1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL24	BORDE DEL AGUA	M1-P1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL25	BORDE DEL AGUA	O3-S5	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS

**Tabla N°7. ID y descripción general del sector donde se midieron los puntos de control. Fuente ATyGeo, enero 2024.**

ID	DESCRIPCION GENERAL
PC_QL01	SUELO BLANDO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL02	SUELO BLANDO DE CORTEZA BLANQUESINA CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES SUBMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL03	SUELO BLANDO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL04	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL05	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL06	SUELO BLANDO CON NODULOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES SUBMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL07	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON VEGETACION EN EL BORDE Y DENTRO DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL08	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS Y VEGETACION EN EL BORDE Y DENTRO DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL09	SUELO BLANDO DE CORTEZA BLANQUISINA CON NODULOS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL10	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS TROMBOLITOS Y ABUNDANTE VEGETACION EN EL BORDE Y DENTRO DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL11	SUELO BLANDO CON NODULOS Y ABUNDANTE VEGETACION DENTRO Y FUERA DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL12	SUELO BLANDO CON NODULOS Y ABUNDANTE VEGETACION DENTRO Y FUERA DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL13	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS Y ABUNDANTE VEGETACION EN EL BORDE Y DENTRO DEL AGUA SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL14	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA EN LA CARA OPUESTA DEL CUERPO LACUSTRE
PC_QL15	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA
PC_QL16	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS TROMBOLITOS Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA
PC_QL17	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS Y CAPA SALINA SOBRE EL AGUA CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA EN LA CARA OPUESTA DEL CUERPO LACUSTRE

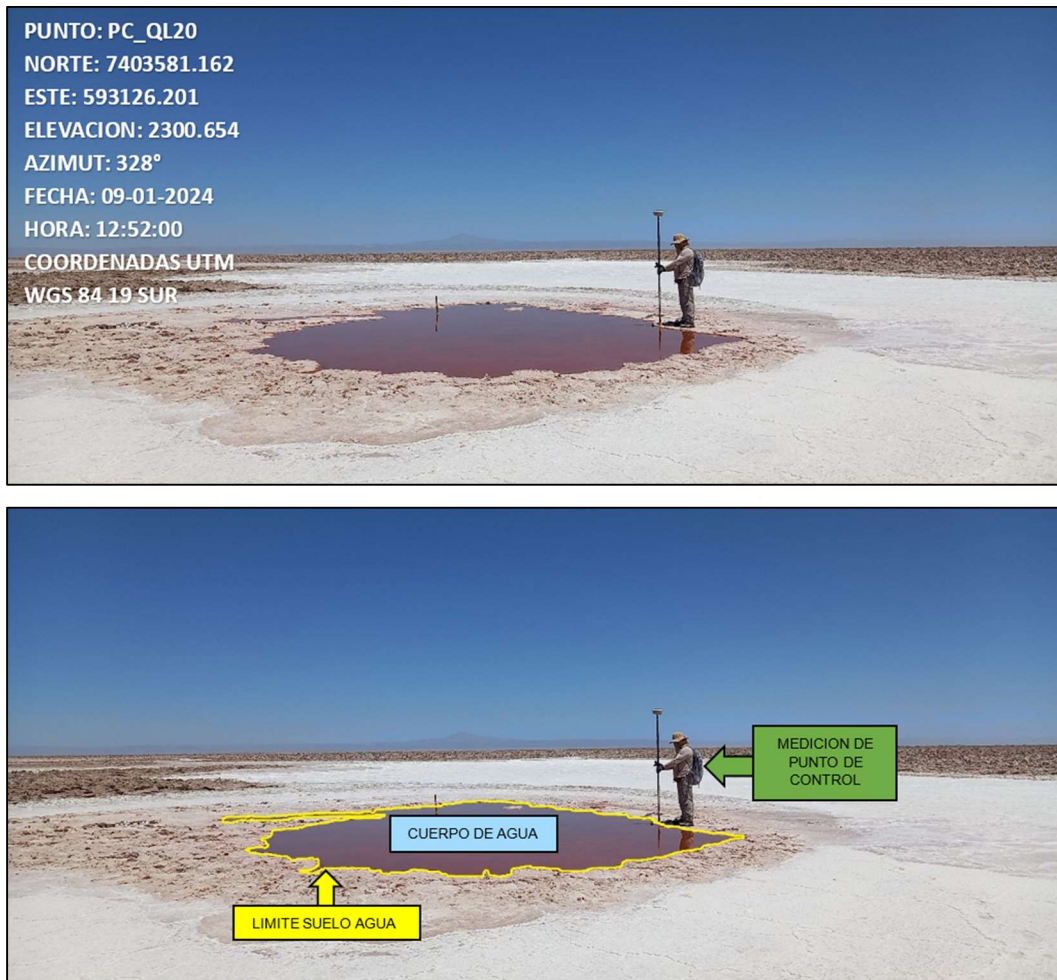
PC_QL18	SUELO BLANDO Y LODOSO CON CAPA SALINA SOBRE EL AGUA Y HUELLAS DE FLAMENCOS SIN PRESENCIA DE AVES EN EL SECTOR CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA EN LA CARA OPUESTA DEL CUERPO LACUSTRE
PC_QL19	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS Y TROMBOLITOS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL20	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS DE TEXTURA BOTROIDAL GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES SUBMETRICAS CON PINACULOS NO SUPERIORES A 0.20m DE ALTURA EN LA CARA OPUESTA DEL CUERPO LACUSTRE
PC_QL21	SUELO BLANDO Y LODOSO CON GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL22	PC MEDIDO AL BORDE SURESTE DE POZO EXCAVADO DE 3.5 POR 2.8 METROS APROXIMADOS CON PROFUNDIDAD SUPERIOR A 2 METROS Y GRIETAS DE SECAMIENTO CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL23	SUELO BLANDO Y LODOSO CON NODULOS Y TROMBOLITOS CON VEGETACION CERCANA AL PUNTO MEDIDO SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL24	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS ABUNDANTE VEGETACION EN EL BORDE DEL AGUA Y GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES CENTIMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS
PC_QL25	SUELO BLANDO BLANQUESINO CON NODULOS ESCASA VEGETACION EN EL BORDE Y DENTRO DEL AGUA CON GRIETAS DE SECAMIENTO DE DIMENSIONES SUBMETRICAS SIN PRESENCIA DE PINACULOS

### 5.3.3 RESPALDO FOTOGRAFICO



**Fotografía N°3. Punto de control PC\_QL11.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**



**Fotografía N°4. Punto de control PC\_QL20. De las dos fotografías entregadas, la superior es la original y la inferior es una interpretación de terreno.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

#### **5.4 RESUMEN DE MEDICION DE PUNTOS DE CONTROL**

Según la información obtenida en terreno, se debe indicar que fueron medidos 25 puntos de control en total. En la Tabla N°8 se entrega un resumen de la cantidad de puntos de control medidos por cada laguna.



**Tabla N°8. Resumen de la cantidad de puntos de control medidos.**

**Fuente ATyGeo, enero 2024.**

LAGUNA	CANTIDAD
AGUAS DE QUELANA	25
DESBORDES SUR	0
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>

## 6. CONCLUSIÓN

A partir de las mediciones realizadas en las superficies lacustres en el Salar de Atacama se debe indicar que:

Se midieron 25 puntos de control. En la siguiente Tabla se entrega un resumen de los puntos de control medidos por laguna.

LAGUNA	CANTIDAD
AGUAS DE QUELANA	25
DESBORDES SUR	0
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>

Las mediciones se realizaron con equipos GNSS diferencial marca Trimble modelo R4, utilizando técnica de medición PPK, obteniendo precisiones centimétricas, de acuerdo con las características de los equipos, las cuales son obtenidas del documento “Hoja de datos Sistema Trimble R4 GNSS”, indicadas en la siguiente tabla:

CARACTERISTICA	VALORES
PRECISION HORIZONTAL	8 mm + 0,5 ppm
PRECISION VERTICAL	15 mm + 0,5 ppm
INICIALIZACION	< 8 segundos
CONFIABILIDAD	99.90%

En el sector de Aguas de Quelana se observó presencia de flamencos y otras aves.

La actividad se realizó parcialmente, limitada por la presencia de flamencos, lo que propició el cese prematuro de actividades el primer día de mediciones.

El tipo de suelo es variado, encontrando características diversas en cuanto a colores, texturas y tamaños, dando cuenta de la elevada heterogeneidad superficial.

En cuanto al espesor de la columna de agua, esta fue medida a 1.2m desde cada Punto de Control en dirección al azimut de la foto 1, encontrando distintas alturas, las cuales fluctúan entre 0.005 m y 0.090 m, obteniendo como promedio 0.024 m.

Las condiciones ambientales de los días de mediciones fueron cielo despejado, sin viento y muy caluroso.

También, se debe señalar que las malas condiciones de los caminos de acceso demoran y complican el tránsito vehicular.

La medición de puntos de control en laguna Desbordes Sur se suspendió porque el Consejo de Pueblo Atacameños cerró los caminos de acceso al Salar de Atacama.

Este informe es ejecutado bajo el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama” y en particular en función 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 Infracional 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 a la Acción N° 19: Robustecer el monitoreo de la superficie lagunar mediante imágenes satelitales de alta resolución con una frecuencia trimestral.

## 7. REFERENCIAS

Para confeccionar este informe se utilizaron como referencias los siguientes documentos:

- RCA 226/2006: “Cambios y Mejoras en la Operación Minera en el Salar de Atacama”.
- PdC, 2022: Programa de Cumplimiento año 2022, RES. EX. N°38/ROL F-041-2016.
- Resolución Exenta N° 223, Superintendente de Medioambiente, 26 de marzo del 2015.
- Toma de puntos de control en terreno, Memorando SQM 2023.
- Hoja de datos Sistema Trimble R4 GNSS, Trimble Navigation Limited, 2013.

## 8. ANEXOS

El informe de Levantamiento de Superficies Lacustres contempla archivos digitales, los cuales fueron cargados en carpeta compartida de plataforma SQM denominada “1

---

Mediciones Lacustres”, en “8 Campaña ATyGeo - Enero 2024”, y “01 Puntos de Control Enero 2024”. Estos archivos digitales contienen toda la información del trabajo realizado, los cuales son:

- 1\_Informe
- 2\_Planilla
- 3\_Fotos y videos
- 4\_Shape
- 5\_Kmz
- 6\_Csv
- 7\_Referencias
- 8\_Archivos brutos

## Informe Topográfico:

**SL-00-IT-0016\_REV.0**

### Levantamiento de Superficies Lacustres

#### Medición de puntos de control



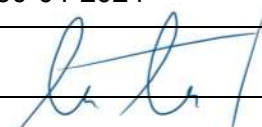
**periodo abril 2024**

**Salar de Atacama – SQM, Región de**

**Antofagasta**

---

Martes, 30 de abril de 2024

<b>ATyGeo</b>	<b>ATyGeo</b>	
Nombre: Cristian Trigo T.	Nombre: Verónica Villalobos R.	Nombre:
Fecha: 30-04-2024	Fecha: 30-04-2024	Fecha:
Firma: 	Firma: 	Firma:



## 1. RESUMEN

El Contrato Marco denominado “Servicios de Levantamiento de estacas perimetrales y toma de puntos de control de terreno, Salar de Atacama”, contempla el monitoreo de las superficies lacustres en los sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana.

El presente informe entrega los resultados de la toma de Puntos de Control como apoyo al cálculo de cuerpos de agua superficial vía imagen satelital para el periodo abril 2024.

Este monitoreo es desarrollado bajo el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama”. Los puntos de control responden a la metodología establecida en la RES-EX 244/2010.

El trabajo se realizó entre los días 01 y 25 de abril, ejecutando la toma de puntos de control en los sectores denominados Desborde Sur, Laguna Barros Negros, Aguas de Quelana y Laguna Chaxa.

La medición de puntos de control en la laguna Puilar debía llevarse a cabo el 25 de abril, pero fue cancelada por el Guardaparque de CONAF ya que se estaba realizando la actividad de monitoreo de flamencos alto andino e instalación de transmisores satelitales.

La medición de puntos de control en las lagunas Salada, Saladita y Desborde de laguna Interna del Sistema Peine no fue realizada porque la Comunidad Atacameña de Peine no autorizó el ingreso debido al periodo reproductivo de los flamencos.

En la Tabla N°1 se entrega una lista de las lagunas y la fecha de mediciones.

**Tabla N°1. Lista de las lagunas y su fecha de medición.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

RESUMEN DE MEDICIONES DE SUPERFICIES LACUSTRES			
LAGUNA	SECTOR	FECHA MEDICION	OBSERVACION
DESBORDE SUR	SONCOR	01 y 02-04-2024	ACTIVIDAD REALIZADA
AGUAS DE QUELANA	AGUAS DE QUELANA	11, 15 y 16-04-2024	ACTIVIDAD REALIZADA
BARROS NEGROS	SONCOR	12 y 13-04-2024	ACTIVIDAD REALIZADA
CHAXA	SONCOR	22-04-2024	ACTIVIDAD REALIZADA
PUILAR	SONCOR	25-04-2024	ACTIVIDAD CANCELADA

En la Tabla N°2 se entrega un resumen de los puntos de control medidos en este periodo.

**Tabla N°2. Resumen de medición de puntos de control.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024**

PUNTOS DE CONTROL ABRIL 2024	
LAGUNA	CANTIDAD
DESBORDE SUR	34
AGUAS DE QUELANA	43
BARROS NEGROS	27
CHAXA	15
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>

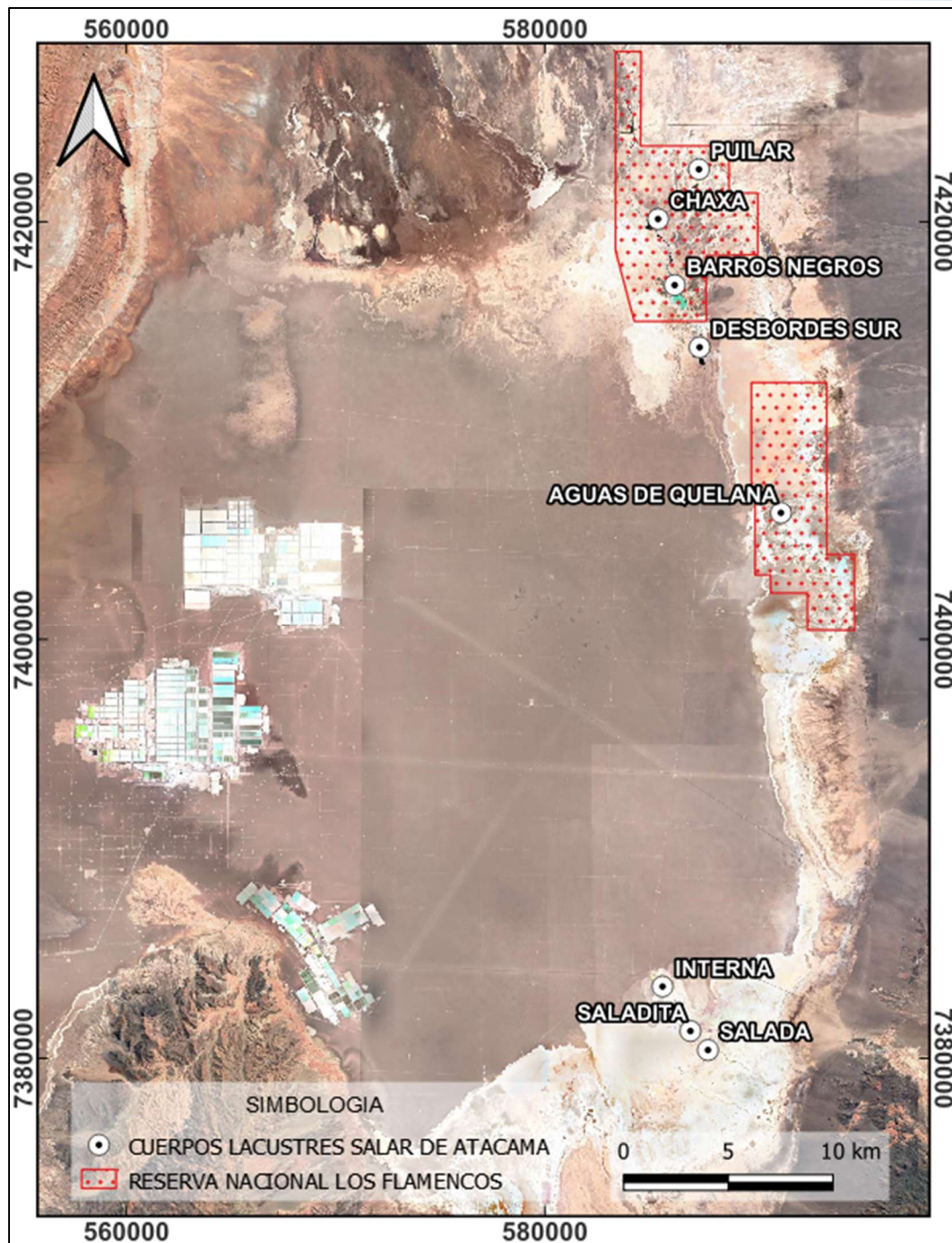
## 2. INTRODUCCION

SQM solicitó a ATyGeo el levantamiento topográfico de puntos de control en superficies lacustres del Salar de Atacama para el periodo abril 2024, en los sistemas de Soncor, Peine y Aguas de Quelana. Esto en el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama”.

Los puntos de control responden a la metodología establecida en la RES-EX 244/2010.

En este informe se entregan los resultados del servicio de toma de puntos de control en las superficies lacustres, donde se obtienen datos de posición, características generales del suelo, existencia de vegetación y profundidad de cuerpos de agua.

En la Figura N°1 se entrega la ubicación general de las superficies lacustres del Salar de Atacama.



**Figura N°1. Ubicación general de las superficies lacustres.**

**Sistema coordinado UTM, Datum WGS84, Zona 19S**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

### 3. OBJETIVOS

- Medir puntos de control de superficies lacustres en el Salar de Atacama, entregando información relevante de la posición con coordenadas precisas, las características generales o fisionómicas del suelo, la presencia de vegetación y la profundidad de cuerpos de agua, para apoyar al cálculo de extensión lacustre con imágenes satelitales de alta resolución.

### 4. MATERIALES Y METODOS

#### 4.1 MATERIALES

Los materiales y equipos utilizados para esta labor se resumen en la Tabla N°3.

**Tabla N°3. Materiales y equipos.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

MATERIALES Y EQUIPOS		
ITEM	MATERIALES Y EQUIPOS	UTILIZACION
1	GPS DIFERENCIAL MARCA TRIMBLE MODELO R12i	MEDICION DE PUNTOS DE CONTROL CON METODO PPK
2	TRIPODE DE FIBRA	SOPORTE PARA GPS BASE
3	JALON DE FIBRA MARCA TRIMBLE, PORTA GPS MOVIL, DE 2 METROS DE ALTURA	UTILIZADO COMO ESCALA GRAFICA EN LAS FOTOGRAFIAS
4	CAMIONETA 4X4	TRASLADO A LAS SUPERFICIES LACUSTRES
5	JARDINERA CON BOTAS PVC	PROTECCION AL CAMINAR POR EL BORDE DE LAS LAGUNAS
6	BALACLAVA, BANDANA, GORRO LEGIONARIO, GUANTES, LENTES, BLOQUEADOR SOLAR	PROTECCION SOLAR AL CAMINAR POR LAS SUPERFICIES LACUSTRES
7	ROPA DE COLOR BEIGE	ROPA SOLICITADA PARA EVITAR AHUYENTAR A LAS AVES

#### 4.2 METODOS

El servicio consiste en realizar mediciones de puntos de control de las superficies lacustres en los sectores Aguas de Quelana, laguna Chaxa, laguna Puilar, laguna Barros Negros, Desborde Sur, laguna Salada, laguna Saladita y Desborde de la laguna Interna.

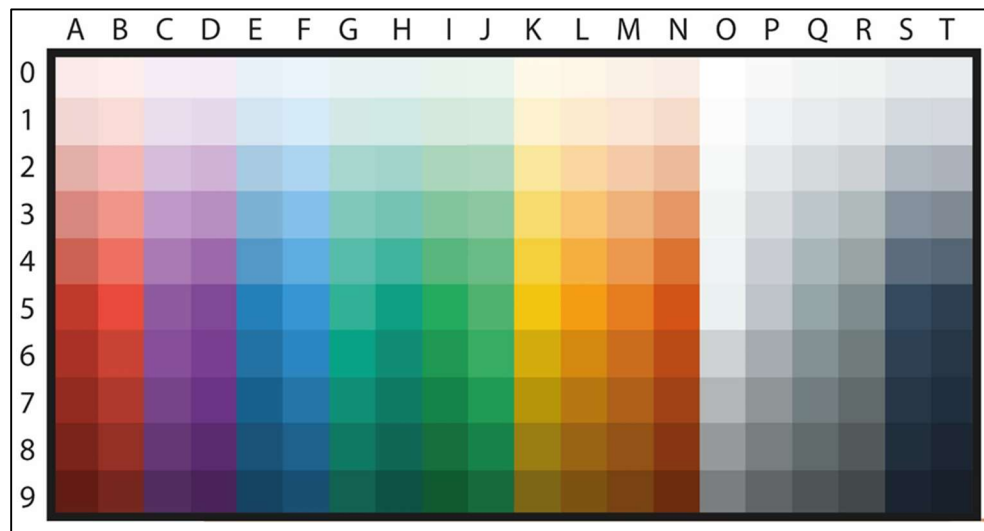
La medición de puntos de control se debe realizar en sistema coordenado UTM, Datum WGS-84, Zona 19 Sur, EGM96, incluyendo la elevación ortométrica (m.s.n.m.).

Se debe indicar características del suelo como color, textura y tamaño, vegetación y fauna existente, espesor de columna de agua, generando respaldos fotográficos orientados y videos en 360°, toda esta información es observada en el borde de los cuerpos lacustres, donde se mide cada punto de control, lugar que generalmente se encuentra seco, blando o lodoso, o una mezcla de ellos.

Para las características del suelo, se tomarán en cuenta cualidades generales de tipo cualitativas y cuantitativas (aspecto, color de referencia, tipo de textura y presencia o no de vegetación y profundidad de columna de agua a 1.2m). A continuación, se describe en detalle cada una de ellas.

#### 4.2.1 COLOR

El color del suelo debe ser escogido en referencia a la matriz de colores de la Figura N°2.



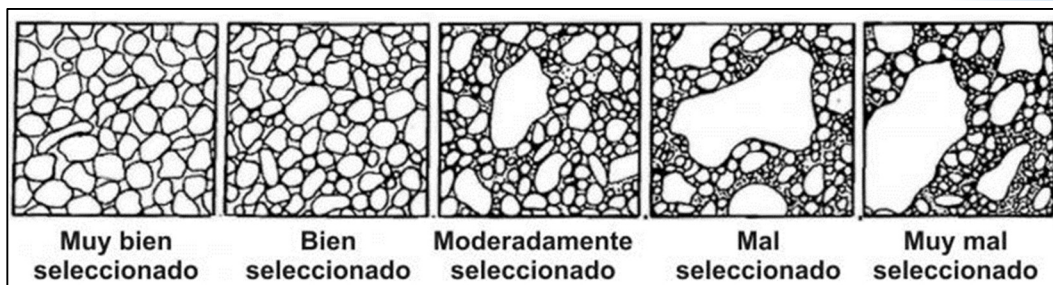
**Figura N°2. Matriz de colores de referencia para indicar color del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

#### 4.2.2 TEXTURA

La textura del suelo debe ser escogida en relación con las imágenes de referencia indicadas en la Figura N°3.



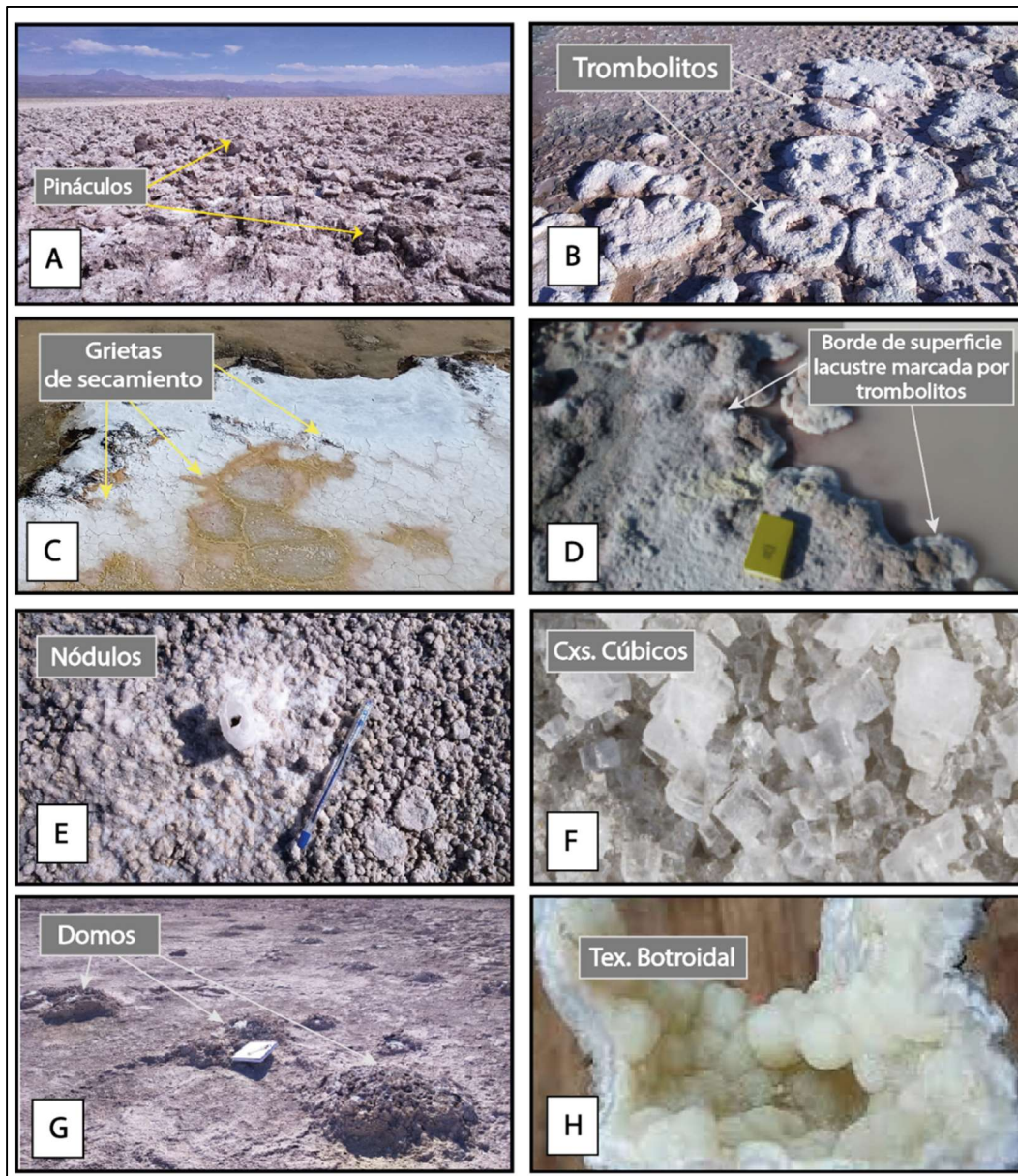


**Figura N°3. Imágenes de referencia para indicar textura del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

Por otro lado, es necesario utilizar descripciones texturales de costras salinas, depósitos sedimentarios evaporíticos de mayor predominancia en el Salar, así como declarar ciertas morfologías típicas en estos ambientes. En este sentido, se entiende por textura al “aspecto”, y corresponde a la forma y distribución de granos minerales, lo que permite en primer orden comprender las condiciones fisicoquímicas y/o ambientales de su formación. Dentro de las principales formas y morfologías vistas en terreno, se han compilado y seleccionados las cercanas a cuerpos de agua. En la Figura N°4, se muestran diferentes fotografías de apoyo para descripción en terreno de un punto de control. En estas fotografías se puede observar:

- A: Pináculos, formados por evaporación intensa en ambientes áridos, pueden ser caracterizados por su geometría o tamaño relativo.
- B: Trombolitos, formas circulares formadas producto de actividad biológica en ambientes dulces o mixtos.
- C: Grietas de secamiento, geometrías poligonales formadas por la pérdida de agua o humedad.
- D: Trombolitos como morfología delimitadora de superficie lacustre.
- E: Costra con textura nodular, a menudo dispuestos en patrones repetitivos.
- F: Cristales cúbicos de halita, indica condiciones de alta salinidad y precipitación lenta.
- G: Domos, formados por dilución adyacente.
- H: Textura botroidal o en almohadilla



**Figura N°4: Descripciones texturales de costras salinas.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

Estas características son evidenciadas en la columna de textura, no obstante, algunos parámetros como estructuras sedimentarias o aspectos relevantes encontrados en el punto de control son especificadas en el apartado de “Descripción General”.

### 4.2.3 TAMAÑO

El tamaño de las partículas de terreno se escogerá de acuerdo con lo indicado en la Figura N°5.

Clastos sedimentarios		Tamaño del clasto en mm.
G R A V A	Bloques	256
	Grava	64
	Guijarro	4
	Granos	2
A R E N A	Arena muy gruesa	1
	Arena gruesa	0.5
	Arena media	0.25
	Arena fina	0.125
	Arena muy fina	0.032
		0.004
L O D O	Limo	
	Arcilla	

**Figura N°5: Escala granulométrica para tamaño de las partículas del suelo.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**

El tamaño seleccionado hace referencia al sedimento o partículas observables en el punto de control y, en particular, a la zona próxima del mismo con presencia de agua.

### 4.2.4 ESPESOR COLUMNA DE AGUA

Se refiere a la medición que comprende la longitud desde la base o fondo del cuerpo de agua a la superficie. El espesor de columna de agua se debe medir de acuerdo con lo indicado en la Figura N°6.



**Figura N°6: Medición de espesor de la columna de agua.**

**Fuente “Toma de puntos de control en terreno” SQM 2023.**



#### 4.2.5 REGISTRO FOTOGRAFICO ORIENTADO

Junto con todos los datos del suelo obtenidos, se debe entregar un registro fotográfico de los puntos de control, que incluya una fotografía del suelo donde se midió el punto de control, fotografías orientadas donde se entregue su azimuth, incluir un elemento que pueda ser utilizado como escala de medida y videos en 360°. Los elementos incluidos en las fotografías para ser utilizados como escala son:

- En las fotografías del suelo donde se tomó el punto de control se utiliza un plumón destacadador de color verde de 0.12 m de largo.
- En las fotografías orientadas y los videos se usa el jalón de fibra donde se posiciona el equipo GNSS móvil, el cual tiene una altura fija de 2 metros.

De manera adicional, se registra la presencia de vegetación y aves, la cual se indica bajo el siguiente criterio:

- VEGETACION:

SI = vegetación en el mismo lugar o cercana al Punto de Control.

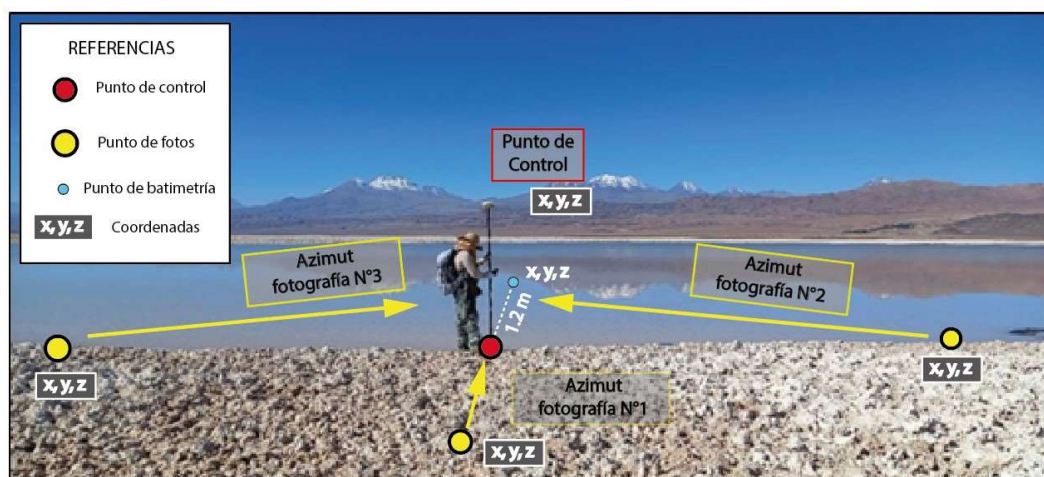
NO = sin vegetación en el lugar o en las cercanías.

- AVES:

SI = aves en el sector o cerca del Punto de Control.

NO = no se ven aves en el sector ni en las cercanías.

En la Figura N°7 se muestra una fotografía referencial donde se detallan los datos obtenidos de terreno en cuanto a las posiciones de fotografías, la ubicación del punto de control y el punto de batimetría ubicado 1.2 m dentro del agua siguiendo el azimuth de la fotografía N°1.



**Figura N°7. Fotografía referencial donde se observa posición de las fotografías, el punto de control y el punto de batimetría. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

---

El procedimiento para la toma de los puntos de control es el siguiente:

- El operador 1 se posiciona en el punto de control (círculo de color rojo en la figura N°7) y toma la medición con GNSS.
- El operador 2 se posiciona de frente al operador 1 mirando en dirección a la laguna. Toma la fotografía 1 y el video en 360°. Deja un plumón en el lugar como referencia.
- El operador 2 se cambia de posición quedando al borde de la laguna mirando de frente al operador 1, teniendo a la derecha la laguna. Toma la fotografía 2 y deja un plumón en el lugar como referencia.
- El operador 2 se cambia de posición quedando al borde de la laguna mirando de frente al operador 1, teniendo a la izquierda la laguna. Toma la fotografía 3 y espera en la posición al operador 1.
- El operador 1 posiciona un plumón destacador en el lugar donde midió el punto de control. Toma la fotografía del suelo y retira el plumón destacador.
- El operador 1 mide con un flexómetro 1.2m hacia dentro de la laguna siguiendo el azimut de la fotografía 1 (círculo de color celeste en la figura N°7), mide con el flexómetro la profundidad de la capa de lodo y la altura del agua.
- El operador 2 registra en una libreta los datos dictados por el operador 1.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 2 ubicada por el plumón de referencia, mide el punto con GNSS y retira el plumón.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 1 ubicada por el plumón de referencia, mide el punto con GNSS y retira el plumón.
- El operador 1 se cambia de posición al lugar donde el operador 2 tomó la fotografía 3, mide el punto con GNSS.
- El operador 2 registra en una libreta los datos de suelo, vegetación y aves del sector.
- Ambos operadores se dirigen al siguiente punto de control.



Las unidades de medición utilizadas son:

- **Coordenadas (m)** = metros
- **Elevaciones (m)** = metros
- **Distancias (m)** = metros
- **Ángulo y Azimut (°)** = grados sexagesimales (0° a 359°)

#### 4.3 TECNICA DE MEDICION

Para este trabajo se utilizaron equipos GNSS diferencial marca Trimble modelo R12i, midiendo con técnica Cinemática Postprocesada (PPK), la cual se detalla a continuación:

##### 4.3.1 PPK (POST PROCESSED KINEMATIC)

Cinemática postprocesada. Esta técnica permite obtener coordenadas precisas con procesamiento de datos en etapa de gabinete. Se requiere un equipo GNSS diferencial modo base en un punto de referencia conocido, recibiendo señal satelital y guardando los datos en la memoria; un equipo GNSS diferencial modo móvil desplazándose en terreno midiendo los puntos, recibiendo señal satelital y guardando los datos en la memoria. Luego, en etapa de gabinete, se procesan los datos guardados, obteniendo coordenadas y elevaciones con precisiones centimétricas.

Las características de precisión y confiabilidad de los equipos GNSS utilizados se entregan en Tabla N°4 y son obtenidos del documento “Trimble R12i GNSS\_Hoja de datos\_español”

**Tabla N°4. Características de equipos GNSS Trimble R12i.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CARACTERISTICA	VALORES
PRECISION HORIZONTAL	8 mm + 1 ppm RMS
PRECISION VERTICAL	15 mm + 1 ppm RMS
INICIALIZACION	< 8 segundos

Notas:

PPM = Partes por millón.

RMS = Error aleatorio que degrada la exactitud de la posición en cualquier dirección.

## 5. RESULTADOS

Se entregan los resultados obtenidos de las mediciones de puntos de control en las Superficies Lacustres del Salar de Atacama, periodo abril 2024.

A continuación, se detallan los trabajos realizados:

### 5.1 DESBORDE SUR

#### 5.1.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo de medición de puntos de control en el sector Desborde Sur se desarrolló los días 01 y 02 de abril de 2024, utilizando como punto de referencia el Pozo L2-15. El sector se dividió en tres zonas, de las cuales el primer día se cubrió una zona y las dos siguientes fueron cubiertas el segundo día.

Ambos días, el personal de ATyGeo instaló un equipo GNSS base en el Pozo L2-15, utilizando la técnica PPK para realizar las mediciones. En la Fotografía N°1 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo L2-15.



**Fotografía N°1. Pozo L2-15 con el equipo GNSS base instalado.**

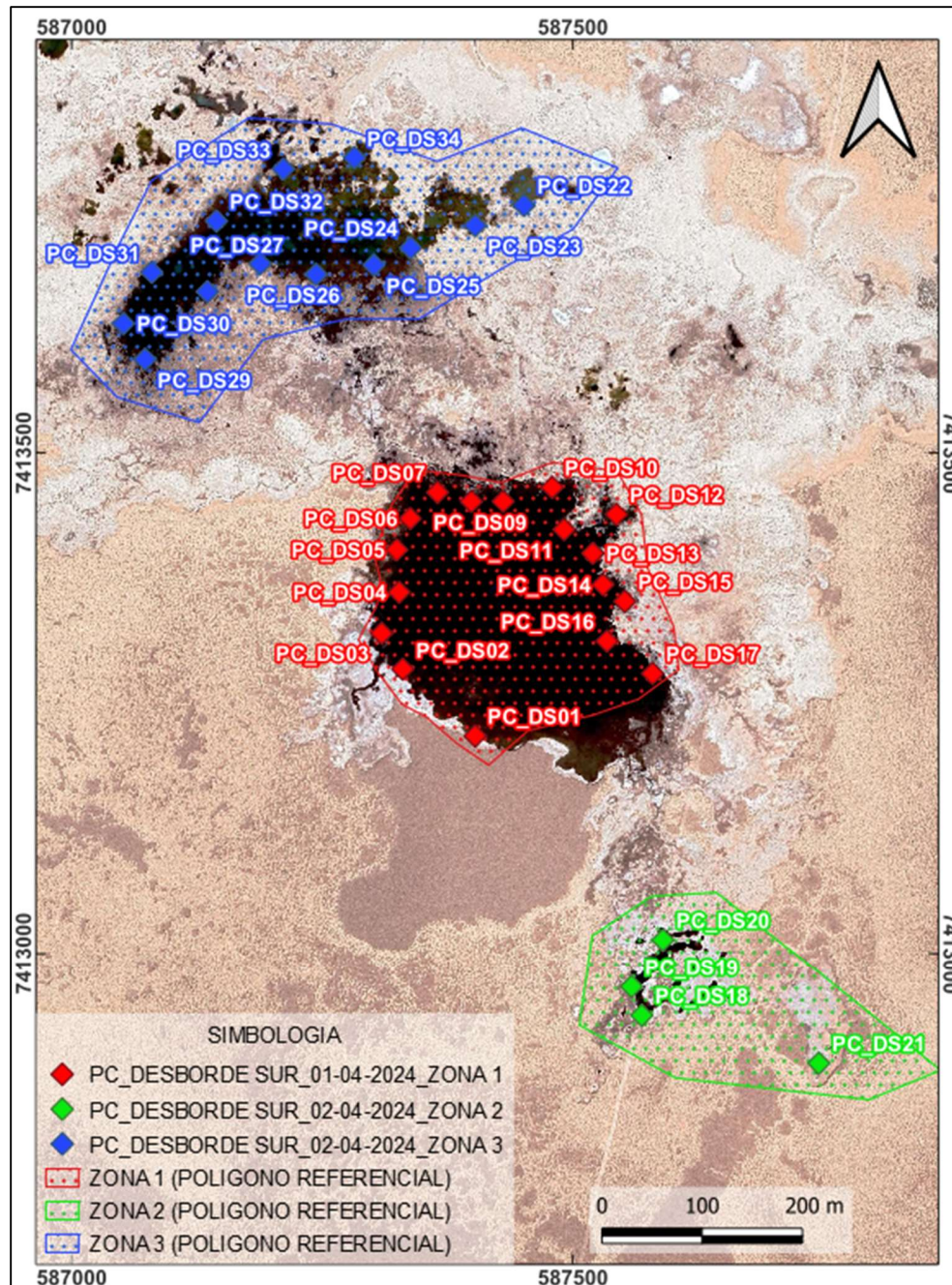
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la Zona 1 se midieron 17 puntos de control, en la Zona 2 se midieron 4 puntos de control y en la Zona 3 se midieron 13 puntos de control.

En total se midieron 34 puntos de control en el sector Desborde Sur.

### 5.1.2 RESULTADOS DE MEDICIONES

En la Figura N°8 se entrega la ubicación de los puntos de control medidos en el sector de Desborde Sur, indicando la fecha de medición de cada punto y la Zona a la que corresponde.



**Figura N°8. Ubicación de los Puntos de control en el sector Desbordamientos Sur y su fecha de medición. Los polígonos de Zonas 1, 2 y 3 son referenciales.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**



En la Tabla N°5 se entrega la información recopilada durante la medición topográfica de los puntos de control, la cual incluye ID, coordenadas norte, este, elevación, espesor de columna de agua medido a 1.2 m desde el punto de control hacia adentro del cuerpo lacustre siguiendo el azimut de fotografía N°1 y la fecha de medición.

**Tabla N°5. Información de ubicación, espesor columna de agua y fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m)	ESPESOR COLUMNA DE AGUA A 1.2m DEL BORDE	FECHA
PC_DS01	7413217.90	587403.01	2298.50	0.18	01-04-2024
PC_DS02	7413284.60	587330.72	2298.49	0.14	01-04-2024
PC_DS03	7413320.28	587309.72	2298.49	0.22	01-04-2024
PC_DS04	7413361.28	587327.17	2298.50	0.15	01-04-2024
PC_DS05	7413403.62	587324.80	2298.50	0.21	01-04-2024
PC_DS06	7413434.94	587338.29	2298.50	0.19	01-04-2024
PC_DS07	7413460.96	587365.43	2298.50	0.10	01-04-2024
PC_DS08	7413451.87	587399.22	2298.49	0.09	01-04-2024
PC_DS09	7413451.92	587430.98	2298.50	0.17	01-04-2024
PC_DS10	7413465.96	587479.87	2298.50	0.09	01-04-2024
PC_DS11	7413423.80	587491.68	2298.49	0.10	01-04-2024
PC_DS12	7413439.06	587544.05	2298.50	0.27	01-04-2024
PC_DS13	7413400.18	587520.36	2298.50	0.27	01-04-2024
PC_DS14	7413368.82	587530.55	2298.49	0.13	01-04-2024
PC_DS15	7413352.14	587552.38	2298.50	0.09	01-04-2024
PC_DS16	7413312.50	587534.55	2298.50	0.14	01-04-2024
PC_DS17	7413280.14	587580.14	2298.50	0.08	01-04-2024
PC_DS18	7412938.23	587569.28	2298.56	0.31	02-04-2024
PC_DS19	7412966.96	587559.19	2298.57	0.52	02-04-2024
PC_DS20	7413014.10	587590.45	2298.58	0.70	02-04-2024
PC_DS21	7412890.67	587746.02	2298.62	0.46	02-04-2024
PC_DS22	7413747.49	587451.70	2298.56	0.23	02-04-2024
PC_DS23	7413727.34	587403.03	2298.50	0.23	02-04-2024
PC_DS24	7413705.13	587338.62	2298.50	0.26	02-04-2024
PC_DS25	7413687.99	587301.96	2298.50	0.19	02-04-2024
PC_DS26	7413678.67	587244.26	2298.50	0.08	02-04-2024
PC_DS27	7413689.24	587188.41	2298.50	0.04	02-04-2024
PC_DS28	7413661.33	587135.72	2298.51	0.09	02-04-2024
PC_DS29	7413593.83	587073.55	2298.51	0.13	02-04-2024
PC_DS30	7413629.53	587052.02	2298.51	0.08	02-04-2024
PC_DS31	7413680.72	587080.28	2298.51	0.10	02-04-2024
PC_DS32	7413731.89	587144.75	2298.50	0.07	02-04-2024
PC_DS33	7413783.84	587211.64	2298.51	0.31	02-04-2024
PC_DS34	7413795.16	587282.50	2298.50	0.15	02-04-2024

En la Tabla N°6 se entrega la información del suelo para los puntos de control medidos, la cual incluye ID, ubicación, color, textura y tamaño.

**Tabla N°6. Información relacionada con el suelo, ID, ubicación, color, textura y tamaño. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	UBICACIÓN	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO
PC_DS01	BORDE DEL AGUA	N9-O1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS02	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS03	BORDE DEL AGUA	P2-T1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS04	BORDE DEL AGUA	P2-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS05	BORDE DEL AGUA	P1-R2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS06	BORDE DEL AGUA	P1-R2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS07	BORDE DEL AGUA	L1-O1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS08	BORDE DEL AGUA	O2-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS09	BORDE DEL AGUA	O1-Q1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS10	BORDE DEL AGUA	M5-N2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS11	BORDE DEL AGUA	L1-O2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS12	BORDE DEL AGUA	M4-N1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS13	BORDE DEL AGUA	M1-O2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS14	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS15	BORDE DEL AGUA	M4-P2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS16	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS17	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS18	BORDE DEL AGUA	M7-M1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS19	BORDE DEL AGUA	N7-P1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS20	BORDE DEL AGUA	N3-P1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS21	BORDE DEL AGUA	M5-N1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS22	BORDE DEL AGUA	M7-P3	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS23	BORDE DEL AGUA	M5-N1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS24	BORDE DEL AGUA	N5-P1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS25	BORDE DEL AGUA	P1-T2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS26	BORDE DEL AGUA	N5-P1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS27	BORDE DEL AGUA	N5-P3	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS28	BORDE DEL AGUA	N4-R2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS29	BORDE DEL AGUA	M2-N5	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS30	BORDE DEL AGUA	M1-N4	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS31	BORDE DEL AGUA	M1-N3	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS32	BORDE DEL AGUA	N3-P1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS33	BORDE DEL AGUA	M1-N2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_DS34	BORDE DEL AGUA	N4-P2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS

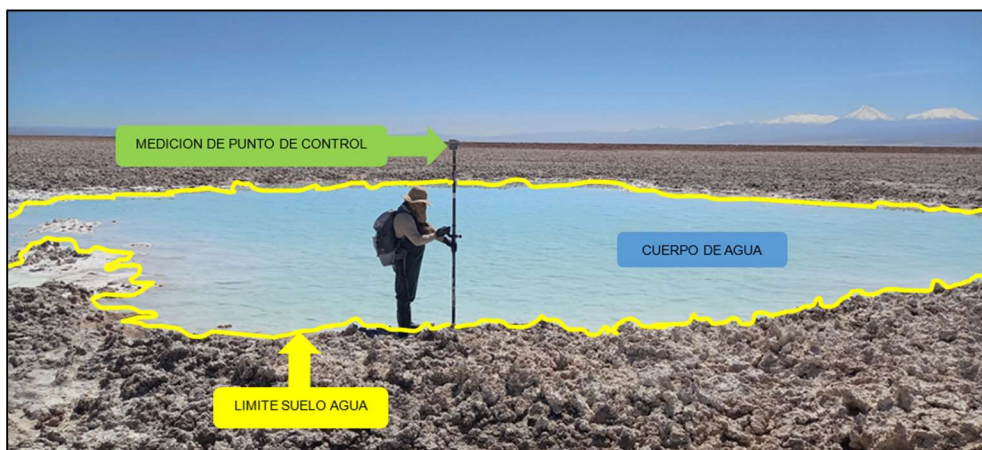


### 5.1.3 RESPALDO FOTOGRAFICO



Fotografía N°2. Punto de control PC\_DS03.

Fuente ATyGeo, abril 2024.



Fotografías N°3 y 4. Punto de control PC\_DS22. De las dos fotografías entregadas, la superior es la original y la inferior es una interpretación de terreno.

Fuente ATyGeo, abril 2024.

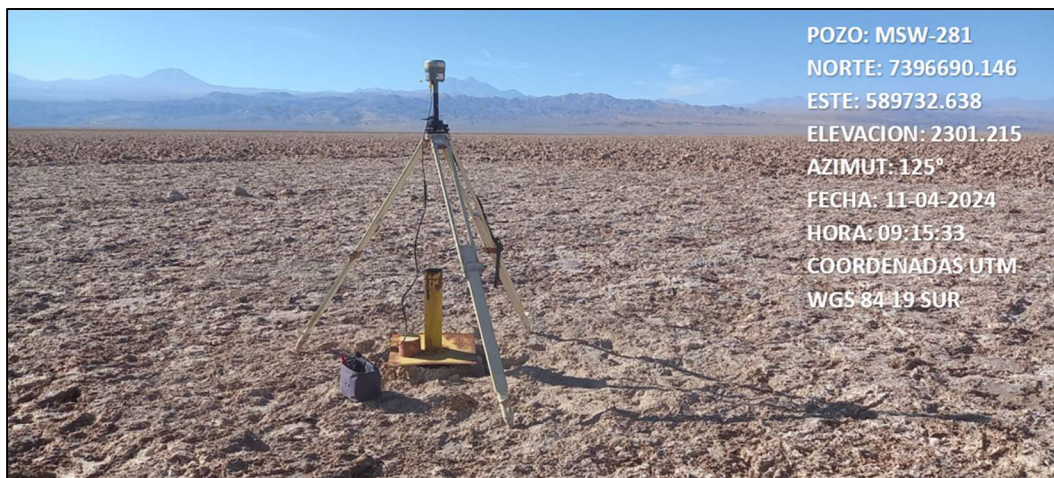
## 5.2 AGUAS DE QUELANA

### 5.2.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo de medición de puntos de control en el sector Aguas de Quelana se desarrolló los días 11, 15 y 16 de abril del 2024, utilizando como puntos de referencia los Pozos MSW-281, L4-5 y L5-13. El sector se dividió en tres zonas, las cuales fueron cubiertas una por día. Se debe indicar que las Zonas 2 y 3 se encuentran dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos, y la Zona 1 está fuera de reserva.

El día 11 de abril, a las 8:30 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con ITO SQM para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Pozo MSW-281 usado como Hito de referencia para las mediciones en Zona 1, donde se procedió a instalar un equipo GNSS base, utilizando la técnica PPK para realizar las mediciones. En la Fotografía N°5 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo MSW-281.



**Fotografía N°5. Pozo MSW-281 con el equipo GNSS base instalado.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la Zona 1 se midieron 10 puntos de control.

El día 15 de abril, a las 9:00 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con Guardaparques de CONAF, para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Pozo L4-5 usado como Hito de referencia para las mediciones en Zona 2, donde se procedió a instalar un equipo GNSS base, utilizando la técnica PPK para realizar las mediciones. En la Fotografía N°6 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo L4-5.





**Fotografía N°6. Pozo L4-5 con el equipo GNSS base instalado.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la Zona 2 se midieron 20 puntos de control.

El día 16 de abril, a las 9:00 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con Guardaparques de CONAF, para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Pozo L5-13 usado como Hito de referencia para las mediciones en la Zona 3, se procedió a instalar un equipo GNSS base, usando la técnica PPK. En la Fotografía N°7 se muestra el equipo GNSS base instalado en el Pozo L5-13.



**Fotografía N°7. Pozo L5-13 con el equipo GNSS base instalado.**

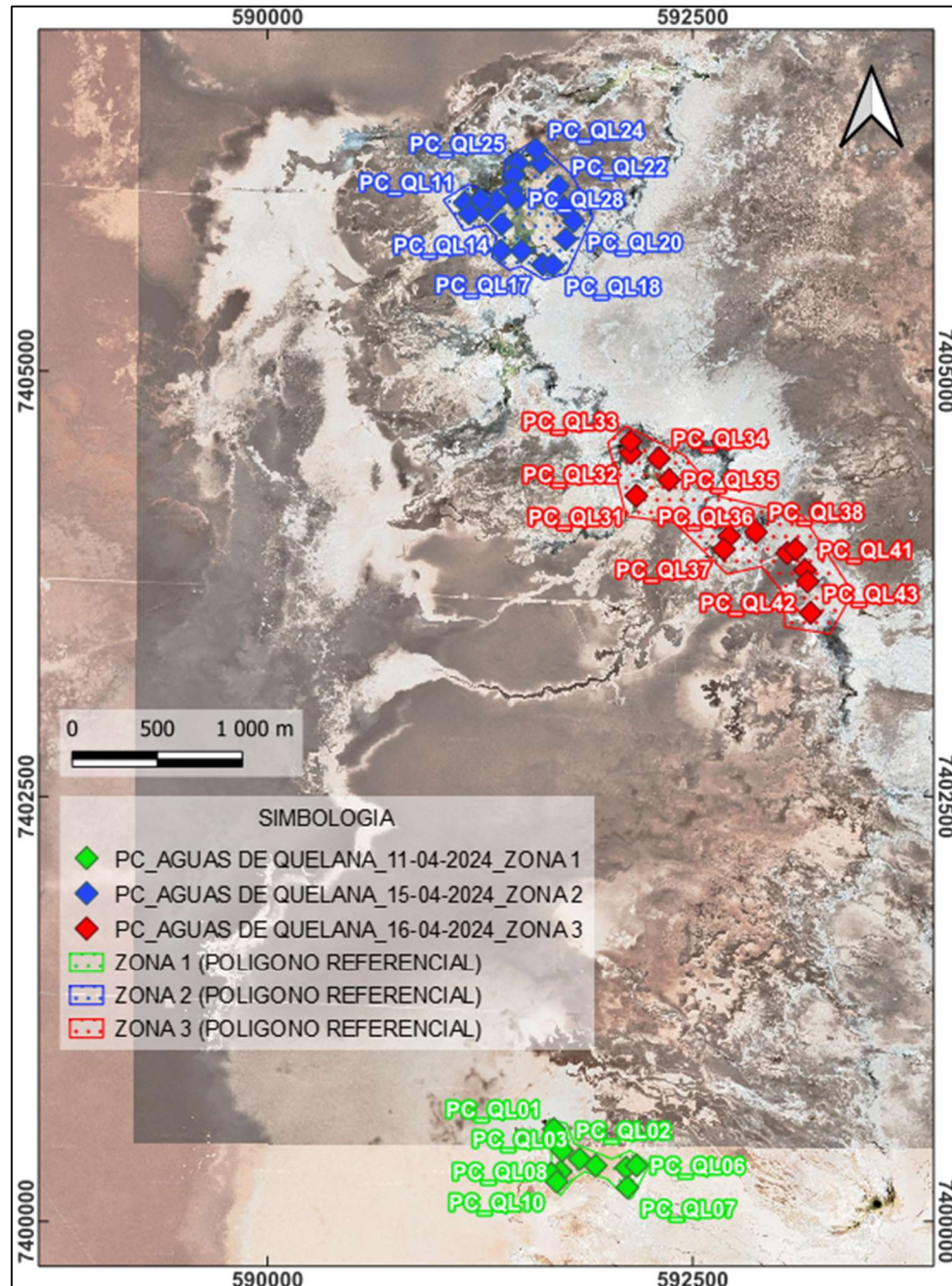
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la Zona 3 se midieron 13 puntos de control.

En total se midieron 43 puntos de control en el sector Aguas de Quelana.

### 5.2.2 RESULTADOS DE MEDICIONES

En la Figura N°9 se entrega la ubicación de los puntos de control medidos en el sector de Aguas de Quelana, indicando la fecha de medición de los puntos y cada Zonas.



**Figura N°9. Ubicación de los Punto de control en el sector Aguas de Quelana y su fecha de medición. Los polígonos de Zonas 1, 2 y 3 son referenciales.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**



En la Tabla N°7 se entrega la información recopilada durante la medición topográfica de los puntos de control, la cual incluye ID, coordenadas norte, este, elevación, espesor de columna de agua medido a 1.2 m desde el punto de control hacia adentro del cuerpo lacustre siguiendo el azimut de fotografía N°1 y fecha de medición.

**Tabla N°7. Información de ubicación, espesor columna de agua y fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m)	ESPESOR COLUMNA DE AGUA A 1.2m DEL BORDE	FECHA
PC_QL01	7400543.67	591683.25	2300.18	0.02	11-04-2024
PC_QL02	7400418.44	591732.06	2300.48	0.01	11-04-2024
PC_QL03	7400368.32	591834.08	2300.60	0.02	11-04-2024
PC_QL04	7400329.30	591929.13	2300.63	0.01	11-04-2024
PC_QL05	7400317.52	592108.50	2300.83	0.03	11-04-2024
PC_QL06	7400330.00	592169.42	2300.98	0.01	11-04-2024
PC_QL07	7400202.01	592116.06	2300.92	0.01	11-04-2024
PC_QL08	7400294.34	591722.66	2300.44	0.01	11-04-2024
PC_QL09	7400281.86	591668.19	2300.44	0.01	11-04-2024
PC_QL10	7400234.62	591701.23	2300.45	0.01	11-04-2024
PC_QL11	7405991.12	591159.26	2300.32	0.04	15-04-2024
PC_QL12	7405926.79	591184.46	2300.34	0.06	15-04-2024
PC_QL13	7405942.49	591291.87	2300.46	0.01	15-04-2024
PC_QL14	7405864.35	591375.20	2300.49	0.01	15-04-2024
PC_QL15	7405708.34	591372.48	2300.49	0.01	15-04-2024
PC_QL16	7405707.17	591493.10	2300.56	0.02	15-04-2024
PC_QL17	7405626.70	591617.38	2300.75	0.01	15-04-2024
PC_QL18	7405622.34	591678.03	2300.82	0.10	15-04-2024
PC_QL19	7405776.74	591753.24	2300.65	0.01	15-04-2024
PC_QL20	7405882.32	591799.82	2300.54	0.01	15-04-2024
PC_QL21	7405966.50	591741.11	2300.50	0.01	15-04-2024
PC_QL22	7406087.67	591708.99	2300.45	0.01	15-04-2024
PC_QL23	7406225.50	591606.50	2300.36	0.01	15-04-2024
PC_QL24	7406302.28	591578.50	2300.30	0.01	15-04-2024
PC_QL25	7406223.34	591470.27	2300.31	0.01	15-04-2024
PC_QL26	7406150.64	591449.23	2300.33	0.03	15-04-2024
PC_QL27	7406063.35	591439.13	2300.39	0.01	15-04-2024
PC_QL28	7406009.62	591461.53	2300.43	0.01	15-04-2024
PC_QL29	7405999.61	591346.40	2300.39	0.01	15-04-2024
PC_QL30	7406007.97	591251.48	2300.32	0.08	15-04-2024
PC_QL31	7404268.46	592167.94	2300.51	0.04	16-04-2024
PC_QL32	7404519.03	592135.50	2300.90	0.01	16-04-2024
PC_QL33	7404587.60	592134.46	2300.89	0.07	16-04-2024
PC_QL34	7404487.33	592300.23	2300.77	0.02	16-04-2024
PC_QL35	7404361.44	592360.39	2300.76	0.08	16-04-2024
PC_QL36	7404031.90	592714.06	2300.75	0.05	16-04-2024
PC_QL37	7403954.60	592682.67	2300.73	0.02	16-04-2024
PC_QL38	7404055.14	592871.33	2300.83	0.06	16-04-2024
PC_QL39	7403931.11	593055.78	2300.70	0.05	16-04-2024
PC_QL40	7403952.87	593104.93	2300.65	0.02	16-04-2024
PC_QL41	7403832.28	593159.44	2300.66	0.04	16-04-2024
PC_QL42	7403764.76	593174.40	2300.66	0.04	16-04-2024
PC_QL43	7403580.52	593192.54	2300.64	0.04	16-04-2024



En la Tabla N°8 se entrega la información del suelo para los puntos de control medidos, la cual incluye ID, ubicación, color, textura y tamaño.

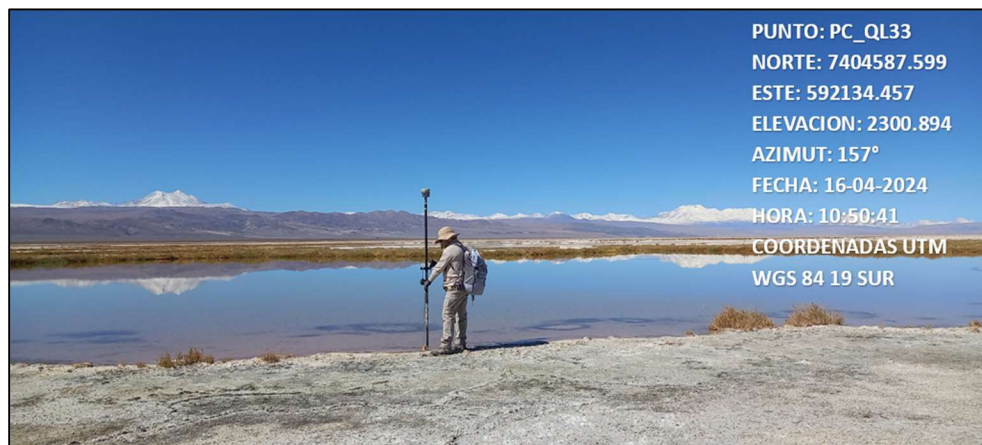
**Tabla N°8. Información relacionada con el suelo, ID, ubicación, color, textura y tamaño. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	UBICACIÓN	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO
PC_QL01	BORDE DEL AGUA	M5-N0	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL02	BORDE DEL AGUA	L1-M3	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL03	BORDE DEL AGUA	L7-M0	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL04	BORDE DEL AGUA	L7-M1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL05	BORDE DEL AGUA	K8-M0	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL06	BORDE DEL AGUA	K7-L0	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL07	BORDE DEL AGUA	L1-T5	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL08	BORDE DEL AGUA	B2-M1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL09	BORDE DEL AGUA	P2-R1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL10	BORDE DEL AGUA	L9-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL11	BORDE DEL AGUA	K7-T2	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL12	BORDE DEL AGUA	K6-R5	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL13	BORDE DEL AGUA	B2-L1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL14	BORDE DEL AGUA	K7-L1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL15	BORDE DEL AGUA	P2-T4	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL16	BORDE DEL AGUA	L1-T1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL17	BORDE DEL AGUA	L1-P2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL18	BORDE DEL AGUA	L8-P2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL19	BORDE DEL AGUA	L8-N0	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL20	BORDE DEL AGUA	L8-N1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL21	BORDE DEL AGUA	L8-M1	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL22	BORDE DEL AGUA	L2-M3	MAL SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL23	BORDE DEL AGUA	L9-M2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL24	BORDE DEL AGUA	L7-M1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL25	BORDE DEL AGUA	K6-N4	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL26	BORDE DEL AGUA	K1-M4	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL27	BORDE DEL AGUA	L2-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL28	BORDE DEL AGUA	L1-M8	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL29	BORDE DEL AGUA	L9-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL30	BORDE DEL AGUA	K6-L1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL31	BORDE DEL AGUA	K7-M1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL32	BORDE DEL AGUA	K1-L6	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL33	BORDE DEL AGUA	K6-L7	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL34	BORDE DEL AGUA	L6-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL35	BORDE DEL AGUA	L1-P1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL36	BORDE DEL AGUA	P1-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL37	BORDE DEL AGUA	B2-M1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL38	BORDE DEL AGUA	M4-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_QL39	BORDE DEL AGUA	L7-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL40	BORDE DEL AGUA	M2-P2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL41	BORDE DEL AGUA	L6-P2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL42	BORDE DEL AGUA	M2-P2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS
PC_QL43	BORDE DEL AGUA	L1-N2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GUIJARROS

### 5.2.3 RESPALDO FOTOGRAFICO



**Fotografía N°8. Punto de control PC\_QL15.**  
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**



**Fotografía N°9. Punto de control PC\_QL33.**  
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

## 5.3 BARROS NEGROS

### 5.3.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo de medición de puntos de control en Laguna Barros Negros se desarrolló entre los días 12 y 13 de abril del 2024, utilizando como punto de referencia oficial el Hito Barros Negros Estación, cuyo certificado de coordenadas fue entregado por SQM.

El primer día, a las 9:00 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con Guardaparques de CONAF y veedor de Comunidad Atacameña de Toconao para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Hito Barros Negros Estación usado como Hito de referencia para este trabajo, donde se procedió a instalar GPS base, utilizando técnica PPK para realizar las mediciones. En Fotografía N°10 se muestra GPS base instalado en Hito Barros Negros Estación.



**Fotografía N°10. Hito Barros Negros Estación con equipo GPS base instalado. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En esta ocasión, se midieron 13 puntos de control.

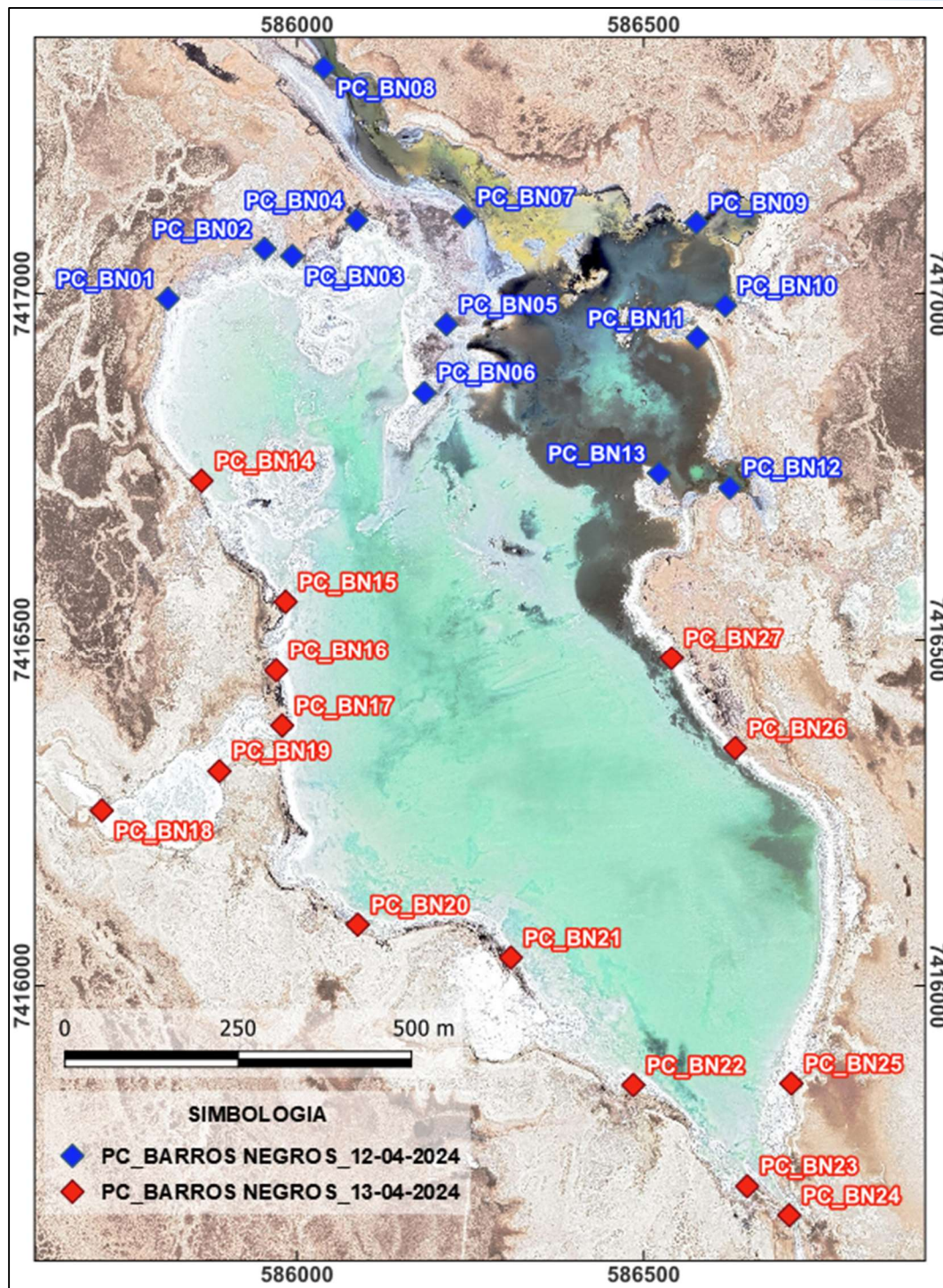
El segundo día, utilizando el mismo punto de referencia y la misma técnica de medición, se continuó el levantamiento topográfico obteniendo 14 puntos de control.

En total se midieron 27 puntos de control en la laguna Barros Negros.

### 5.3.2 RESULTADOS DE MEDICIONES

En la Figura N°10 se entrega la ubicación de los puntos de control medidos en la laguna Barros Negros, indicando la fecha de medición de cada uno.





**Figura N°10. Ubicación de los Puntos de control en la laguna Barros Negros y su fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**



En la Tabla N°9 se entrega la información recopilada durante la medición topográfica de los puntos de control, la cual incluye ID, coordenadas norte, este, elevación, espesor de columna de agua medido a 1.2 m desde el punto de control hacia adentro del cuerpo lacustre siguiendo el azimut de fotografía N°1 y fecha de medición.

**Tabla N°9. Información de ubicación, espesor columna de agua y fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m)	ESPESOR COLUMNA DE AGUA A 1.2m DEL BORDE	FECHA
PC_BN01	7416993.65	585813.98	2299.90	0.01	12-04-2024
PC_BN02	7417065.66	585953.52	2299.89	0.01	12-04-2024
PC_BN03	7417055.42	585993.49	2299.91	0.01	12-04-2024
PC_BN04	7417106.97	586086.07	2299.88	0.01	12-04-2024
PC_BN05	7416956.69	586215.89	2299.90	0.02	12-04-2024
PC_BN06	7416857.69	586184.31	2299.92	0.01	12-04-2024
PC_BN07	7417112.28	586240.92	2299.91	0.01	12-04-2024
PC_BN08	7417327.03	586039.23	2299.90	0.02	12-04-2024
PC_BN09	7417103.45	586576.53	2299.87	0.02	12-04-2024
PC_BN10	7416983.90	586618.07	2299.91	0.03	12-04-2024
PC_BN11	7416937.26	586578.15	2299.89	0.02	12-04-2024
PC_BN12	7416720.88	586624.62	2299.91	0.08	12-04-2024
PC_BN13	7416741.94	586522.61	2299.89	0.03	12-04-2024
PC_BN14	7416730.99	585862.52	2299.91	0.05	13-04-2024
PC_BN15	7416556.37	585983.88	2299.92	0.02	13-04-2024
PC_BN16	7416456.30	585970.29	2299.91	0.02	13-04-2024
PC_BN17	7416376.57	585978.88	2299.94	0.05	13-04-2024
PC_BN18	7416253.86	585718.64	2299.93	0.02	13-04-2024
PC_BN19	7416310.62	585888.31	2299.91	0.03	13-04-2024
PC_BN20	7416089.27	586087.95	2299.92	0.04	13-04-2024
PC_BN21	7416041.71	586308.89	2299.92	0.02	13-04-2024
PC_BN22	7415857.88	586485.50	2299.92	0.03	13-04-2024
PC_BN23	7415711.81	586649.78	2299.93	0.05	13-04-2024
PC_BN24	7415670.05	586710.45	2299.93	0.24	13-04-2024
PC_BN25	7415860.13	586713.47	2299.95	0.01	13-04-2024
PC_BN26	7416343.97	586632.45	2299.93	0.04	13-04-2024
PC_BN27	7416474.22	586540.73	2299.92	0.05	13-04-2024

En la Tabla N°10 se entrega la información del suelo para los puntos de control medidos, la cual incluye ID, ubicación, color, textura y tamaño.

**Tabla N°10. Información relacionada con el suelo, ID, ubicación, color, textura y tamaño. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	UBICACIÓN	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO
PC_BN01	BORDE DEL AGUA	L1-R1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN02	BORDE DEL AGUA	L1-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN03	BORDE DEL AGUA	K1-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN04	BORDE DEL AGUA	A2-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN05	BORDE DEL AGUA	L7-N1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN06	BORDE DEL AGUA	K2-M2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN07	BORDE DEL AGUA	O8-R1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN08	BORDE DEL AGUA	K2-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN09	BORDE DEL AGUA	K7-M1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN10	BORDE DEL AGUA	L2-M1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN11	BORDE DEL AGUA	K2-M3	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN12	BORDE DEL AGUA	L7-R1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN13	BORDE DEL AGUA	M7-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN14	BORDE DEL AGUA	L8-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN15	BORDE DEL AGUA	K7-N1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN16	BORDE DEL AGUA	M2-P3	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN17	BORDE DEL AGUA	M3-P2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN18	BORDE DEL AGUA	R1-T1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN19	BORDE DEL AGUA	K1-L8	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN20	BORDE DEL AGUA	K1-L8	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN21	BORDE DEL AGUA	A2-L1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN22	BORDE DEL AGUA	K7-L6	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN23	BORDE DEL AGUA	L7-M1	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN24	BORDE DEL AGUA	K7-M7	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN25	BORDE DEL AGUA	L7-M2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN26	BORDE DEL AGUA	K2-L1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_BN27	BORDE DEL AGUA	K1-L1	BIEN SELECCIONADO	GRANOS

### 5.3.3 RESPALDO FOTOGRAFICO



**Fotografía N°11. Punto de control PC\_BN12.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**



**Fotografía N°12. Punto de control PC\_BN24.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

## 5.4 CHAXA

### 5.4.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

El trabajo de medición de puntos de control en Laguna Chaxa se desarrolló el día 22 de abril del 2024, utilizando como punto de referencia oficial el Hito Chaxa Estación, cuyo certificado de coordenadas fue entregado por SQM.

A las 9:00 de la mañana, se reunió personal de ATyGeo con veedores de la Comunidad Atacameña de Toconao para coordinar el inicio del trabajo.

Luego, el personal se dirigió al sector donde se ubica el Hito Chaxa Estación usado como Hito de referencia para este trabajo, donde se procedió a instalar GPS base, utilizando

técnica PPK para realizar las mediciones. En Fotografía N°13 se muestra GPS base instalado en Hito Chaxa Estación.



**Fotografía N°13. Hito Chaxa Estación con equipo GPS base instalado.**

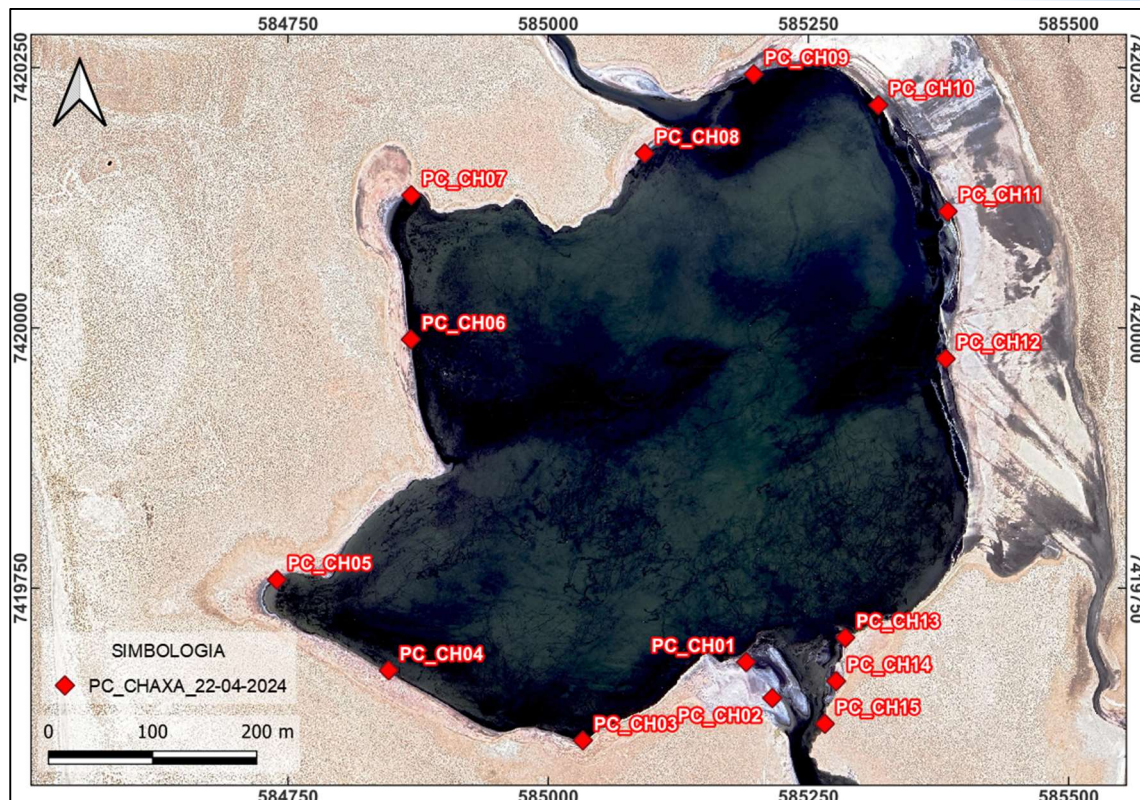
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En total se midieron 15 puntos de control en la laguna Chaxa.

#### **5.4.2 RESULTADOS DE MEDICIONES**

En la Figura N°11 se entrega la ubicación de los puntos de control medidos en la laguna Chaxa, indicando la fecha de medición de cada uno.





**Figura N°11. Ubicación de los Punto de control en la laguna Chaxa y su fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la Tabla N°11 se entrega la información recopilada durante la medición topográfica de los puntos de control, la cual incluye ID, coordenadas norte, este, elevación, espesor de columna de agua medido a 1.2 m desde el punto de control hacia adentro del cuerpo lacustre siguiendo el azimut de fotografía N°1 y fecha de medición.

**Tabla N°11. Información de ubicación, espesor columna de agua y fecha de medición. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACION (m)	ESPESOR COLUMNA DE AGUA A 1.2m DEL BORDE	FECHA
PC_CH01	7419679.13	585190.49	2300.17	0.01	22-04-2024
PC_CH02	7419644.60	585215.54	2300.16	0.01	22-04-2024
PC_CH03	7419603.98	585033.64	2300.18	0.04	22-04-2024
PC_CH04	7419671.14	584847.09	2300.18	0.05	22-04-2024
PC_CH05	7419758.17	584739.73	2300.17	0.02	22-04-2024
PC_CH06	7419988.99	584868.45	2300.18	0.05	22-04-2024
PC_CH07	7420127.42	584868.80	2300.18	0.04	22-04-2024
PC_CH08	7420167.56	585092.98	2300.16	0.06	22-04-2024
PC_CH09	7420243.57	585197.70	2300.16	0.06	22-04-2024
PC_CH10	7420214.03	585317.41	2300.18	0.01	22-04-2024
PC_CH11	7420111.92	585384.03	2300.16	0.01	22-04-2024
PC_CH12	7419970.36	585382.08	2300.15	0.02	22-04-2024
PC_CH13	7419702.55	585285.63	2300.17	0.01	22-04-2024
PC_CH14	7419660.81	585276.91	2300.16	0.01	22-04-2024
PC_CH15	7419619.87	585266.04	2300.17	0.06	22-04-2024

En la Tabla N°12 se entrega la información del suelo para los puntos de control medidos, la cual incluye ID, ubicación, color, textura y tamaño.

**Tabla N°12. Información relacionada con el suelo, ID, ubicación, color, textura y tamaño. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

ID	UBICACIÓN	COLOR	TEXTURA	TAMAÑO
PC_CH01	BORDE DEL AGUA	M2-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH02	BORDE DEL AGUA	A1-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH03	BORDE DEL AGUA	K1-T5	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH04	BORDE DEL AGUA	R3-S4	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH05	BORDE DEL AGUA	M1-R2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH06	BORDE DEL AGUA	N1-R3	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH07	BORDE DEL AGUA	K6-R2	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH08	BORDE DEL AGUA	R3-T5	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH09	BORDE DEL AGUA	K6-S4	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH10	BORDE DEL AGUA	K7-R8	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH11	BORDE DEL AGUA	K7-T5	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH12	BORDE DEL AGUA	K7-T4	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH13	BORDE DEL AGUA	M1-R3	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH14	BORDE DEL AGUA	K7-R2	BIEN SELECCIONADO	GRANOS
PC_CH15	BORDE DEL AGUA	K6-Q3	MODERADAMENTE SELECCIONADO	GRANOS

### 5.4.3 RESPALDO FOTOGRAFICO



**Fotografía N°14. Punto de control PC\_CH03.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**



**Fotografía N°15. Punto de control PC\_CH05.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

## 6. CONCLUSIÓN

A partir de las mediciones realizadas en las superficies lacustres en el Salar de Atacama se debe indicar que:

Se midieron 119 puntos de control en total, en la Tabla N°13 se entrega un resumen de la cantidad de puntos de control medidos por cada laguna.

**Tabla N°13. Resumen de los puntos de control medidos.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

PUNTOS DE CONTROL ABRIL 2024	
LAGUNA	CANTIDAD
DESBORDE SUR	34
AGUAS DE QUELANA	43
BARROS NEGROS	27
CHAXA	15
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>

El tipo de suelo es variado, encontrando características diversas en cuanto a colores, texturas y tamaños, dando cuenta de la elevada heterogeneidad superficial.

En cuanto al espesor de la columna de agua, esta fue medida a 1.2m desde cada Punto de Control en dirección al azimut de la foto 1, con distintas profundidades, las cuales fluctúan entre 0.005m y 0.700m, obteniendo como promedio 0.076m.

La medición de puntos de control en laguna Puilar fue cancelada por Guardaparque de CONAF ya que se estaba realizando la actividad de monitoreo de flamencos alto andino e instalación de transmisores satelitales.

La medición de puntos de control en las lagunas Salada, Saladita y Desborde de laguna Interna del Sistema lacustre de Peine no fue realizada porque la Comunidad Atacameña de Peine no autorizó el ingreso.

## 7. REFERENCIAS

Para confeccionar este informe se utilizaron como referencias los siguientes documentos:

- RCA 226/2006: "Cambios y Mejoras en la Operación Minera en el Salar de Atacama".
- Resolución Exenta N° 223, Superintendente de Medioambiente, 26 de marzo del 2015.
- Toma de puntos de control en terreno, Memorando SQM 2023.



- 
- Trimble R12i GNSS\_Hoja de datos\_español, Trimble, 2020.

## 8. ANEXOS

El informe de Levantamiento de Superficies Lacustres contempla archivos digitales, los cuales fueron cargados en carpeta compartida de plataforma SQM denominada “1 Mediciones Lacustres”, en “9 Campaña ATyGeo - Abril 2024”, y “04 Puntos de Control Abril 2024”. Estos archivos digitales contienen toda la información del trabajo realizado, los cuales son:

- 1\_Informe
- 2\_Planilla
- 3\_Fotos y videos
- 4\_Shape
- 5\_Kmz
- 6\_Csv
- 7\_Referencias


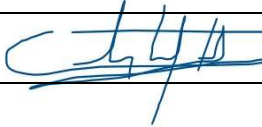
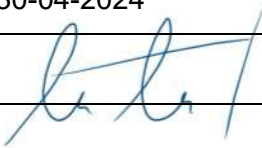
**Informe Topográfico:**  
**SL-00-IT-0017\_REV.0**

**Levantamiento de Superficies Lacustres**  
**medición de estacas perimetrales**  
**periodo abril 2024**

**Salar de Atacama – SQM, Región de**  
**Antofagasta**

---

Martes, 30 de abril de 2024

<b>ATyGeo</b>	<b>ATyGeo</b>	
Nombre: Cristian Trigo T.	Nombre: Verónica Villalobos R.	Nombre:
Fecha: 30-04-2024	Fecha: 30-04-2024	Fecha:
Firma: 	Firma: 	Firma:

## 1. RESUMEN

El Contrato Marco denominado “Servicios de Levantamiento de estacas perimetrales y toma de puntos de control de terreno, Salar de Atacama”, contempla el monitoreo de superficies lacustres en los sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana.

El presente informe entrega los resultados de la medición de estacas perimetrales para el cálculo de superficies lacustres correspondiente al periodo abril 2024.

Este monitoreo es desarrollado con frecuencia trimestral, bajo el contexto del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH) establecido en la RCA 226/2006 del proyecto “Cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama”.

Se lleva a cabo la medición de las superficies lacustres en varias lagunas como parte del proceso de seguimiento ambiental. En el sistema lacustre de Soncor, se realizan mediciones en las lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros. En el sistema lacustre de Peine, se efectúan mediciones en las lagunas Salada y Saladita.

En esta ocasión sólo se midieron las estacas perimetrales en las lagunas Barros Negros y Chaxa, ya que en laguna Puilar el Guardaparque de CONAF canceló la actividad porque se estaba realizando el monitoreo de flamencos alto andino e instalación de transmisores satelitales. En cuanto al sistema Peine, no fue realizada porque la Comunidad Atacameña de Peine no autorizó el ingreso debido al periodo reproductivo de los flamencos.

En la tabla N°1 se entrega fecha de medición de las lagunas.

**Tabla N°1. Fecha de medición de las estacas perimetrales para el levantamiento de las superficies lacustres. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

MEDICIONES EN SUPERFICIES LACUSTRES		
LAGUNA	SECTOR	FECHA DE MEDICION
BARROS NEGROS	SONCOR	12 y 13 DE ABRIL 2024
CHAXA	SONCOR	22 DE ABRIL 2024

El cálculo de resultados para estas mediciones se procesa bajo dos metodologías de análisis, la metodología SQM y la metodología CONAF, las cuales se explican en este informe.

En la tabla N°2 se entrega un resumen de las mediciones y cálculos realizados según la metodología SQM.

**Tabla N°2. Resumen de la medición de las estacas perimetrales según la metodología de SQM. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA SQM ABRIL 2024				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2345.2	2.345	269409.5	26.941
BARROS NEGROS	4956.1	4.956	1001426.6	100.143

En la tabla N°3 se entrega un resumen de las mediciones y cálculos realizados según la metodología CONAF.

**Tabla N°3. Resumen de la medición de estacas perimetrales según la metodología de CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA CONAF ABRIL 2024				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2347.2	2.347	267611.1	26.761
BARROS NEGROS	5241.9	5.242	1003884.1	100.388

## 2. INTRODUCCIÓN

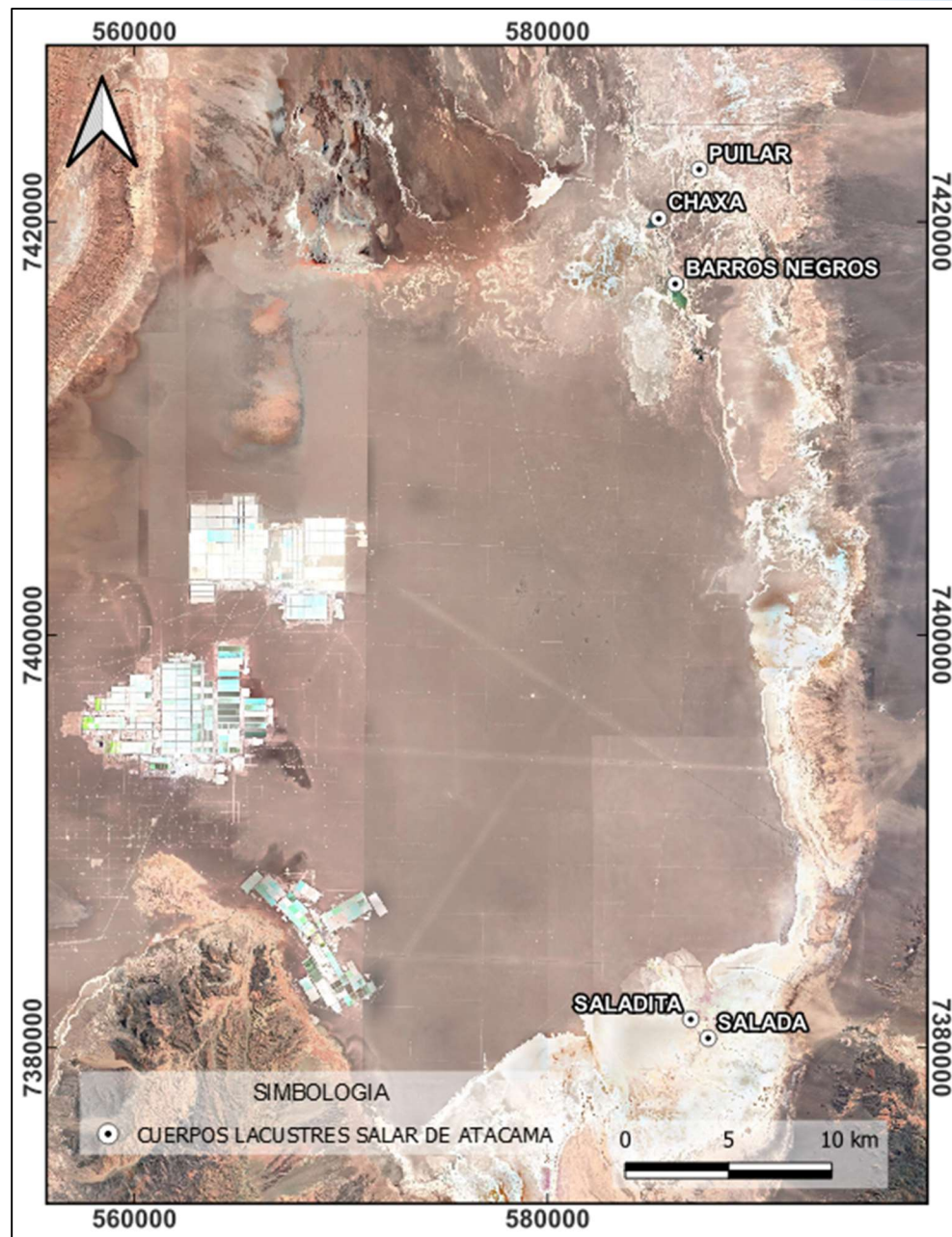
SQM solicitó a ATyGeo el cálculo de superficie lacustre mediante la metodología de estacas perimetrales para el periodo de abril 2024, en los sistemas de Soncor y Peine.

Utilizando puntos demarcados por estacas alrededor de cada laguna, se realizan mediciones con las que se obtiene el área de las superficies lacustres. Hasta el 2013, estas mediciones fueron realizadas por el equipo técnico de CONAF, mientras que, a partir del 2014 la empresa consultora SEARCH, contratada por CONAF, implementó la metodología de cálculo de áreas lacustres vía estacas perimetrales. SQM comenzó a realizar la medición de estacas perimetrales utilizando esta metodología a partir del año 2022.

El presente informe da cuenta de los resultados obtenidos mediante dos metodologías de análisis que, entregan perímetro y superficie lacustre de las lagunas.

En la figura N°1 se muestra la ubicación general de las superficies lacustres.





**Figura N°1. Ubicación general de las superficies lacustres.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

### 3. OBJETIVO

Calcular superficie de cuerpos lagunares en los sistemas lacustres de Soncor y Peine, del Salar de Atacama, utilizando la metodología de estacas perimetrales.

## 4. MATERIALES Y METODOLOGIA

### 4.1 MATERIALES

Los materiales, las herramientas y los equipos utilizados para esta labor se resumen en la tabla N°4.

**Tabla N°4. Materiales, herramientas y equipos.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

MATERIALES Y EQUIPOS		
ITEM	MATERIALES Y EQUIPOS	UTILIZACION
1	GNSS DIFERENCIAL MARCA TRIMBLE MODELO R12i	MEDICION DE PUNTOS DE BORDE DE LAGUNA MAS CERCANOS A LAS ESTACAS PERIMETRALES CON METODO PPK
2	TRIPODE DE FIBRA	SOPORTE GNSS BASE
3	JALON DE FIBRA MARCA TRIMBLE, PORTA GPS MOVIL, DE 2 METROS DE ALTURA	SOPORTE GNSS MOVIL
4	CAMIONETA 4X4	TRASLADO A SUPERFICIES LACUSTRES
5	JARDINERA CON BOTAS PVC	PROTECCION AL CAMINAR POR BORDE DE LAGUNAS
6	BALACLAVA, BANDANA, GORRO LEGIONARIO, GUANTES, LENTES, BLOQUEADOR SOLAR	PROTECCION SOLAR AL CAMINAR POR SUPERFICIES LACUSTRES
7	ROPA DE COLOR BEIGE	ROPA SOLICITADA PARA EVITAR AHUYENTAR A LAS AVES

### 4.2 METODOLOGIA

El servicio consiste en realizar las mediciones de los puntos de borde lagunar más próximos a las estacas perimetrales.

La medición de los puntos de borde lagunar se realiza utilizando equipos GNSS diferencial marca Trimble, modelo R12i, a través del método PPK, en sistema coordenado UTM, Datum WGS-84, Zona 19 Sur.

En primer lugar, se instala equipo GNSS base en hito estación de la superficie lacustre que se va a medir. Luego, las mediciones se realizan caminando por el borde lagunar, buscando cada una de las estacas, realizando medición topográfica con equipo GNSS móvil, midiendo el punto del borde lagunar más próximo a cada estaca perimetral, obteniendo las coordenadas de cada punto.

Como medidas de protección personal, se utilizan jardineras con botas de PVC, lentes con protección UV, guantes, polera manga larga, gorro ala ancha con

cubrenuca, bandana y bloqueador solar, además de mantener una adecuada hidratación.

A continuación, en la tabla N°5 se indican las fechas de los trabajos realizados en cada laguna, el horario de encuentro y los asistentes.

**Tabla N°5. Mediciones de estacas perimetrales. Laguna, fecha, hora de encuentro y asistentes. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

MEDICIONES DE ESTACAS PERIMETRALES EN SUPERFICIES LACUSTRES				
LAGUNA	SECTOR	FECHA DE MEDICION	HORA ENCUENTRO	ASISTENTES
BARROS NEGROS	SONCOR	12 y 13-04-2024	8:30	GUARDAPARQUES DE CONAF
				VEEDOR COMUNIDAD TOCONAO
				PERSONAL ATYGEO
CHAXA	SONCOR	22-04-2024	9:00	VEEDORES COMUNIDAD TOCONAO
				PERSONAL ATYGEO

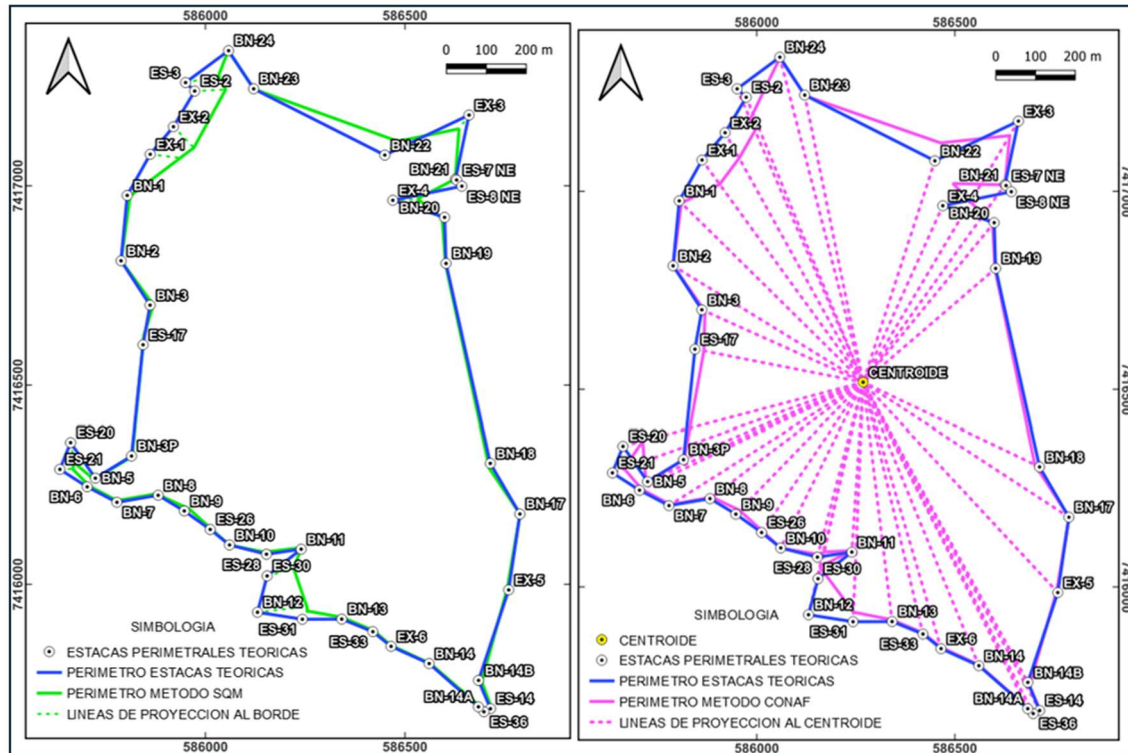
A partir de la información recopilada, se realiza el procesamiento de datos en gabinete, utilizando el software AutoCAD Civil 3D. Se lleva a cabo la delimitación y el cálculo del perímetro y área de cada laguna. Los resultados se exportan en formato DXF para su posterior análisis en el software QGIS, donde se genera el centroide, archivos SHAPE y KML. Con estos archivos, en Google Earth se genera archivo KMZ.

Se debe indicar que las coordenadas de estacas perimetrales, centroide, puntos de borde de laguna y puntos proyectados al centroide, se encuentran referenciados en sistema de coordenadas UTM Datum WGS84 Zona 19 Sur.

Las unidades de medición utilizadas son:

- **Coordenadas** = metros
- **Distancia (m)** = metros lineales
- **Ángulo (°)** = grados sexagesimales
- **Perímetro (m)** = metros lineales
- **Perímetro (km)** = kilómetros lineales
- **Área (m<sup>2</sup>)** = metros cuadrados
- **Área (ha)** = hectáreas

El trabajo de gabinete se realiza utilizando dos metodologías de análisis, la metodología de SQM y la metodología de CONAF. En la figura N°2 se muestran ambas metodologías, las cuales son explicadas a continuación.

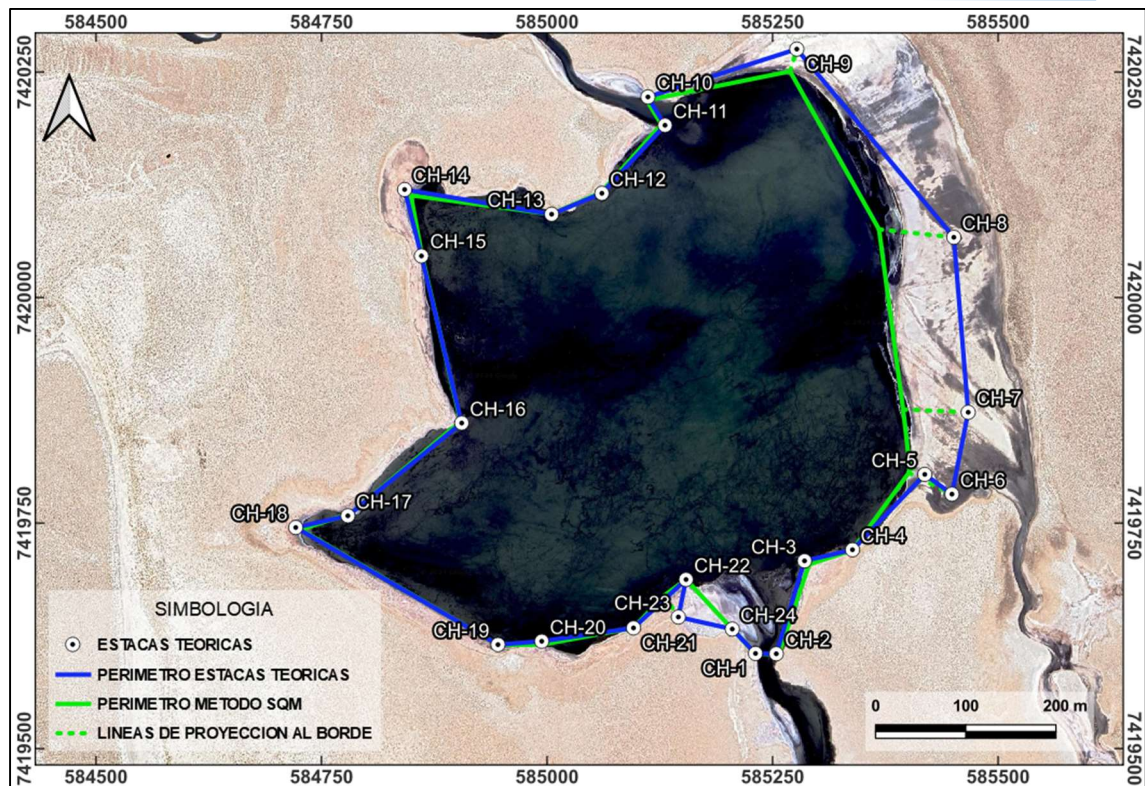


**Figura N°2. Metodología SQM (imagen izquierda) y Metodología CONAF (imagen derecha). Fuente ATyGeo, abril 2024.**

### 4.3 METODOLOGIA SQM

Esta metodología implica que, con los datos de las mediciones topográficas realizadas en terreno, se genera un polígono uniendo todos los puntos del borde de laguna más cercano a las estacas, calculando perímetro y área. En la figura N°3 se muestran las líneas de proyección entre estacas y borde lagunar, y se visualizan como líneas punteadas de color verde. Las líneas de las estacas que están más cercanas al borde no se visualizan por la escala de la figura.



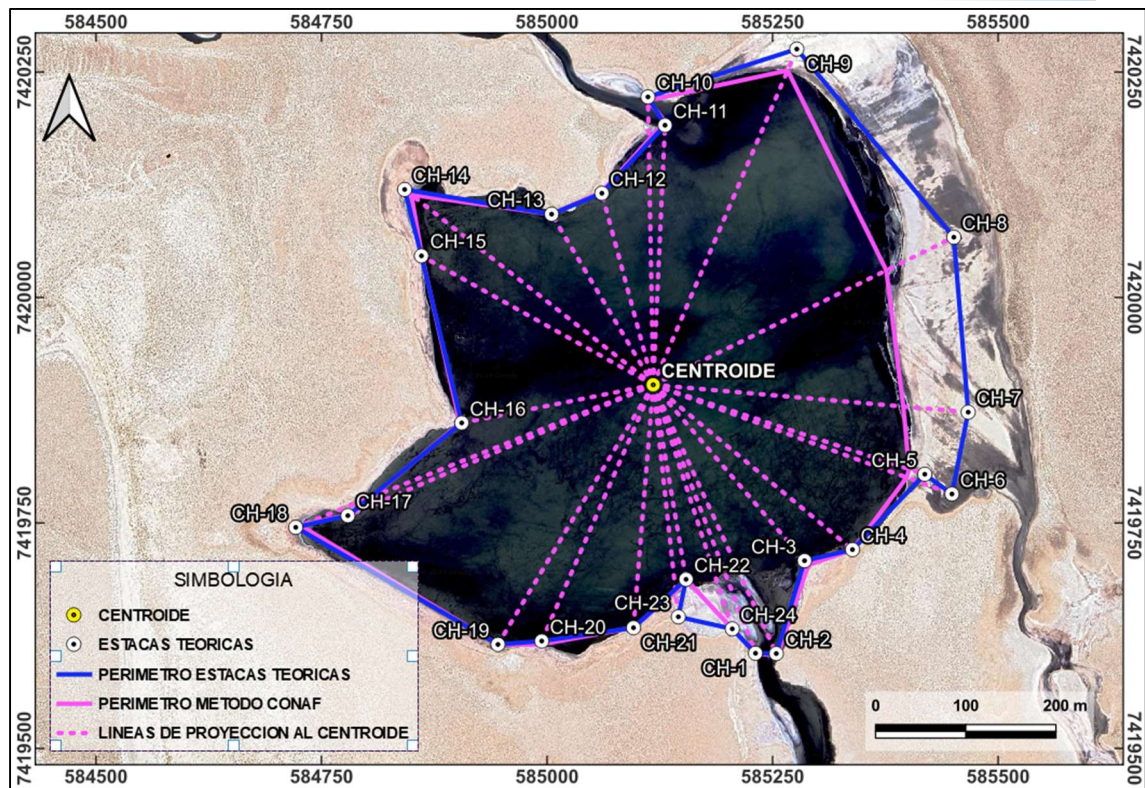


**Figura N°3. Líneas de proyección entre estacas perimetrales y borde de laguna, laguna Chaxa, metodología SQM.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

#### 4.4 METODOLOGIA CONAF

Para esta metodología, se deben unir todas las coordenadas de estacas teóricas de las lagunas, formando un polígono, para luego calcular su centroide. Este centroide servirá como eje central al cual se deben unir líneas rectas desde cada estaca. Luego, estas líneas se cortarán a la misma distancia resultante de la medición topográfica, entre las estacas perimetrales y el punto más próximo del borde lagunar, obteniendo puntos coordinados a esa distancia, pero en dirección al centroide. Estos nuevos puntos coordinados se unirán formando un polígono, del cual se obtendrá el perímetro y el área. En la figura N°4 se muestran las líneas de proyección entre las estacas y el centroide calculado.



**Figura N°4. Líneas de proyección entre estacas perimetrales y centroide calculado, laguna Chaxa, metodología CONAF.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

## 5. RESULTADOS

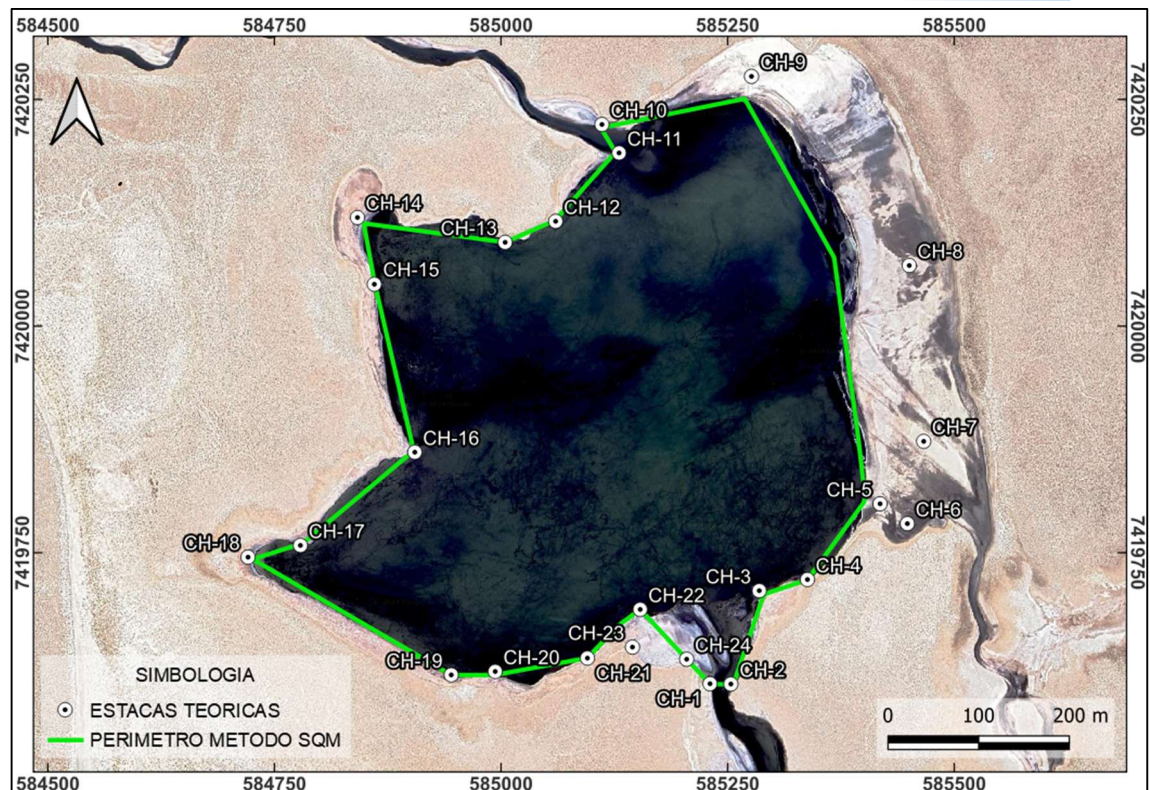
A continuación, se entregan los resultados obtenidos de las mediciones de estacas perimetrales de las lagunas Chaxa y Barros Negros. Se debe indicar que las coordenadas de las estacas perimetrales utilizadas en las tablas y cálculo de centroide corresponden a las levantadas en terreno periodos 2021 y 2022, las cuales se entregan en Anexo N°1.

### 5.1 METODOLOGÍA SQM

#### 5.1.1. LAGUNA CHAXA

En la figura N°5 se muestra la ubicación de las estacas y el perímetro formado uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna, según metodología seguida por SQM.





**Figura N°5. Estacas y perímetro de Laguna Chaxa según metodología SQM.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la tabla N°6 se entrega el perímetro y el área calculado con la metodología SQM.

**Tabla N°6. Cálculo de perímetro y área de Laguna Chaxa según metodología SQM. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2345.2	2.345	269409.5	26.941

En la tabla N°7 se entregan los resultados de las mediciones al borde más próximo de las estacas perimetrales de Laguna Chaxa utilizando metodología SQM. En cuanto a la columna posición, el término “AFUERA” significa que la estaca se encuentra afuera del agua, y “ADENTRO” significa que la estaca está adentro del agua.

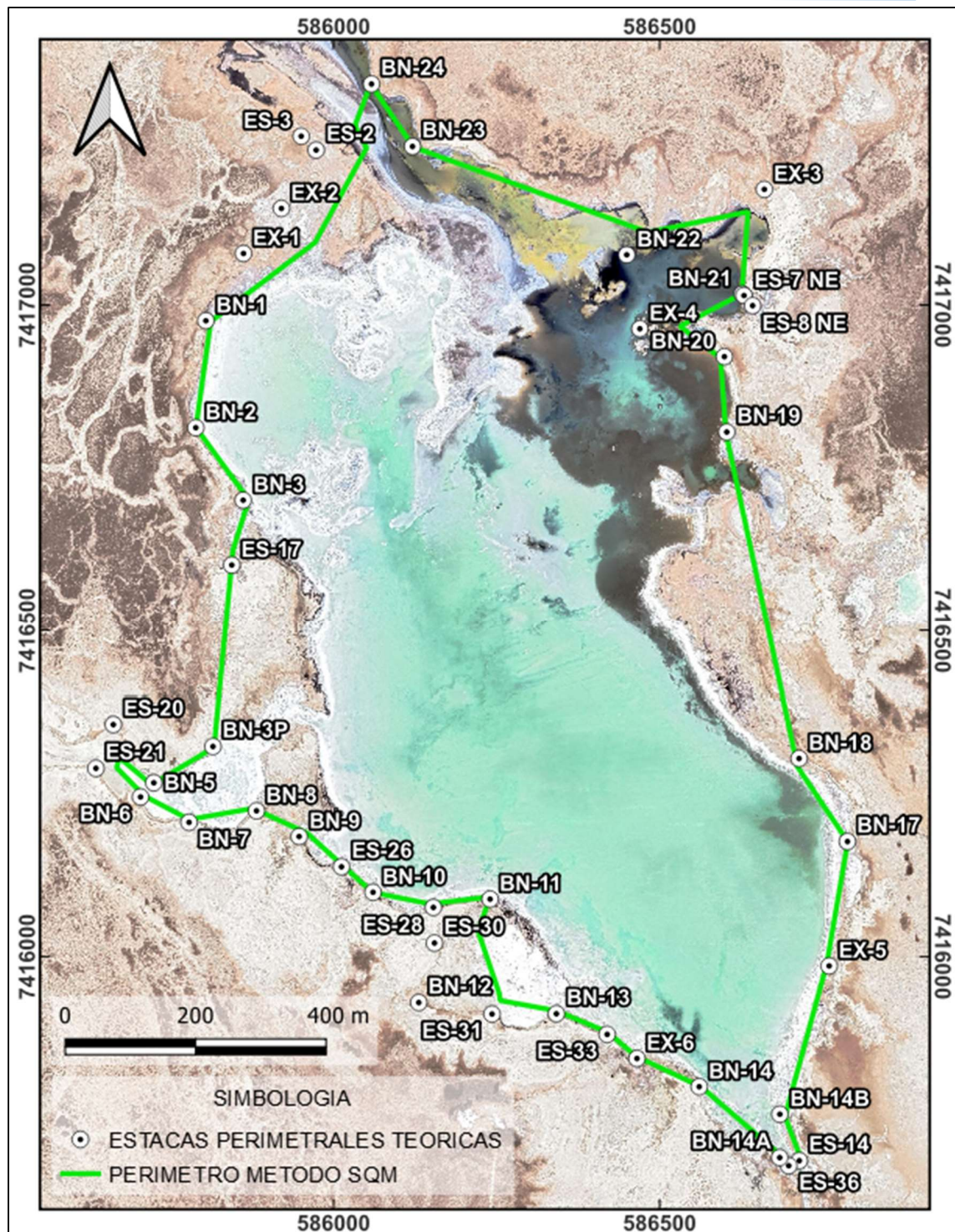
**Tabla N°7. Control estacas Laguna Chaxa según metodología SQM.**  
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CONTROL ESTACAS LAGUNA CHAXA METODOLOGIA SQM ABRIL 2024							
ESTACA LISTADO	DH (m)	AZIMUT (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
CH-1	0.19	262	ADENTRO	7419606.01	585230.96	7419605.99	585230.77
CH-2	2.68	109	ADENTRO	7419605.65	585253.96	7419604.78	585256.49
CH-3	6.40	129	ADENTRO	7419708.68	585285.30	7419704.66	585290.28
CH-4	0.29	173	ADENTRO	7419721.00	585338.47	7419720.71	585338.50
CH-5	18.33	295	AFUERA	7419804.57	585418.64	7419812.34	585402.03
CH-6	53.41	296	AFUERA	7419782.67	585448.77	7419806.37	585400.92
CH-7	72.22	273	AFUERA	7419873.45	585466.80	7419876.65	585394.64
CH-8	83.37	276	AFUERA	7420067.52	585450.86	7420076.28	585367.95
CH-9	25.79	197	AFUERA	7420276.24	585276.73	7420251.56	585269.27
CH-10	3.89	200	AFUERA	7420223.15	585111.66	7420219.49	585110.32
CH-11	4.08	284	ADENTRO	7420191.74	585130.58	7420192.71	585126.62
CH-12	1.24	323	ADENTRO	7420116.30	585060.55	7420117.30	585059.80
CH-13	0.04	314	ADENTRO	7420093.13	585004.84	7420093.15	585004.81
CH-14	9.47	133	AFUERA	7420120.50	584841.84	7420114.07	584848.80
CH-15	0.64	78	AFUERA	7420046.84	584860.47	7420046.97	584861.10
CH-16	2.00	326	ADENTRO	7419861.51	584905.13	7419863.17	584904.01
CH-17	3.98	50	ADENTRO	7419758.66	584778.89	7419761.21	584781.94
CH-18	5.64	113	AFUERA	7419745.69	584721.09	7419743.46	584726.27
CH-19	0.15	190	ADENTRO	7419615.77	584945.34	7419615.63	584945.32
CH-20	4.16	197	ADENTRO	7419619.52	584993.88	7419615.53	584992.69
CH-21	0.15	324	AFUERA	7419634.28	585095.65	7419634.41	585095.56
CH-22	0.14	356	AFUERA	7419688.00	585153.88	7419688.14	585153.87
CH-23	28.41	326	AFUERA	7419646.44	585145.37	7419670.00	585129.50
CH-24	0.21	335	AFUERA	7419633.05	585205.17	7419633.25	585205.08

### 5.1.2. LAGUNA BARROS NEGROS

En la figura N°6 se muestra la ubicación de las estacas y el perímetro formado uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna, según metodología seguida por SQM.





**Figura N°6. Estacas y perímetro de Laguna Barros Negros según metodología SQM. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la tabla N°8 se entrega el perímetro y el área calculado con la metodología SQM.

**Tabla N°8. Cálculo del perímetro y el área de la Laguna Barros Negros según metodología SQM. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
BARROS NEGROS	4956.1	4.956	1001426.6	100.143

En la tabla N°9 se entrega los resultados de las mediciones al borde más próximo de las estacas perimetrales de Laguna Barros Negros utilizando metodología SQM. En cuanto a la columna posición, el término “AFUERA” significa que la estaca se encuentra afuera del agua, y “ADENTRO” significa que la estaca está adentro del agua.

**Tabla N°9. Control estacas Laguna Barros Negros según metodología SQM.**  
**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CONTROL ESTACAS LAGUNA BARROS NEGROS METODOLOGIA SQM ABRIL 2024							
ESTACA LISTADO	DH (m)	AZIMUT (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
BN-1	7.66	98	AFUERA	7416975.71	585803.92	7416974.60	585811.49
EX-1	75.89	97	AFUERA	7417078.99	585861.62	7417069.69	585936.94
EX-2	73.52	136	AFUERA	7417148.13	585919.89	7417095.55	585971.27
ES-2	77.63	87	AFUERA	7417237.76	585973.18	7417241.51	586050.72
ES-3	83.90	79	AFUERA	7417259.06	585950.22	7417275.14	586032.56
BN-24	1.14	266	AFUERA	7417339.14	586058.14	7417339.07	586057.00
BN-23	1.69	126	ADENTRO	7417243.28	586121.08	7417242.29	586122.45
BN-22	47.51	43	ADENTRO	7417076.96	586449.92	7417111.49	586482.54
EX-3	42.60	216	AFUERA	7417177.45	586661.06	7417142.95	586636.09
BN-21	0.81	256	AFUERA	7417016.89	586627.26	7417016.70	586626.47
ES-7NE	-	-	-	7417014.39	586629.85	-	-
ES-8NE	-	-	-	7416998.87	586643.11	-	-
EX-4	61.83	86	ADENTRO	7416963.36	586470.01	7416967.34	586531.71
BN-20	6.31	249	AFUERA	7416920.51	586599.77	7416918.23	586593.89
BN-19	1.93	223	AFUERA	7416804.83	586603.42	7416803.42	586602.10
BN-18	13.20	190	AFUERA	7416305.10	586714.40	7416292.09	586712.16
BN-17	0.70	116	ADENTRO	7416177.92	586788.67	7416177.61	586789.30
EX-5	4.27	290	AFUERA	7415987.38	586760.58	7415988.84	586756.57
BN-14B	8.66	113	ADENTRO	7415760.16	586684.88	7415756.81	586692.86
ES-14	3.47	86	ADENTRO	7415689.03	586714.79	7415689.26	586718.25
ES-36	3.09	25	AFUERA	7415681.31	586698.54	7415684.11	586699.84
BN-14A	3.60	39	AFUERA	7415693.75	586684.66	7415696.54	586686.95
BN-14	2.99	92	AFUERA	7415802.29	586561.13	7415802.20	586564.12
EX-6	3.83	334	AFUERA	7415845.53	586465.58	7415848.97	586463.88
ES-33	3.44	29	AFUERA	7415882.50	586419.87	7415885.50	586421.55
BN-13	4.45	9	AFUERA	7415914.07	586341.92	7415918.46	586342.61
ES-31	24.20	31	AFUERA	7415913.67	586243.15	7415934.38	586255.67
BN-12	124.33	83	AFUERA	7415931.24	586130.68	7415945.50	586254.19
ES-30	69.28	75	AFUERA	7416022.39	586154.80	7416040.86	586221.58
BN-11	3.75	3	AFUERA	7416089.66	586240.16	7416093.40	586240.38
ES-28	7.21	318	AFUERA	7416076.98	586153.12	7416082.32	586148.27
BN-10	0.49	237	ADENTRO	7416100.24	586060.49	7416099.97	586060.08
ES-26	4.07	354	AFUERA	7416139.20	586012.06	7416143.25	586011.63
BN-9	13.43	68	AFUERA	7416185.64	585947.06	7416190.70	585959.50
BN-8	6.25	307	AFUERA	7416225.03	585881.64	7416228.75	585876.62
BN-7	4.35	4	AFUERA	7416207.30	585778.09	7416211.63	585778.39
BN-6	5.85	73	AFUERA	7416246.23	585703.62	7416247.89	585709.23
ES-21	31.64	88	AFUERA	7416290.10	585635.19	7416291.33	585666.80
ES-20	51.42	169	AFUERA	7416357.05	585661.92	7416306.51	585671.37
BN-5	4.58	227	AFUERA	7416267.93	585724.08	7416264.81	585720.73
BN-3P	2.14	127	AFUERA	7416323.52	585814.81	7416322.23	585816.53
ES-17	22.99	5	AFUERA	7416600.63	585843.70	7416623.55	585845.53
BN-3	8.56	86	AFUERA	7416700.12	585861.16	7416700.66	585869.70
BN-2	0.17	69	AFUERA	7416811.52	585788.49	7416811.58	585788.65

Nota: Estacas perimetrales ES-7NE y ES-8NE no han sido encontradas en terreno.



## 5.2 METODOLOGÍA CONAF

### 5.2.1. LAGUNA CHAXA

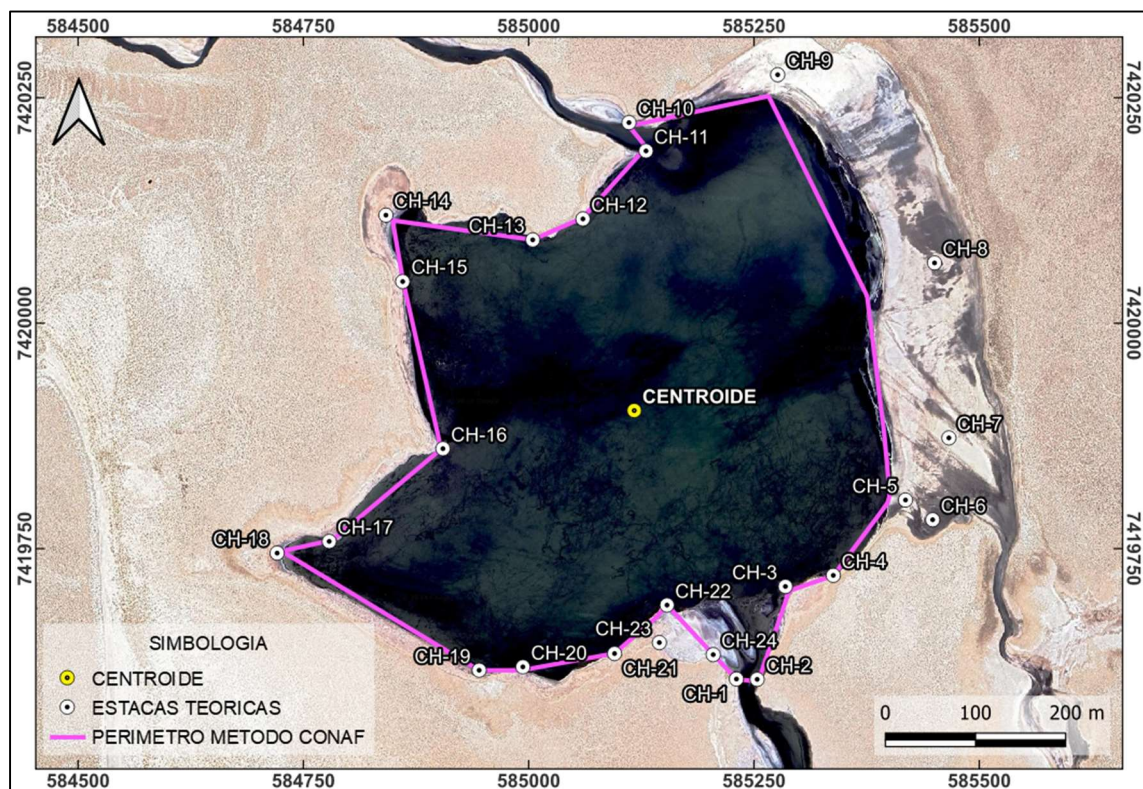
Las coordenadas calculadas para el centroide de Laguna Chaxa se entregan en la tabla N°10.

**Tabla N°10. Coordenadas de centroide calculadas para la Laguna Chaxa.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

COORDENADAS CALCULADAS DE CENTROIDE		
LAGUNA	NORTE	ESTE
CHAXA	7419903.79	585117.51

En la Figura N°7 se muestra la ubicación de las estacas perimetrales de la Laguna Chaxa y el perímetro formado uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.



**Figura N°7. Estacas y perímetro de Laguna Chaxa según metodología**

**CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la tabla N°11 se entrega el cálculo del perímetro y el área obtenida con la metodología CONAF.



**Tabla N°11. Cálculo del perímetro y el área de la Laguna Chaxa metodología CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2347.2	2.347	267611.1	26.761

En la tabla N°12 se entregan los resultados de las mediciones al borde más próximo de las estacas perimetrales de Laguna Chaxa utilizando metodología CONAF. En cuanto a la columna posición, el término “AFUERA” significa que la estaca se encuentra afuera del agua, y “ADENTRO” significa que la estaca está adentro del agua.

**Tabla N°12. Control de las estacas perimetrales en la Laguna Chaxa según la metodología CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CONTROL ESTACAS LAGUNA CHAXA METODOLOGIA CONAF ABRIL 2024						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
CH-1	0.19	ADENTRO	7419606.01	585230.96	7419605.83	585231.02
CH-2	2.68	ADENTRO	7419605.65	585253.96	7419603.22	585255.08
CH-3	6.40	ADENTRO	7419708.68	585285.30	7419703.83	585289.47
CH-4	0.29	ADENTRO	7419721.00	585338.47	7419720.81	585338.69
CH-5	18.33	AFUERA	7419804.57	585418.64	7419810.31	585401.23
CH-6	53.41	AFUERA	7419782.67	585448.77	7419801.01	585398.61
CH-7	72.22	AFUERA	7419873.45	585466.80	7419879.70	585394.85
CH-8	83.37	AFUERA	7420067.52	585450.86	7420030.77	585376.03
CH-9	25.79	AFUERA	7420276.24	585276.73	7420252.53	585266.59
CH-10	3.89	AFUERA	7420223.15	585111.66	7420219.26	585111.73
CH-11	4.08	ADENTRO	7420191.74	585130.58	7420195.82	585130.77
CH-12	1.24	ADENTRO	7420116.30	585060.55	7420117.50	585060.23
CH-13	0.04	ADENTRO	7420093.13	585004.84	7420093.16	585004.82
CH-14	9.47	AFUERA	7420120.50	584841.84	7420114.65	584849.29
CH-15	0.64	AFUERA	7420046.84	584860.47	7420046.53	584861.03
CH-16	2.00	ADENTRO	7419861.51	584905.13	7419861.12	584903.17
CH-17	3.98	ADENTRO	7419758.66	584778.89	7419760.23	584782.55
CH-18	5.64	AFUERA	7419745.69	584721.09	7419747.78	584726.32
CH-19	0.15	ADENTRO	7419615.77	584945.34	7419615.64	584945.26
CH-20	4.16	ADENTRO	7419619.52	584993.88	7419615.71	584992.22
CH-21	0.15	AFUERA	7419634.28	585095.65	7419634.43	585095.66
CH-22	0.14	AFUERA	7419688.00	585153.88	7419688.13	585153.85
CH-23	28.41	AFUERA	7419646.44	585145.37	7419674.68	585142.31
CH-24	0.21	AFUERA	7419633.05	585205.17	585205.11	585205.11

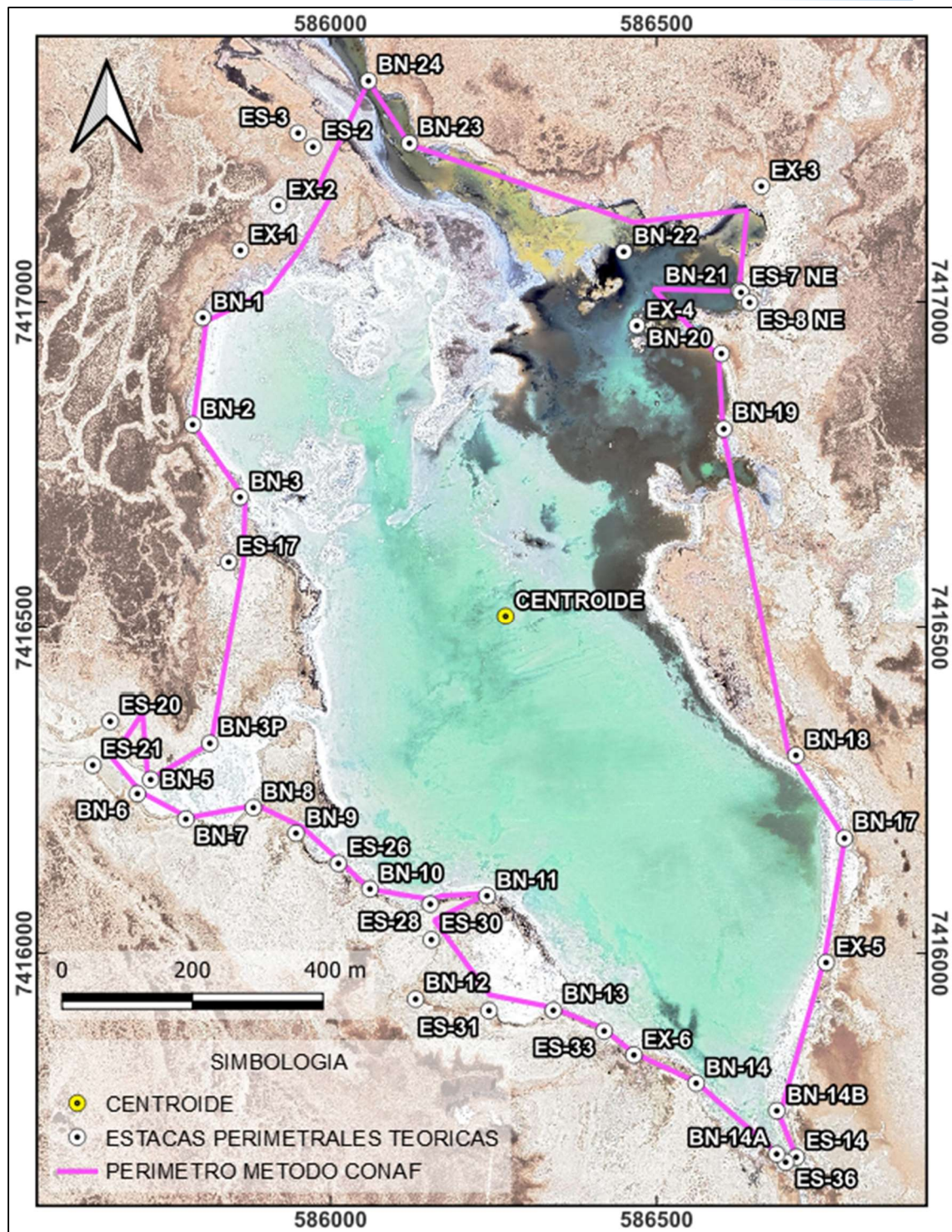
### 5.2.2. LAGUNA BARROS NEGROS

Las coordenadas calculadas para el centroide de la laguna Barros Negros se entregan en la tabla N°13.

**Tabla N°13. Coordenadas del centroide calculadas para la Laguna Barros Negros. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

COORDENADAS CALCULADAS DE CENTROIDE		
LAGUNA	NORTE	ESTE
BARROS NEGROS	7416517.06	586268.71

En la figura N°8 se muestra la ubicación de las estacas perimetrales de la Laguna Barros Negros y el perímetro formado uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.



**Figura N°8. Estacas y perímetro de Laguna Barros Negros según la metodología CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

En la tabla N°14 se entrega el cálculo del perímetro y el área obtenido según la metodología CONAF.

**Tabla N°14. Cálculo del perímetro y el área de la Laguna Barros Negros según la metodología CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
BARROS NEGROS	5241.9	5.242	1003884.1	100.388

En la tabla N°15 se entregan los resultados de las mediciones al borde más próximo de las estacas perimetrales de Laguna Barros Negros utilizando metodología CONAF. En cuanto a la columna posición, el término “AFUERA” significa que la estaca se encuentra afuera del agua, y “ADENTRO” significa que la estaca está adentro del agua.



**Tabla N°15. Control estacas Laguna Barros Negros según la metodología CONAF. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

CONTROL ESTACAS LAGUNA BARROS NEGROS METODOLOGIA CONAF ABRIL 2024						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
BN-1	7.66	AFUERA	7416975.71	585803.92	7416970.33	585809.37
EX-1	75.89	AFUERA	7417078.99	585861.62	7417017.53	585906.14
EX-2	73.52	AFUERA	7417148.13	585919.89	7417083.78	585955.46
ES-2	77.63	AFUERA	7417237.76	585973.18	7417165.93	586002.63
ES-3	83.90	AFUERA	7417259.06	585950.22	7417181.96	585983.31
BN-24	1.14	AFUERA	7417339.14	586058.14	7417338.04	586058.42
BN-23	1.69	ADENTRO	7417243.28	586121.08	7417241.63	586121.42
BN-22	47.51	ADENTRO	7417076.96	586449.92	7417122.17	586464.54
EX-3	42.60	AFUERA	7417177.45	586661.06	7417140.83	586639.30
BN-21	0.81	AFUERA	7417016.89	586627.26	7417016.23	586626.79
ES-7NE	-	-	7417014.39	586629.85	-	-
ES-8NE	-	-	7416998.87	586643.11	-	-
EX-4	61.83	ADENTRO	7416963.36	586470.01	7417019.72	586495.43
BN-20	6.31	AFUERA	7416920.51	586599.77	7416915.64	586595.77
BN-19	1.93	AFUERA	7416804.83	586603.42	7416803.57	586601.95
BN-18	13.20	AFUERA	7416305.10	586714.40	7416310.77	586702.48
BN-17	0.70	ADENTRO	7416177.92	586788.67	7416177.54	586789.26
EX-5	4.27	AFUERA	7415987.38	586760.58	7415990.51	586757.68
BN-14B	8.66	ADENTRO	7415760.16	586684.88	7415752.57	586689.05
ES-14	3.47	ADENTRO	7415689.03	586714.79	7415685.97	586716.43
ES-36	3.09	AFUERA	7415681.31	586698.54	7415684.06	586697.12
BN-14A	3.60	AFUERA	7415693.75	586684.66	7415696.96	586683.04
BN-14	2.99	AFUERA	7415802.29	586561.13	7415805.06	586560.00
EX-6	3.83	AFUERA	7415845.53	586465.58	7415849.21	586464.51
ES-33	3.44	AFUERA	7415882.50	586419.87	7415885.85	586419.07
BN-13	4.45	AFUERA	7415914.07	586341.92	7415918.49	586341.39
ES-31	24.20	AFUERA	7415913.67	586243.15	7415937.85	586244.17
BN-12	124.33	AFUERA	7415931.24	586130.68	7416052.26	586159.20
ES-30	69.28	AFUERA	7416022.39	586154.80	7416089.90	586170.35
BN-11	3.75	AFUERA	7416089.66	586240.16	7416093.41	586240.41
ES-28	7.21	AFUERA	7416076.98	586153.12	7416083.96	586154.95
BN-10	0.49	ADENTRO	7416100.24	586060.49	7416099.81	586060.27
ES-26	4.07	AFUERA	7416139.20	586012.06	7416142.57	586014.35
BN-9	13.43	AFUERA	7416185.64	585947.06	7416195.28	585956.41
BN-8	6.25	AFUERA	7416225.03	585881.64	7416228.80	585886.63
BN-7	4.35	AFUERA	7416207.30	585778.09	7416209.62	585781.77
BN-6	5.85	AFUERA	7416246.23	585703.62	7416248.76	585708.90
ES-21	31.64	AFUERA	7416290.10	585635.19	7416300.77	585664.97
ES-20	51.42	AFUERA	7416357.05	585661.92	7416370.17	585711.64
BN-5	4.58	AFUERA	7416267.93	585724.08	7416266.03	585719.91
BN-3P	2.14	AFUERA	7416323.52	585814.81	7416324.36	585816.78
ES-17	22.99	AFUERA	7416600.63	585843.70	7416596.20	585866.26
BN-3	8.56	AFUERA	7416700.12	585861.16	7416696.62	585868.97
BN-2	0.17	AFUERA	7416811.52	585788.49	7416811.43	585788.64

Nota: Estacas perimetrales ES-7NE y ES-8NE no han sido encontradas en terreno.

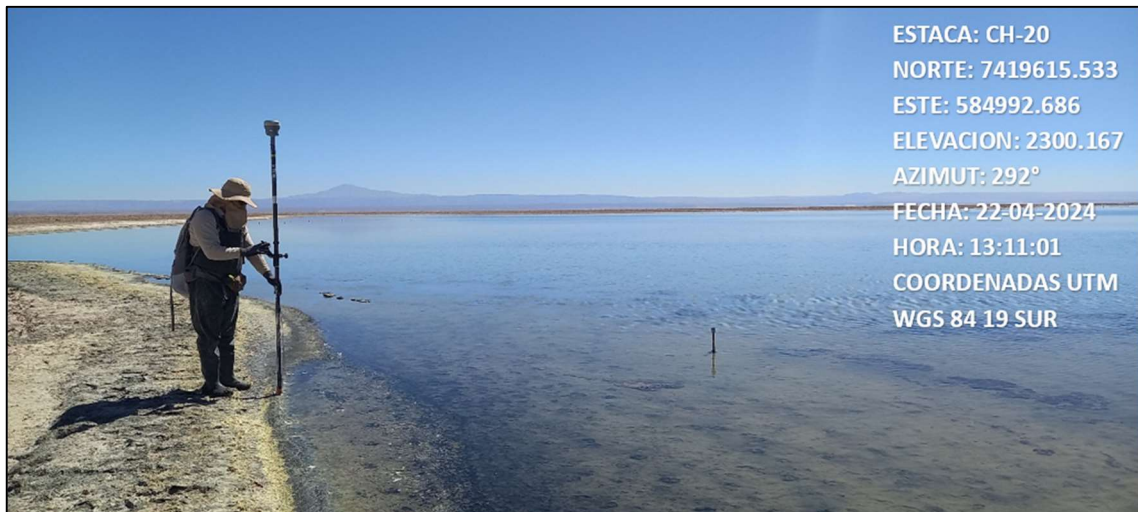
### 5.3 REGISTRO FOTOGRAFICO

Durante la ejecución de las mediciones se realizó un registro fotográfico de las actividades, algunas de las cuales se observan a continuación:

#### 5.4.1 LAGUNA CHAXA



**Fotografía N°1. Medición de borde más próximos a la estaca CH-2 de laguna Chaxa. Las coordenadas indicadas en la foto corresponden al punto del borde lagunar medido. Fuente ATyGeo, abril 2024.**



**Fotografía N°2. Medición de borde más próximos a la estaca CH-20 de laguna Chaxa. Las coordenadas indicadas en la foto corresponden al punto del borde lagunar medido. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

#### 5.4.2 LAGUNA BARROS NEGROS



**Fotografía N°3. Medición de borde más próximos a la estaca BN-24 de laguna Barros Negros. Las coordenadas indicadas en la foto corresponden al punto del borde lagunar medido. Fuente ATyGeo, abril 2024.**



**Fotografía N°4. Medición de borde más próximos a la estaca BN-7 de laguna Barros Negros. Las coordenadas indicadas en la foto corresponden al punto del borde lagunar medido. Fuente ATyGeo, abril 2024.**

---

## 6. DISCUSIONES

De acuerdo con las actividades programadas, la medición de estacas perimetrales en la Laguna Puilar fue cancelada por el Guardaparque de CONAF, porque se estaba realizando el monitoreo de flamencos alto andino e instalación de transmisores satelitales.

A continuación, se hace una comparación entre las metodologías para los cálculos utilizadas:

### 6.1 COMPARACION ENTRE METODOLOGÍAS

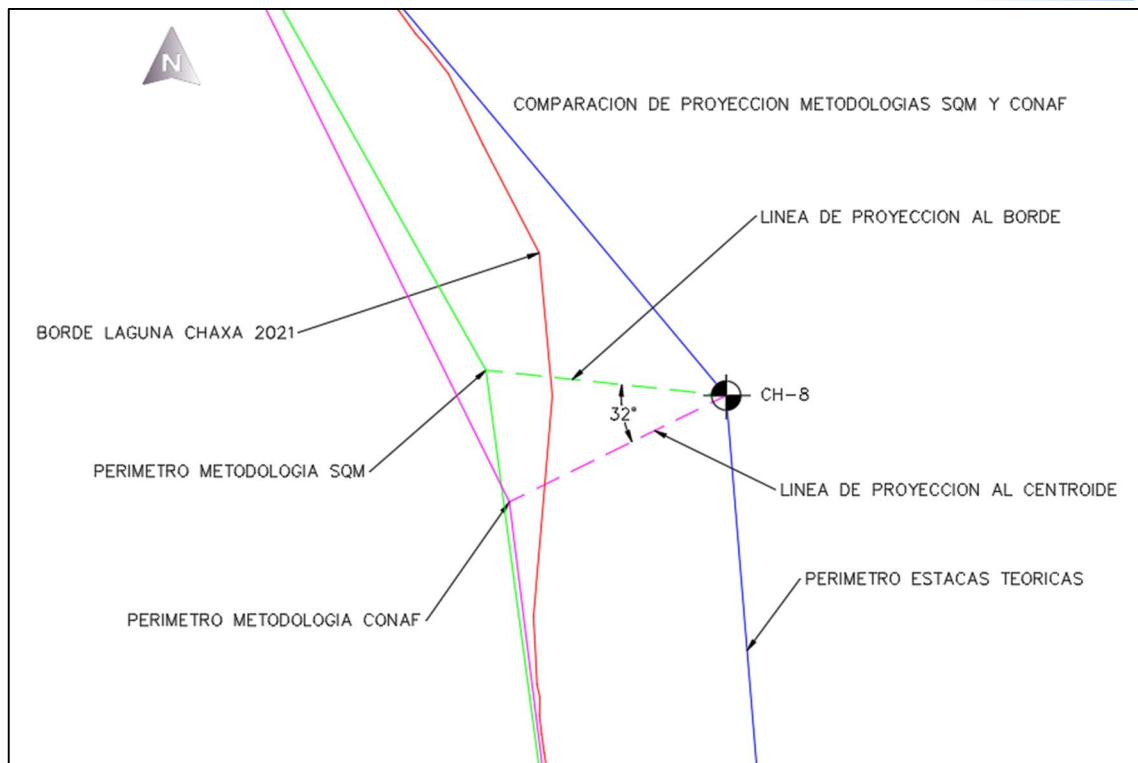
Las metodologías utilizadas forman polígonos diferentes, lo que resulta en valores distintos del perímetro y el área calculada. Si bien, se usa la misma medida de distancia entre las estacas perimetrales y el borde de la laguna, el ángulo formado es distinto. La metodología de SQM se ajusta más al borde de la laguna, mientras que la metodología de CONAF proyecta esa la misma distancia al centroide calculado.

En ambos casos no se cubre la totalidad de la superficie. Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos dependen del número de estacas perimetrales, lo que significa que a mayor cantidad de estacas mayor será la correspondencia con la superficie real lagunar.

Sin embargo, este método es importante para hacer seguimiento y establecer comparaciones de rango amplio, pero con diferencias al compararla con otros métodos, como lo es el levantamiento topográfico de perímetro lagunar con equipos GNSS diferencial en método RTK o PPK, que aporta información más ajustada al perímetro real de la laguna, así como el cálculo de superficie lacustre con métodos satelitales.

En la figura N°9 se muestra un ejemplo de líneas de proyección de estacas al borde y al centroide, indicando la diferencia angular entre ellos.





**Figura N°9. Comparación de línea de proyección desde estaca CH-8 hasta borde de laguna (metodología SQM), con línea de proyección desde estaca CH-8 al centroide (metodología CONAF) en laguna Chaxa.**

**Fuente ATyGeo, abril 2024.**

## 7. CONCLUSIONES

A partir de las mediciones realizadas en las superficies lacustres del Salar de Atacama se puede indicar que:

- Se midieron las estacas perimetrales en lagunas Chaxa y Barros Negros del sistema lacustre de Soncor.
- La medición de estacas perimetrales en el sistema Peine no se realizó porque se encontraba sin autorización de ingreso.
- Con respecto a las metodologías de SQM y CONAF utilizadas para estas mediciones, se debe señalar que no representan fielmente el perímetro de las lagunas, ya que no cubre la totalidad de la superficie. Los sectores de desbordes o expansión en laguna Barros Negros no son considerados.
- En las tablas entregadas en este informe y para el cálculo de centroide se utilizaron las coordenadas de estacas levantadas en terreno periodos 2021 y 2022.
- Se debe indicar que para el cálculo de perímetro y área utilizando la metodología SQM, los resultados se entregan en la siguiente tabla:

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA SQM ABRIL 2024				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2345.2	2.345	269409.5	26.941
BARROS NEGROS	4956.1	4.956	1001426.6	100.143

- Para realizar los cálculos con la metodología CONAF, se obtuvieron las siguientes coordenadas del centroide:

COORDENADAS CALCULADAS DE CENTROIDE		
LAGUNA	NORTE	ESTE
CHAXA	7419903.79	585117.51
BARROS NEGROS	7416517.06	586268.71

- Además, para el cálculo de perímetro y área utilizando la metodología CONAF, los resultados se entregan en la siguiente tabla:

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA SEGÚN METODOLOGIA CONAF ABRIL 2024				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2347.2	2.347	267611.1	26.761
BARROS NEGROS	5241.9	5.242	1003884.1	100.388

---

## 8. REFERENCIAS

Para confeccionar este informe se utilizaron como referencias los siguientes documentos:

- RESOL EXENTA N 223 SMA
- SL-00-IT-0002\_REV.1
- SL-00-IT-0003\_REV.0
- SL-00-IT-0004\_REV.0
- SL-00-IT-0008\_REV.0
- SL-00-IT-0011\_REV.0
- SL-00-IT-0014\_REV.0

## 9. ANEXOS

El informe de Levantamiento de Superficies Lacustres contempla archivos digitales, los cuales fueron cargados en carpeta compartida de plataforma SQM denominada “1 Mediciones Lacustres”, en “9 Campaña ATyGeo - Abril 2024”, y “05 Estacas Perimetrales Abril 2024”. Estos archivos digitales contienen toda la información del trabajo realizado, los cuales son:

- 1\_Informe
- 2\_Planilla
- 3\_Fotos
- 4\_SHAPE
- 5\_KMZ
- 6\_CSV
- 7\_Referencias

Además, se adjunta Anexo N°1 con el listado de coordenadas de estacas perimetrales teóricas utilizadas.

## 9.1 ANEXO 1 COORDENADAS TEORICAS DE ESTACAS PERIMETRALES

ESTACAS TEORICAS LAGUNA CHAXA		
ID	NORTE	ESTE
CH-1	7419606.01	585230.96
CH-2	7419605.65	585253.96
CH-3	7419708.68	585285.30
CH-4	7419721.00	585338.47
CH-5	7419804.57	585418.64
CH-6	7419782.67	585448.77
CH-7	7419873.45	585466.80
CH-8	7420067.52	585450.86
CH-9	7420276.24	585276.73
CH-10	7420223.15	585111.66
CH-11	7420191.74	585130.58
CH-12	7420116.30	585060.55
CH-13	7420093.13	585004.84
CH-14	7420120.50	584841.84
CH-15	7420046.84	584860.47
CH-16	7419861.51	584905.13
CH-17	7419758.66	584778.89
CH-18	7419745.69	584721.09
CH-19	7419615.77	584945.34
CH-20	7419619.52	584993.88
CH-21	7419634.28	585095.65
CH-22	7419688.00	585153.88
CH-23	7419646.44	585145.37
CH-24	7419633.05	585205.17

ESTACAS TEORICAS LAGUNA PUILAR		
ID	NORTE	ESTE
PU-1	7422497.72	587947.65
PU-2	7422494.93	587994.41
PU-3	7422547.65	588032.68
PU-4	7422626.13	588053.15
PU-5	7422694.71	588115.53
PU-6	7422709.26	588099.32
PU-7	7422692.44	588037.12
PU-8	7422556.39	588018.17
PU-9	7422506.60	587934.50
PU-10	7422455.54	587756.37
PU-11	7422428.01	587540.56
PU-12	7422414.79	587537.82
PU-13	7422392.49	587621.46
PU-14	7422396.30	587697.82
PU-15	7422454.95	587788.39
PU-16	7422502.36	587940.65



ESTACAS TEORICAS LAGUNA BARROS NEGROS		
ID	NORTE	ESTE
BN-1	7416975.71	585803.92
EX-1	7417078.99	585861.62
EX-2	7417148.13	585919.89
ES-2	7417237.76	585973.18
ES-3	7417259.06	585950.22
BN-24	7417339.14	586058.14
BN-23	7417243.28	586121.08
BN-22	7417076.96	586449.92
EX-3	7417177.45	586661.06
BN-21	7417016.89	586627.26
ES-7NE	7417014.39	586629.85
ES-8NE	7416998.87	586643.11
EX-4	7416963.36	586470.01
BN-20	7416920.51	586599.77
BN-19	7416804.83	586603.42
BN-18	7416305.10	586714.40
BN-17	7416177.92	586788.67
EX-5	7415987.38	586760.58
BN-14B	7415760.16	586684.88
ES-14	7415689.03	586714.79
ES-36	7415681.31	586698.54
BN-14A	7415693.75	586684.66
BN-14	7415802.29	586561.13
EX-6	7415845.53	586465.58
ES-33	7415882.50	586419.87
BN-13	7415914.07	586341.92
ES-31	7415913.67	586243.15
BN-12	7415931.24	586130.68
ES-30	7416022.39	586154.80
BN-11	7416089.66	586240.16
ES-28	7416076.98	586153.12
BN-10	7416100.24	586060.49
ES-26	7416139.20	586012.06
BN-9	7416185.64	585947.06
BN-8	7416225.03	585881.64
BN-7	7416207.30	585778.09
BN-6	7416246.23	585703.62
ES-21	7416290.10	585635.19
ES-20	7416357.05	585661.92
BN-5	7416267.93	585724.08
BN-3P	7416323.52	585814.81
ES-17	7416600.63	585843.70
BN-3	7416700.12	585861.16
BN-2	7416811.52	585788.49

ESTACAS TEORICAS LAGUNA SALADA		
ID	NORTE	ESTE
SA-1	7380741.24	587621.94
SA-2	7380809.21	587561.74
SA-3	7380764.20	587645.08
SA-4	7380751.50	587653.84
SA-5	7380745.08	587713.86
SA-6	7380709.50	587742.07
ES-2	7380700.41	587814.05
SA-7	7380695.77	587843.68
SA-8	7380699.89	587916.97
SA-9	7380649.51	587967.86
SA-10	7380503.73	588094.88
SA-11	7380428.60	588163.18
SA-12	7380401.85	588267.96
SA-13	7380333.13	588357.60
SA-14	7380328.96	588350.47
SA-15	7380363.00	588262.46
SA-16	7380431.29	588083.79
SA-17	7380528.90	587956.48
SA-18	7380601.63	587955.66
ES-19	7380559.23	587940.34
ES-20	7380532.50	587926.95
ES-22	7380493.69	587910.85
ESX-1	7380453.55	587910.28
ES-25	7380367.15	587895.06
SA-19	7380347.43	587883.68
ES-27	7380289.64	587871.54
ES-28	7380257.63	587857.16
ES-29	7380216.78	587843.97
ESX-2	7380185.16	587822.63
SA-20	7380161.55	587796.13
SA-21	7380180.61	587742.39
SA-22	7380186.98	587695.73
ES-33	7380221.25	587643.50
ES-35	7380251.69	587605.91
SA-23	7380277.44	587584.52
SA-24	7380311.38	587539.94
ESX-3	7380424.50	587606.49
ES-39	7380480.29	587612.01
SA-25	7380512.01	587576.37
ES-41	7380507.36	587498.70
ES-42	7380535.26	587489.80
ES-43	7380546.73	587530.14
ES-44	7380572.19	587613.02
ES-45	7380566.98	587639.82
SA-26	7380667.97	587654.36
ES-47	7380672.53	587640.11

ESTACAS TEORICAS LAGUNA SALADITA		
ID	NORTE	ESTE
SATA-1	7381488.06	587020.67
ES-2	7381479.99	587083.09
SATA-23	7381474.01	587106.76
SATA-22	7381422.53	587111.00
ES-5	7381387.88	587105.27
SATA-21	7381356.17	587093.54
SATA-20	7381288.77	587085.97
ES-9	7381229.93	587069.92
SATA-19	7381194.65	587057.54
ES-11	7381144.95	587036.76
SATA-18	7381117.89	587027.57
SATA-15	7381090.14	587023.45
SATA-14	7381025.19	586985.20
SATA-13	7380991.64	587040.39
ES-16	7380928.10	587068.85
SATA-12	7380955.88	587038.62
ES-18	7381004.33	586970.39
ES-19	7381022.72	586946.67
SATA-11	7381026.96	586921.22
ES-21	7381056.65	586889.48
ES-22	7381116.20	586860.37
ES-23	7381229.09	586827.18
SATA-9	7381242.84	586816.38
ES-25	7381293.71	586813.47
ES-26	7381354.05	586784.07
SATA-7	7381385.62	586741.85
SATA-6	7381414.22	586693.34
ES-29	7381419.10	586697.66
SATA-5	7381393.77	586757.05
ES-32	7381388.78	586823.93
ES-33	7381387.52	586836.81
SATA-4	7381402.80	586905.50
SATA-3	7381453.14	586920.01
ES-36	7381452.19	586936.65
ES-37	7381475.74	586910.11
ES-38	7381528.13	586896.23
SATA-2	7381482.22	586927.25
ES-40	7381478.45	586957.87
SATA-24 NE	7381472.68	587062.59
SATA-8	7381323.26	586766.89
SATA-10	7381137.85	586837.36
SATA-16	7381064.21	587055.22
SATA-17	7381050.97	587084.72
ESX-1	7381311.18	587094.16
ESX-2	7381072.33	586989.69
ESX-3	7381206.51	586820.89
ESX-4	7381387.41	586881.33

### **Anexo 10.3**

Compilado de resultados de extensión lagunar



## Sistema Soncor

Periodo de medición	Cuerpo de agua	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m²)
ene-24	Laguna Puilar	SRGIS	Imagen Satelital	62.723
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	61.931
ene-24	Laguna Chaxa	SRGIS	Imagen Satelital	280.335
abr-24		ATyGEO	Estacas Perimetales	267.611
		SRGIS	Imagen Satelital	275.850
ene-24	Laguna Barros Negros Cuerpo Principal	SRGIS	Imagen Satelital	755.361
abr-24		ATyGEO	Estacas Perimetales	1.003.884
		SRGIS	Imagen Satelital	824.777
ene-24	Desborde Sur	SRGIS	Imagen Satelital	96.876
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	94.786
ene-24	Laguna Barros Negros: A. Inundación I	SRGIS	Imagen Satelital	1.421
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	1.329
ene-24	Laguna Barros Negros: A. Inundación II	SRGIS	Imagen Satelital	8.982
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	1.805
ene-24	Laguna Barros Negros: A. Inundación III	SRGIS	Imagen Satelital	0
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	0

### Sistema Peine

Periodo de medición	Cuerpo de agua	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m²)
ene-24	Laguna Salada	SRGIS	Imagen Satelital	200.902
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	195.922
ene-24	Laguna Saladita	SRGIS	Imagen Satelital	85.293
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	81.967
ene-24	Canal de Recarga Salada	SRGIS	Imagen Satelital	22.452
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	20.466
ene-24	Canal de Descarga Salada	SRGIS	Imagen Satelital	5.484
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	4.462

### Sistema Aguas de Quelana

Periodo de medición	Cuerpo de agua	Responsable	Técnica de medición	Superficie (m²)
ene-24	Cuerpos dispersos de Aguas de Quelana	SRGIS	Imagen Satelital	109.385
abr-24		SRGIS	Imagen Satelital	129.597