
ANEXO 10

Extensión lagunar

Anexo 10.1

- Resultados extensión lagunar

Anexo 10.2

- Informe análisis imagen satelital sistemas Soncor-Peine enero y abril 2022
- Actualización informe GEM 2022 – Aguas de Quelana

Anexo 10.3

- Informe levantamiento estacas perimetrales

Anexo 10.4

- Informe levantamiento perímetro lagunar - RTK

Anexo 10.1

- Resultados extensión lagunar

Superficies lacustres medidas con imágenes satelitales (Soncor y Peine). Aguas de Quelana histórico mostrado en apartado informe GEM 2022.

Fecha	Barros Negros (cuerpo principal) (m2)	Barros Negros (áreas aledañas) (m2)	Barros Negros Desborde Sur (m2)	Chaxa (m2)	Puilar (m2)	Salada (m2)	Saladita (m2)	Interna (m2)
abr - 2008	1.060.666	211.583	-	315.363	69.823	170.447	113.240	175.958
abr - 2009	1.080.628	243.388	-	316.764	70.360	199.511	109.968	191.671
abr - 2010	1.048.924	154.737	-	308.357	69.267	198.178	108.022	198.838
abr - 2011	1.083.311	242.137	-	305.433	70.003	199.521	110.394	182.616
abr - 2012	1.085.391	241.942	-	300.248	68.280	196.398	116.315	246.828
abr - 2013	1.063.325	192.643	-	295.786	68.264	197.314	110.227	331.075
abr - 2014	1.064.767	193.848	-	296.162	68.419	197.427	105.522	261.763
abr - 2015	1.116.891	263.359	-	297.955	68.940	198.492	103.638	472.172
abr - 2016	1.051.449	131.257	13.067	291.397	67.151	198.028	96.262	134.054
abr - 2017	1.082.109	207.049	312.329	293.310	69.434	200.958	99.410	405.302
abr - 2018	1.065.345	97.428	33.908	291.001	66.828	200.710	95.010	112.523
abr - 2019	1.101.511	227.782	476.931	330.083	62.101	195.632	89.263	680.710
abr - 2020	1.071.838	107.945	301.545	346.599	63.142	180.238	90.767	446.388
abr - 2021	1.038.243	47.360	147.530	280.058	62.613	198.146	93.184	190.621
ene - 2022	891.955	5.591	77.861	275.573	62.194	183.500	73.958	116.209
abr - 2022	1.032.329	61.359	127.750	288.353	63.195	197.637	96.828	186.070

Superficies lacustres medidas mediante el método RTK

Fecha	Barros Negros (cuerpo principal) (m2)	Desborde Sur (m2)	Chaxa (m2)	Puilar (m2)	Salada (m2)	Saladita (m2)	Interna (m2)
abr - 2008	1.055.856	-	313.750	65.854	147.500	118.284	S/I
abr - 2009	1.130.213	-	310.739	76.857	199.394	110.502	246.295
abr - 2010	1.073.413	-	309.365	71.311	199.067	107.149	231.590
abr - 2015	1.128.655	-	311.239	80.941	172.725	84.177	85.846
abr - 2021	1.053.200	204.130	286.450	S/I	197.940	101.840	S/I
abr - 2022	S/I	154.739	289.634	64.615	200.424	97.947	108.826*

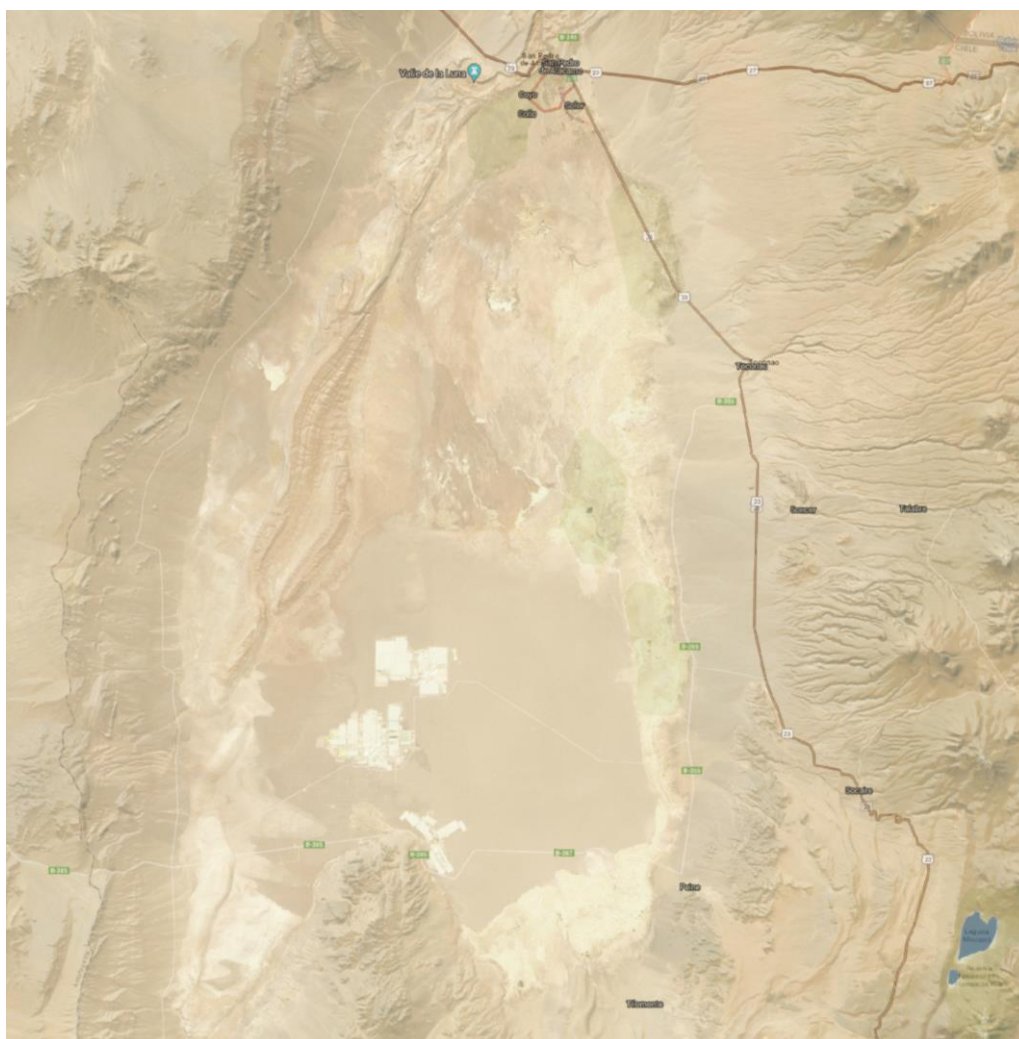
* = 108826 (Interna abr 2022) no incluye medición de perímetro de zona distal lagunar.

Anexo 10.2

- Informe análisis imagen satelital sistemas Soncor-Peine enero y abril 2022
- Actualización informe GEM 2022 – Aguas de Quelana

Datos de reconocimiento en terreno de superficies lacustres
Campaña enero de 2022

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



Marzo 2022

INDICE

Contenido

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	7
4.5.1. Análisis de Imágenes Satelitales.....	8
4.5.2. Contornos de las Lagunas.....	13
4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies	14
5. RESULTADOS.....	17
6. CONCLUSIONES	26
7. REFERENCIAS	27

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas	5
Figura 2: Imagen SkySat Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.	7
Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua	8
Figura 4: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones	9
Figura 5: (a) Combinación RGB Infrarrojo Color de las imagen multiespectral original (resolución de 2 metros), (b) Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y (c) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multiespectral fusionada con la banda Pancromática.	10
Figura 6: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los pixeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)..	11
Figura 7: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo para los sistemas SONCOR y PEINE	12
Figura 8: Límites de análisis raster para cada laguna en los sistemas Soncor y Peine.	14
Figura 9: Límites de las lagunas en el sistema Soncor.....	16
Figura 10: Límites de las lagunas en el sistema Peine	17
Figura 11: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa	18
Figura 12: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros	19
Figura 13: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.....	20
Figura 14: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur	21

Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.....	23
Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita	24
Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna	25

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, enero 2022	4
Tabla 2: Principales características de la imagen SkySat.....	6
Tabla 3: Factores a y b para el cálculo del TSAVI.....	12
Tabla 4: Umbrales utilizados con los índices NDWI, TSAVI e IHS	13
Tabla 5: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Soncor	15
Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Peine.....	16
Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR.	17
Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.....	22

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. El presente 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 2022.

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, enero 2022. Elaboración Propia.

Sistema	Nombre del Cuerpo de Agua	Superficie del espejo de agua (m ²)
Soncor	Chaxa	275.573
	Barros Negros	897.545
	Puilar	62.194
	Desborde Sur	77.861
Peine	Salada	183.500
	Saladita	73.958
	Interna	116.209

2. INTRODUCCIÓN

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 de los sistemas Soncor y Peine de enero 2022. 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 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 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 2022 de los sistemas SONCOR y PEINE. Además de cumplir con el cumplimiento de 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).

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).

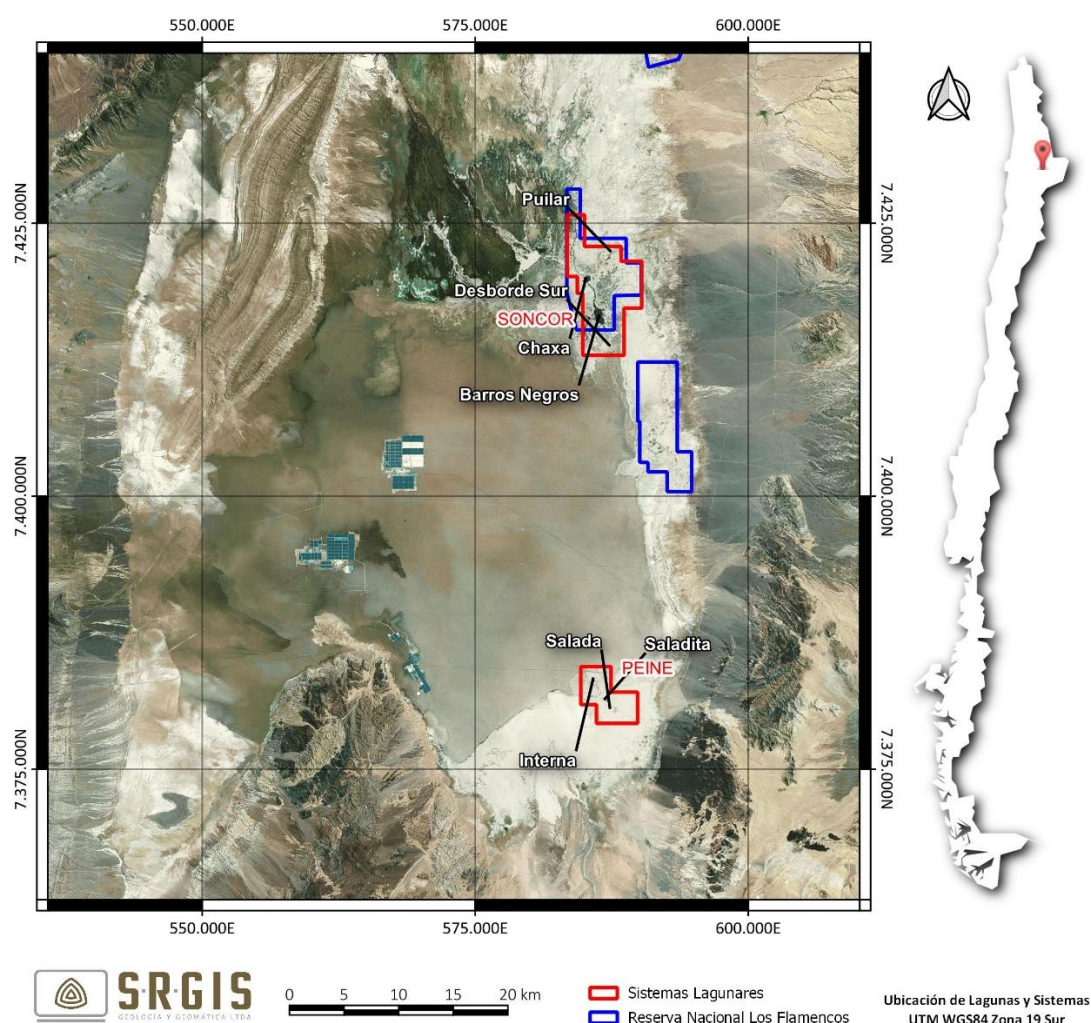


Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas (UTM WGS84 19S). Elaboración propia.

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, aunque no corresponde a una unidad regular (permanente). 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 tres lagunas distribuidas de sureste a noroeste y conectadas entre sí por un canal, denominadas Salada, Saladita e Interna (en dicho orden desde sureste a noroeste).

4.2. MATERIALES, SOFTWARE Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial que posee píxeles que cubren un área de 4 m² por píxel (2 x 2 m) para las bandas multiespectrales y que además posee una banda pancromática que cubre un área de 0,25 m² por píxel (0,5 x 0,5 m). La imagen corresponde al sensor SkySat y las imágenes fueron capturadas los días 27 y 28 de enero de 2022 y fueron entregadas por el cliente en un mosaico multiespectral de 0,5 metros de resolución en formato GeoTIFF. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

Tabla 2: Principales características de la imagen SkySat.

RANGO ESPECTRAL	BANDA	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Visible	Azul	2 mts.
Visible	Verde	2 mts.
Visible	Rojo	2 mts.
Infrarrojo Cercano	Infrarrojo Cercano	2 mts.
Visible	Pancromática	0,5 mts.

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

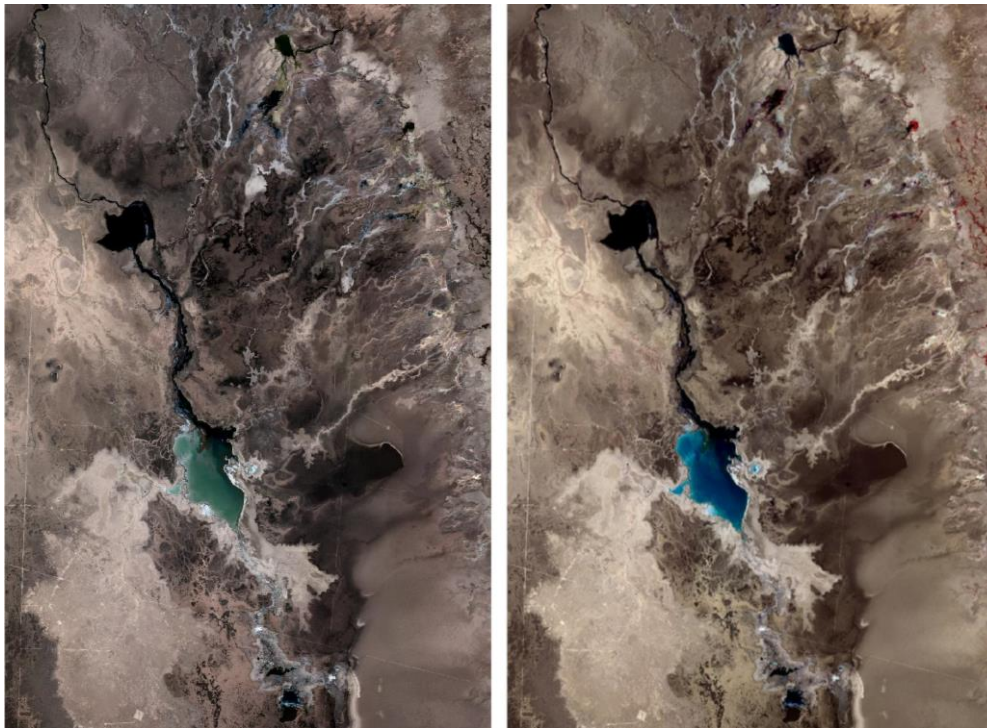


Figura 2: Imagen SkySat Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 5.6 (Harris Geospatial), software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. La confección de mapas se realizó en el software QGIS 3.18.

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, posterior a la fusión de la imagen pancromática con la imagen multiespectral.

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 para luego generar los índices los cuales se utilizan para realizar el mapeo mediante la selección de umbrales de cada uno de ellos, en los siguientes apartados se detallará cada paso de la metodología utilizada.

Para este trabajo el proveedor de la imagen satelital entregó la imagen con los procesos de corrección atmosférica y fusión pancromática ya realizados.

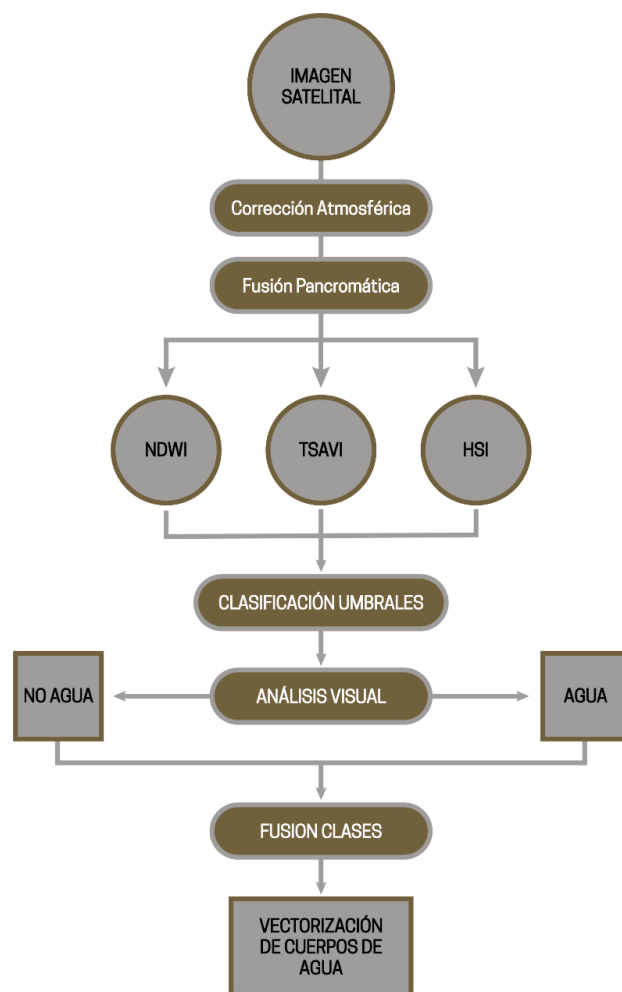


Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.

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 2022 por la constelación de satélites de la compañía Planet, obteniéndose imágenes SkySat de los días 27 y 28 de enero. La imagen es de modalidad “Bundle”, que incluye una imagen multiespectral de 4 bandas más una banda Pancromática. 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 5.6.1) se calcularon de índices espectrales IHS, MNDWI y TSAVI.

4.5.1.1 Preprocesamiento de la Imagen

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 $Wm^{-2} sr^{-1}$ y es la magnitud que detecta el sensor.

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

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

Donde:

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

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

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

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

b. Reflectancia

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

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

La Figura 4 resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.

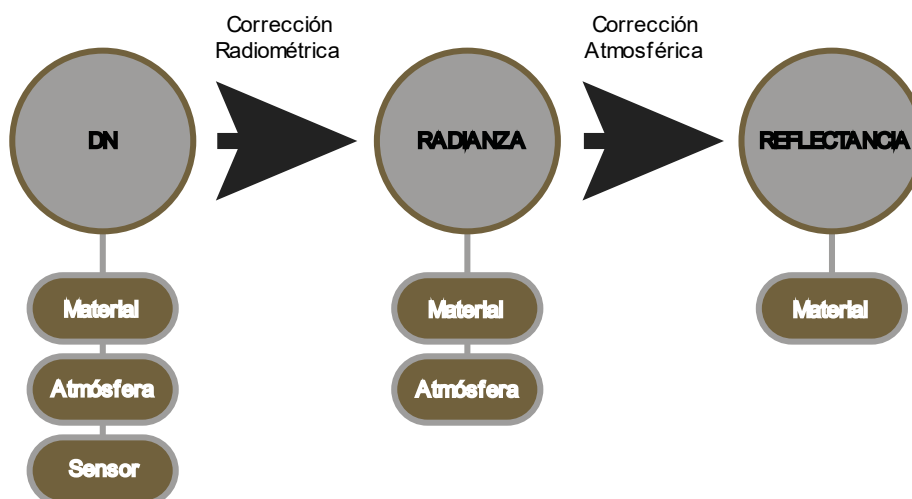


Figura 4: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones

4.5.1.2 Fusión de la Imagen

Para mejorar la resolución espacial de la imagen multiespectral obtenida desde el satélite y con el fin de obtener un mayor detalle de información se realiza un proceso denominado “PanSharpening” que mejora la

resolución espacial de una imagen multispectral utilizando la banda pancromática. El resultado tras este proceso es una imagen multispectral que no modifica la curva espectral de los píxeles, con la resolución espacial de la banda pancromática (Figura 5).

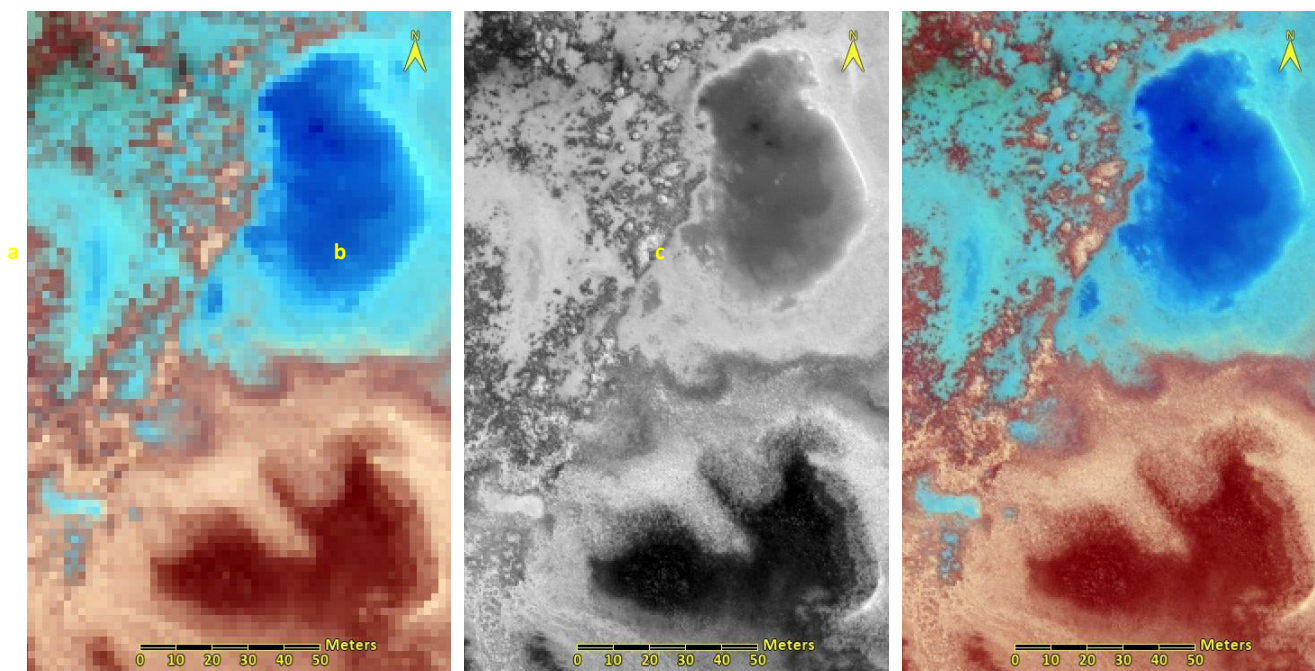


Figura 5: **(a)** Combinación RGB Infrarrojo Color de las imagen multispectral original (resolución de 2 metros), **(b)** Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y **(c)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multispectral fusionada con la banda Pancromática.

4.5.1.3 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.

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, 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 6 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.

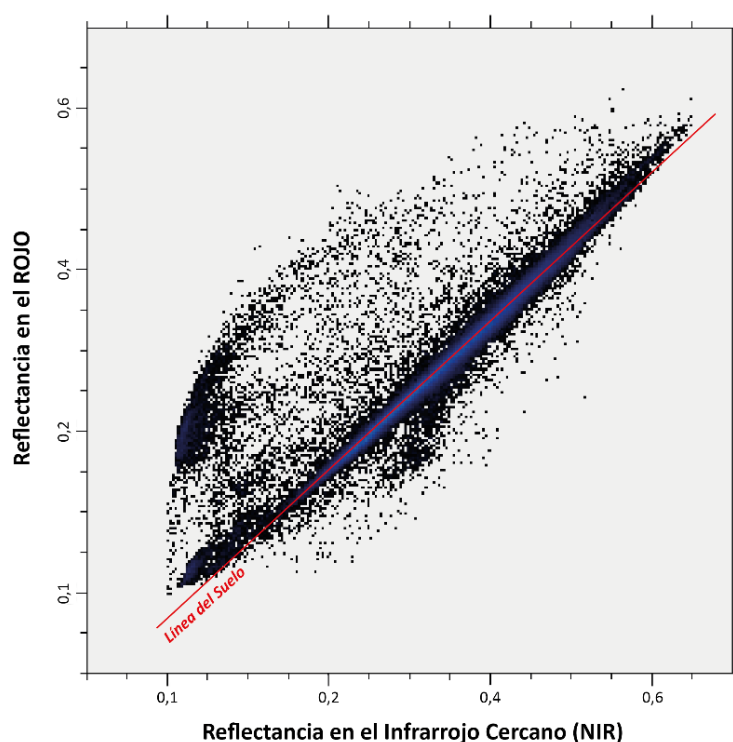


Figura 6: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)

La Figura 7 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.

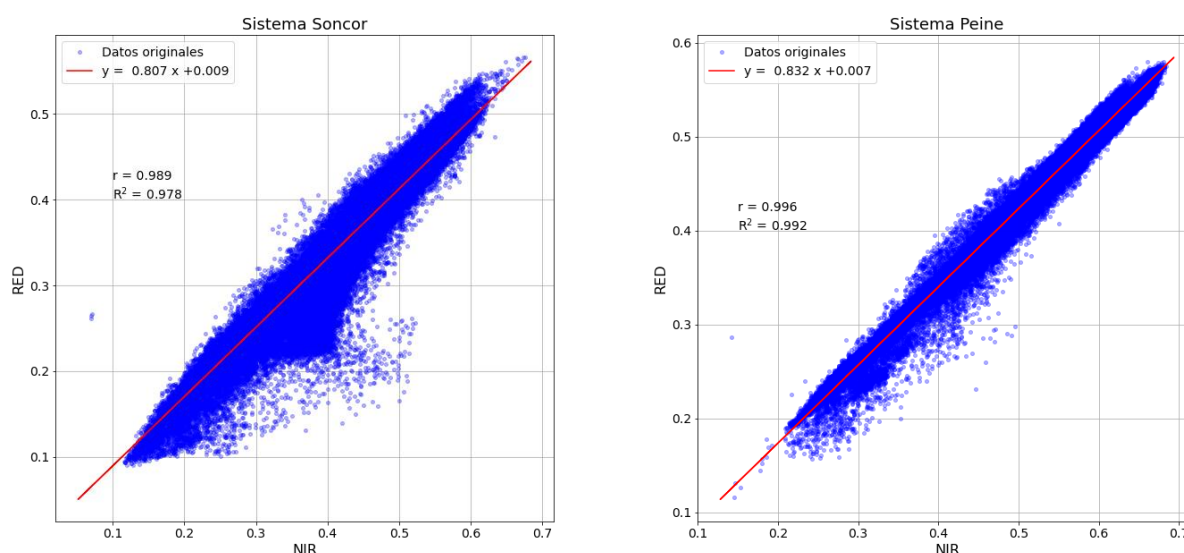


Figura 7: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE

Basado en la ecuación de la línea de tendencia de cada diagrama (Figura 7), se extraen los parámetros a y b para el cálculo del TSAVI para cada sistema (Tabla 3).

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

Sistema	Factor a	Factor b
SONCOR	0,009	0,806
PEINE	0,008	0,835

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 (Chuvienco, 2002). 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.

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 0,5 x 0,5 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. 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	LAGUNA	NDWI	TSAVI	SATURACIÓN	INTENSIDAD
SONCOR	CHAXA	$\geq 0,10$	$\leq 0,01$	N/A	N/A
	BARROS NEGROS	$\geq 0,10$	$\leq 0,05$	$\geq 0,25$	N/A
	PUILAR	$\geq -0,10$	$\leq 0,15$	N/A	N/A
	DESBORDE SUR	$\geq 0,05$	$\leq 0,07$	N/A	N/A
PEINE	SALADA	$\geq -0,13$	$\leq 0,15$	N/A	$\leq 0,13$
	SALADITA	$\geq -0,10$	$\leq 0,14$	N/A	N/A
	INTERNA	$\geq -0,10$	$\leq 0,10$	N/A	N/A

El análisis para cada laguna se realizó en un área predeterminada que abarca la laguna completa y otros cuerpos de agua, independiente de esto, el área mapeada para cada laguna sólo considera los límites

establecidos por CONAF. La Figura 8 muestra el corte realizado a la imagen satelital para el cálculo de los índices espectrales.

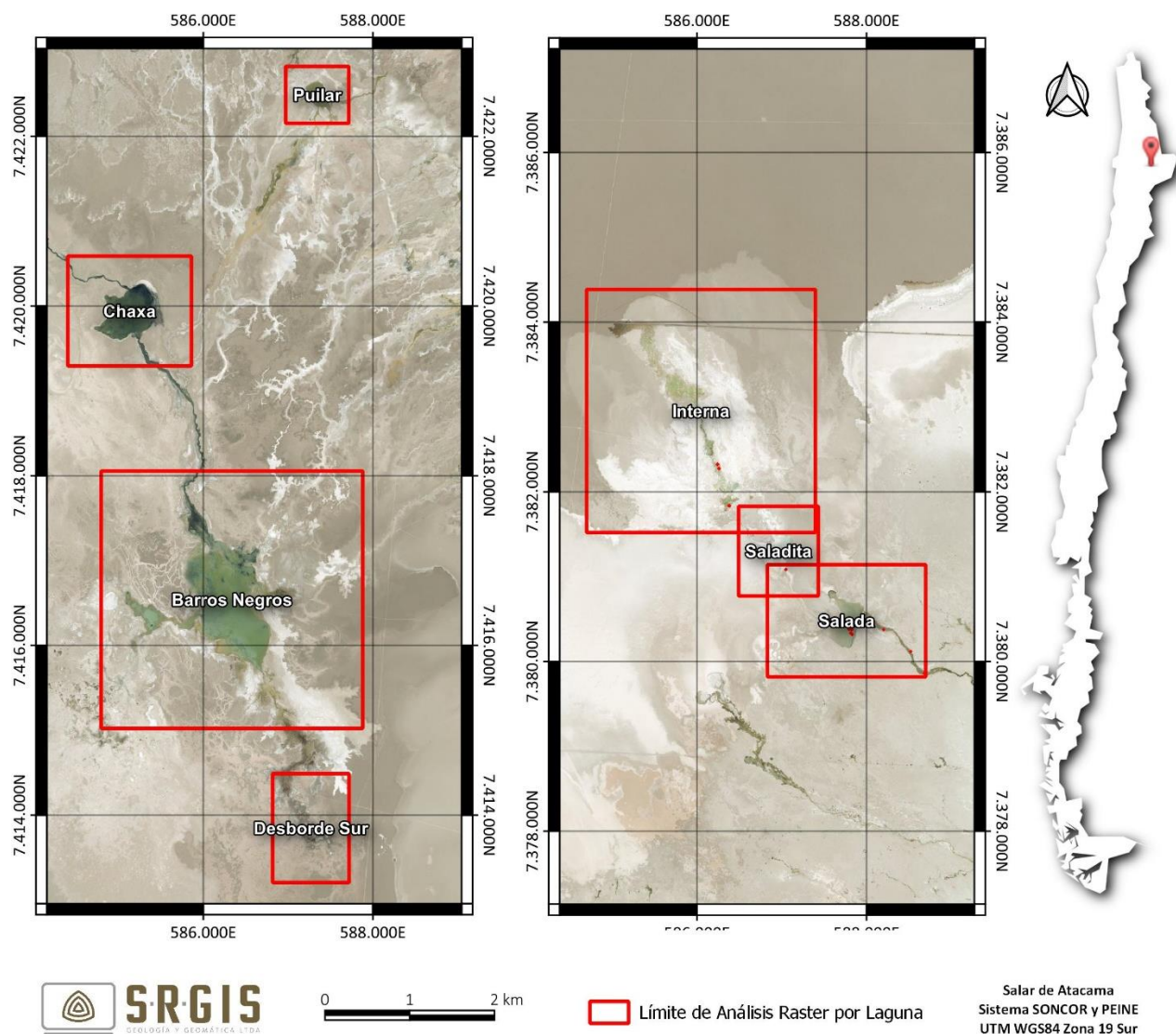


Figura 8: Límites de análisis raster para cada laguna en los sistemas Soncor y Peine.

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. Este límite es utilizado 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 9 y la Figura 10 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

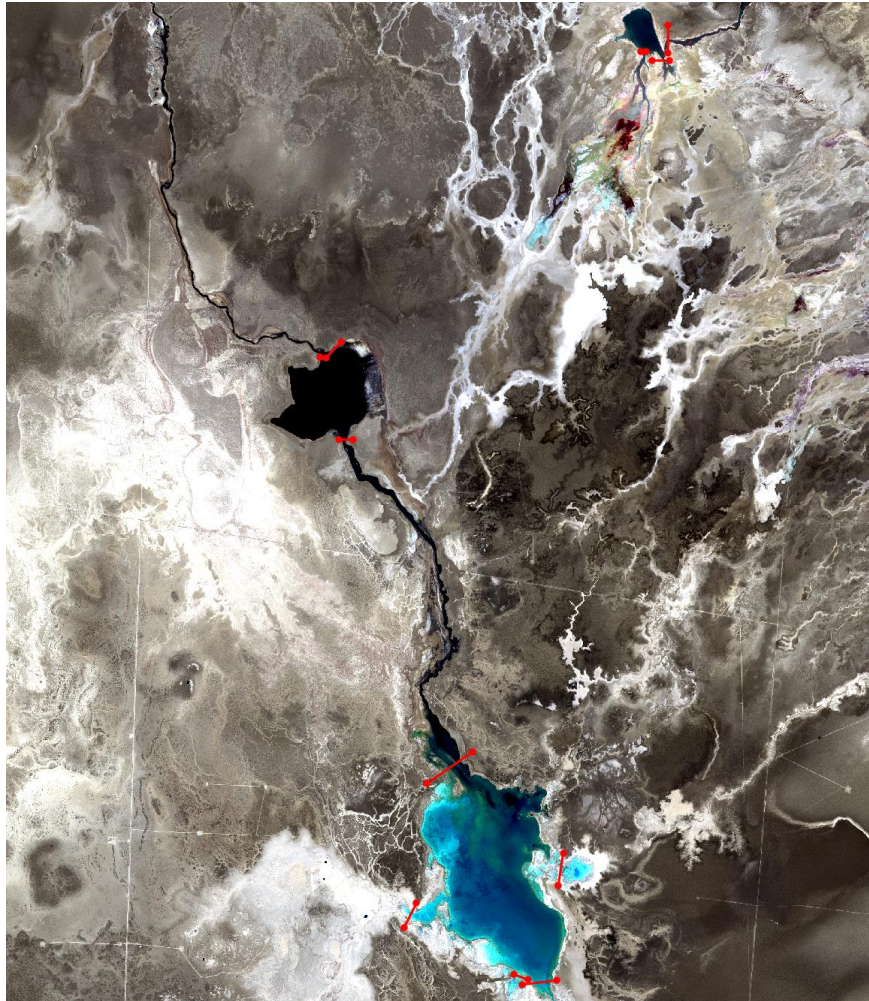


Figura 9: Límites de las lagunas en el sistema Soncor

Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel 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

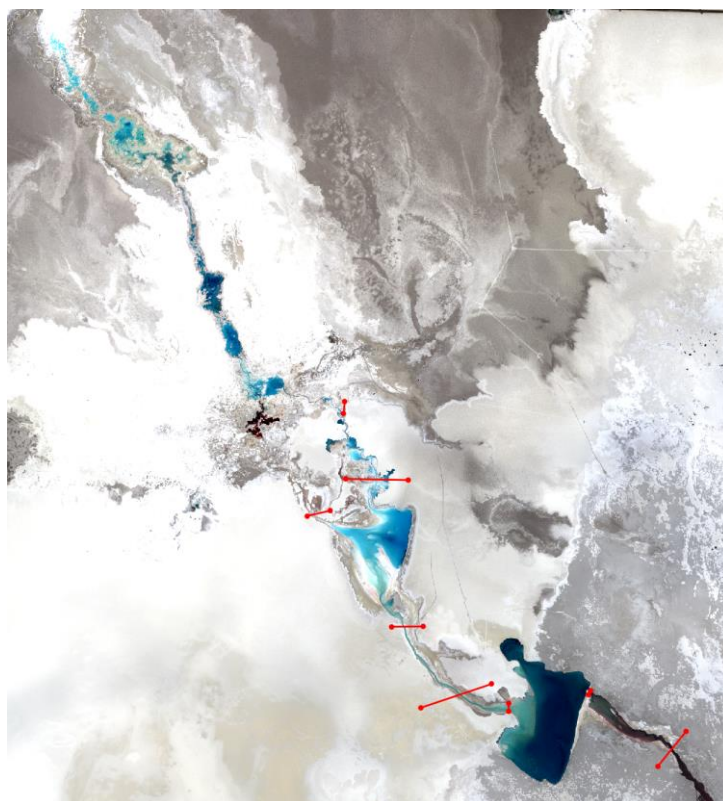


Figura 10: Límites de las lagunas en el sistema Peine

5. 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 2022.

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.

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

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

Cuerpo	Superficie (m ²)
Laguna Chaxa	275.573
Laguna Barros Negros	891.955
Área de Inundación I (Barros Negros)	997
Área de Inundación II (Barros Negros)	4.594
Área de Inundación III (Barros Negros)	0
Puilar	62.194
Desborde Sur	77.861

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 bode este donde mediante los índices no es posible una delimitación precisa (Figura 11).

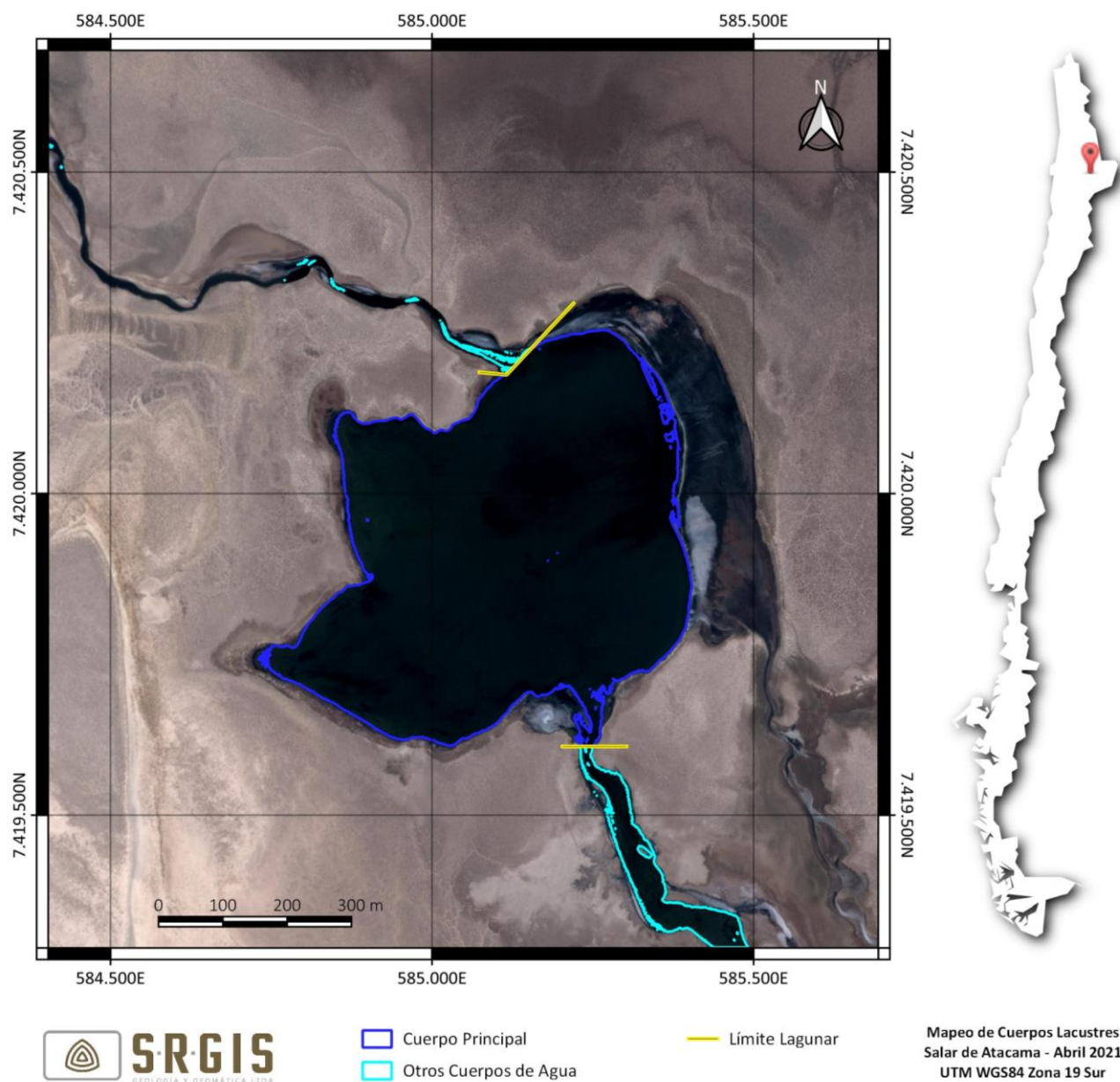


Figura 11: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

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 el cuerpo 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 pequeña como continuación del cuerpo principal y un pequeño cuerpo más alejado hacia el Oeste (Figura 12). Se consideraron también otras áreas de inundación que corresponden a las “Área de Inundación II”, al oeste de la laguna y “Área de Inundación III” al sur de la laguna, sin embargo, para este período no hay cuerpos de agua en el área de inundación III.

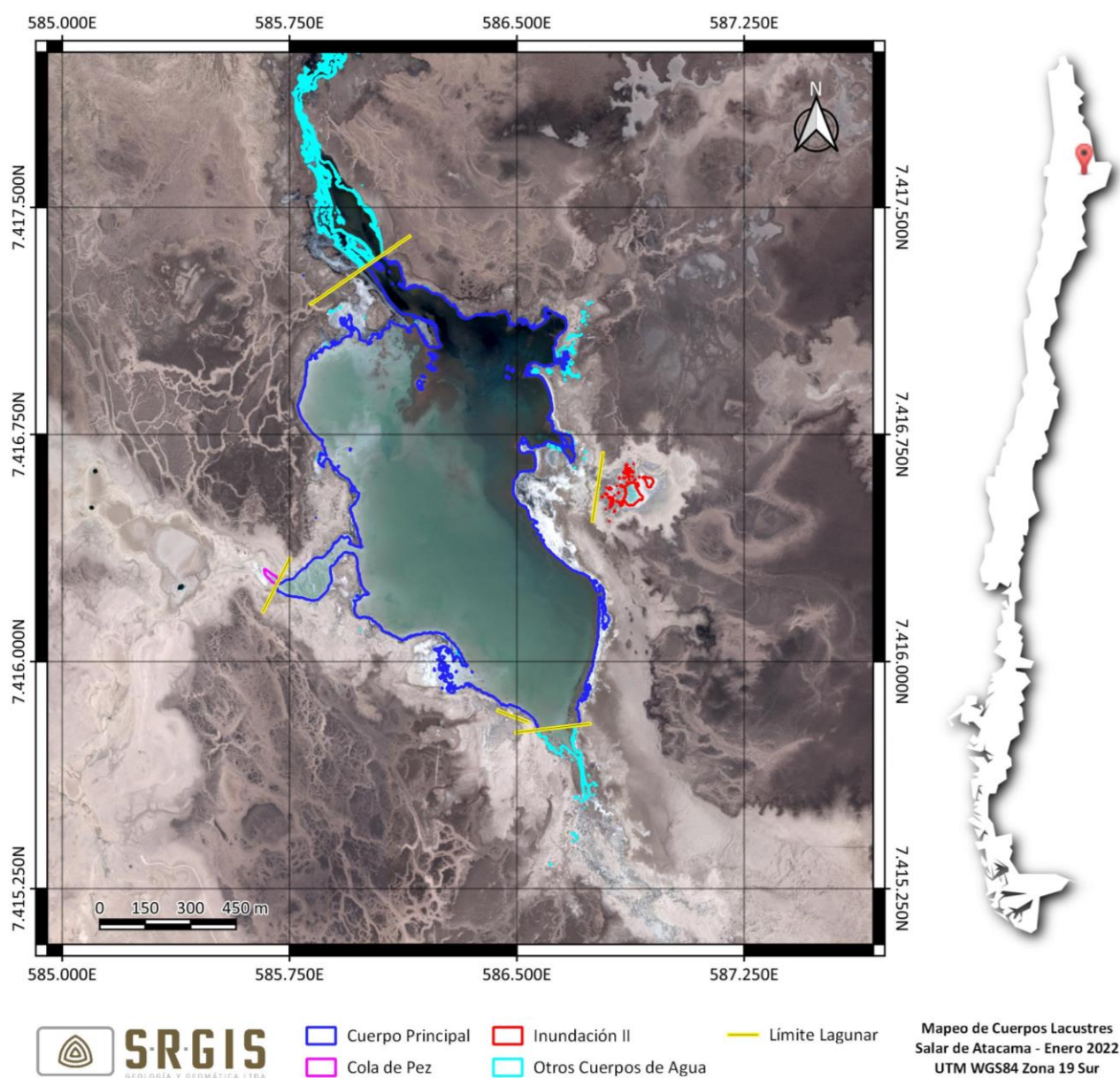


Figura 12: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

5.1.3. Laguna Puilar

La laguna Puilar tiene un cuerpo principal bien definido que fue mapeado sin problema mediante los índices espectrales y los límites definidos para esta laguna (Figura 13). No fue posible el acceso para la toma de puntos de control en esta área.

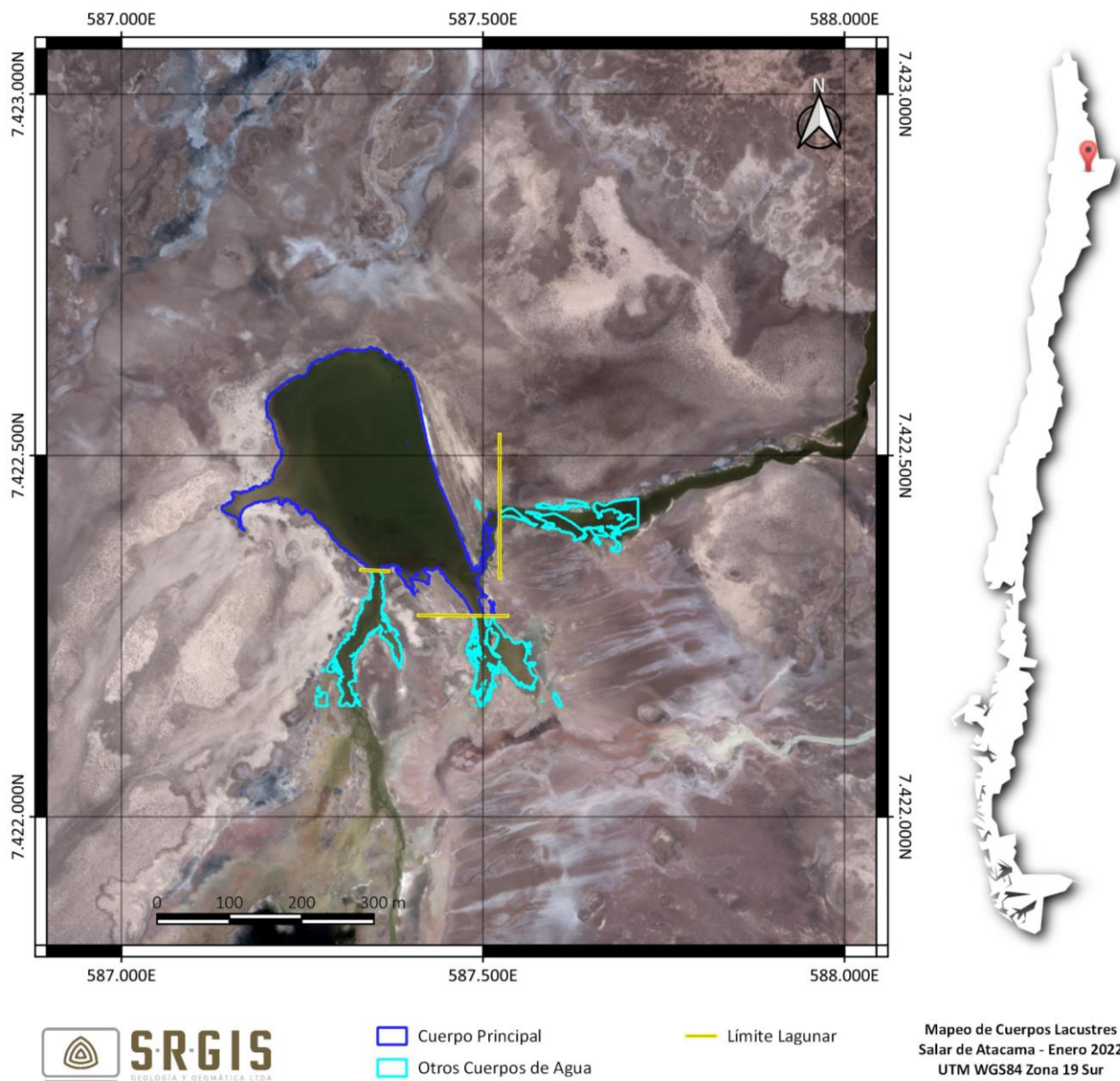


Figura 13: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

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 14).

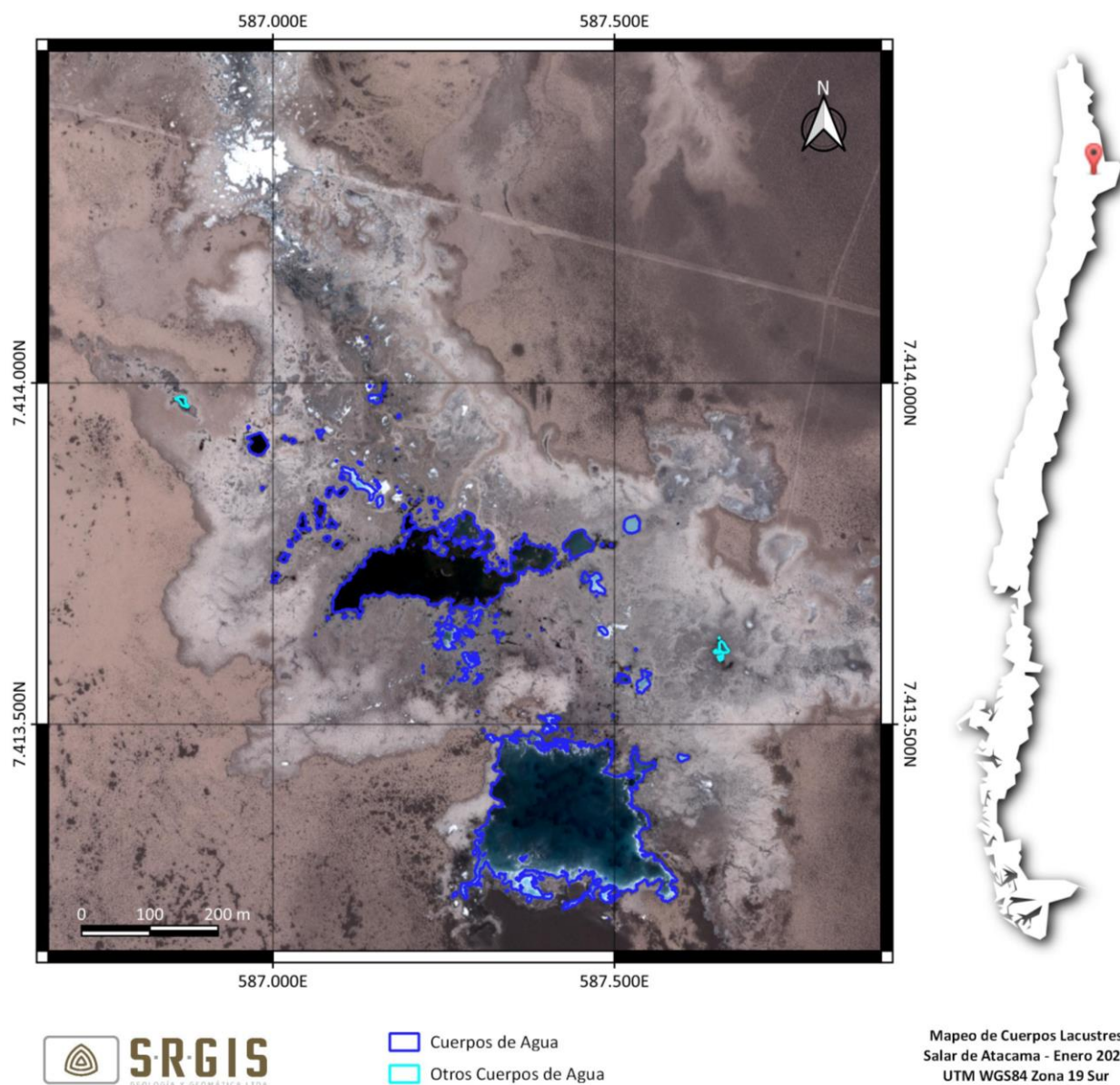


Figura 14: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

5.2 Sistema PEINE

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

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

Cuerpo	Superficie (m²)
Salada	171.849,50
Canal de Recarga (Salada)	6.744,25
Canal de Descarga (Salada)	4.906,25
Saladita	73.957,50
Interna	116.209,25

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 15).

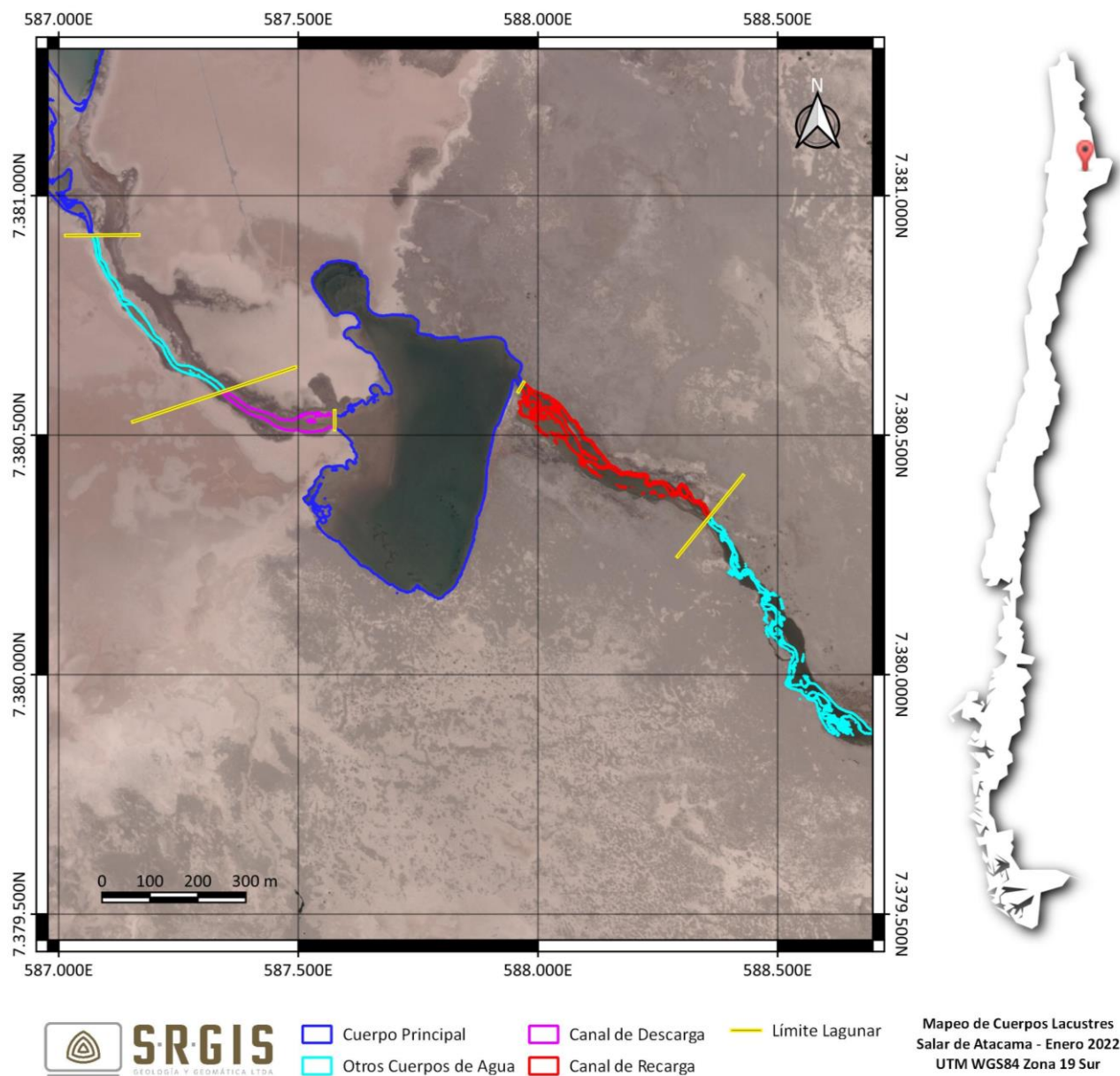


Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

5.2.2. Laguna Saladita

La laguna Saladita presenta contornos más difusos que la laguna Salada, sin embargo, es posible diferenciar los límites de los cuerpos de agua (Figura 16).

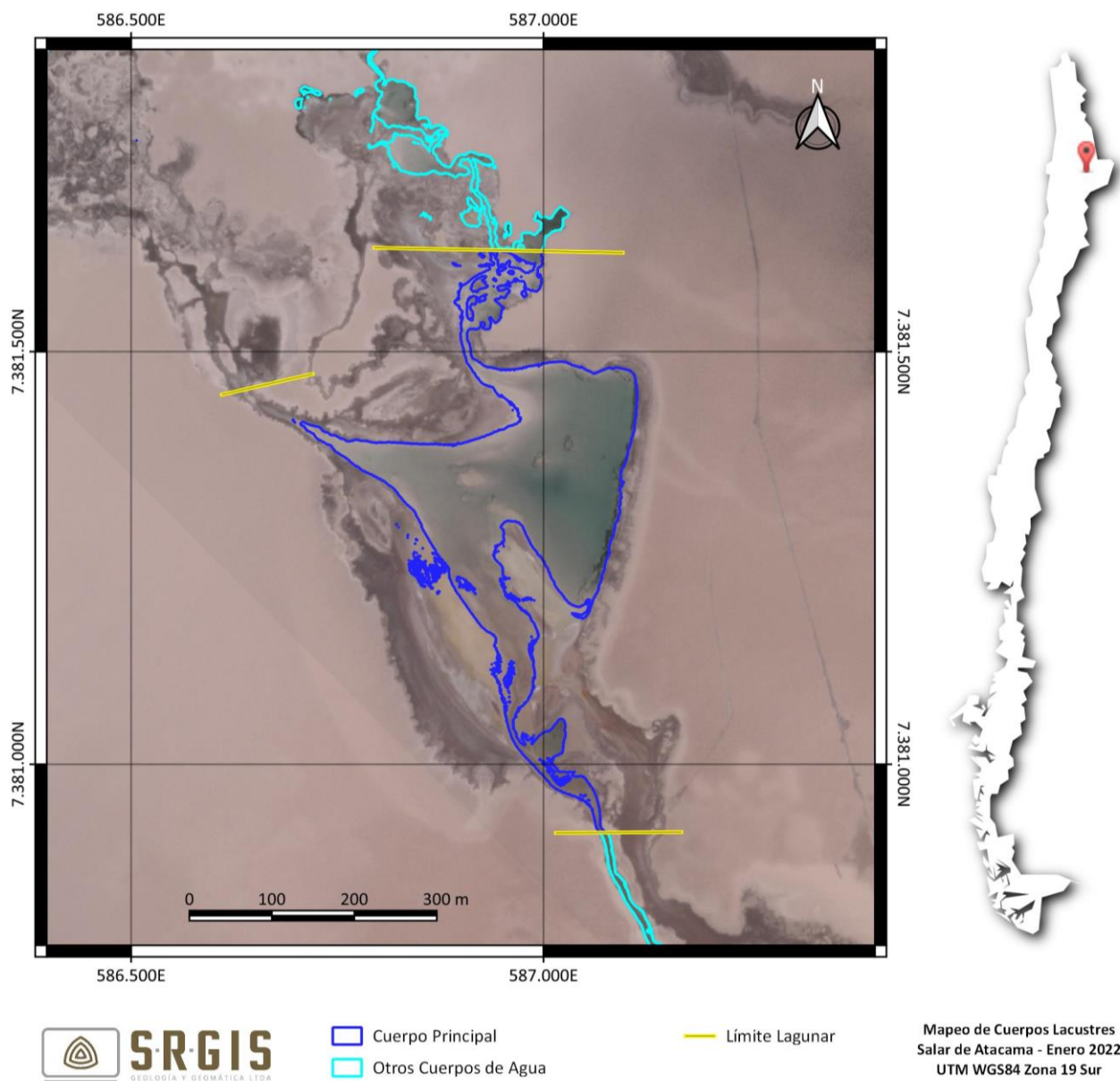


Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

5.2.3. Interna

A diferencia de las lagunas estudiadas anteriormente, la laguna Interna no conforma un cuerpo lacustre de superficie continua. No hay un cuerpo de agua principal estable en el tiempo. Los índices ayudaron en la delimitación de los límites de esta laguna, lamentablemente no fue posible acceder a esta zona para la toma de puntos de control. Es importante destacar que los índices muestran una superficie de agua importante en el extremo Noroeste de esta zona, aunque a simple vista en la imagen no pareciera haber agua, al ajustar los contrastes se ve una tonalidad celeste en la combinación RGB Infrarrojo Color que es el tono en el que se ven los otros cuerpos de agua; sin embargo, la tonalidad es bastante sutil por lo que no queda perfectamente claro que se trate de un cuerpo de agua, sino que podría ser una zona muy húmeda o con una capa de agua muy delgada (Figura 17).

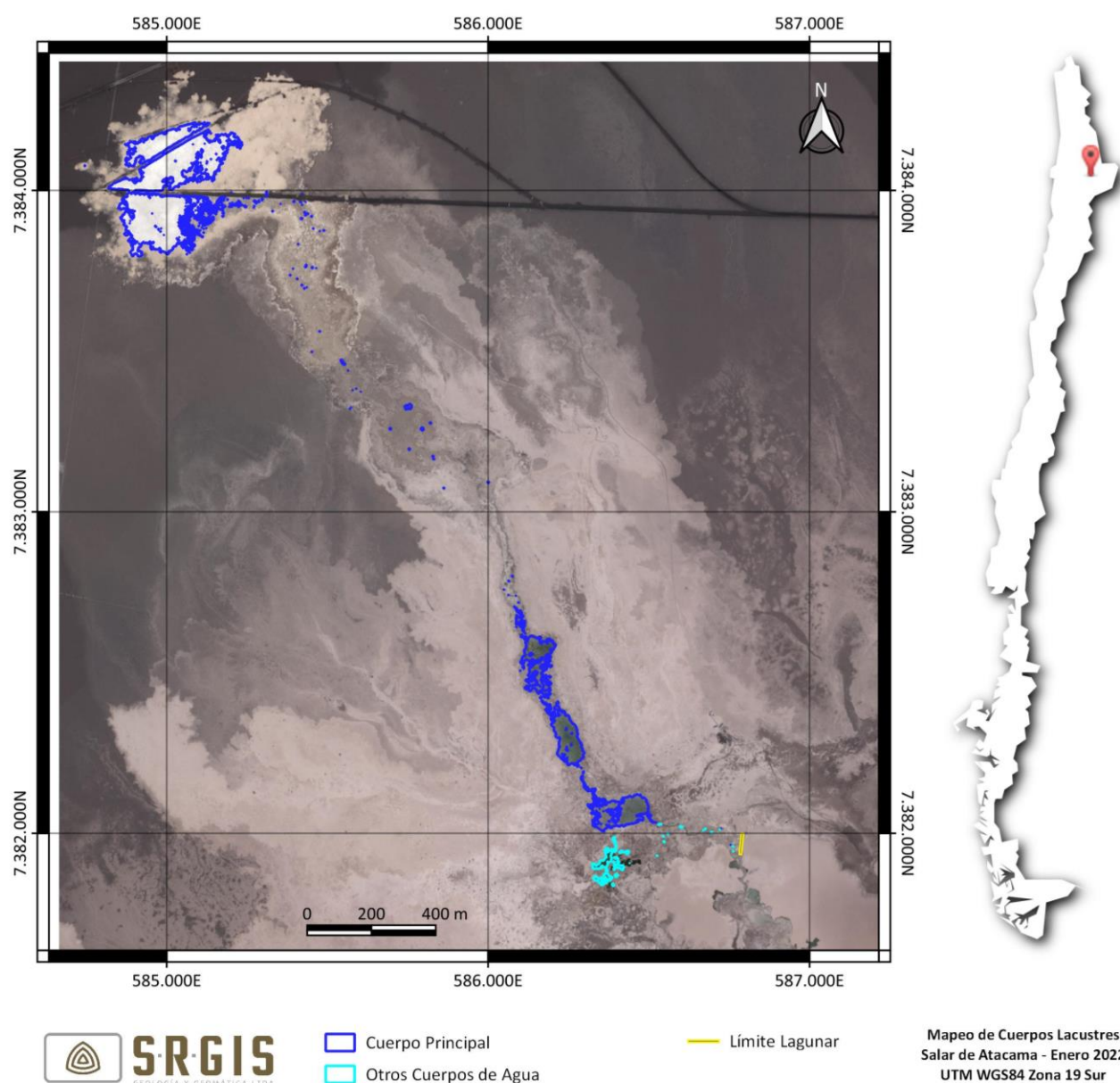


Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna. Acción N°19, hecho infraccional N°1 del PdC

6. CONCLUSIONES

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

- Laguna Chaxa : 275.573 m²
- Laguna Barros Negros : 897.545 m²
- Puilar : 62.194 m²
- Desborde Sur : 77.861 m²

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

- Salada : 183.500 m²
- Saladita : 73.958 m²
- Interna : 116.209 m²

Este informe es ejecutado bajo el contexto del aumento de frecuencia de monitoreo de anual a trimestral para los sistemas de SONCOR y PEINE, referente a la acción N°19, hecho infraccional 1 del PdC refundido 2021.

7. REFERENCIAS

Baret, F., Guyot, G., Major, D. (1989). "TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation". 3. 1355-1358. 10.1109/IGARSS.1989.576128.

Chuvieco, E., 2002. "Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio." Ediciones Ariel. 578 p.

Gilabert, M., GFonzález-Piqueras, J., García-Haro, J. "Acerca de los índices de vegetación". Revista española de Teledetección. N° 8, diciembre 1997.

McFeeters. "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, DOI: 10.1080/01431169608948714. 1996

Geobiota. "Datos de reconocimiento en terreno de superficies lacustres – Campaña 2018". Informe Interno. Agosto 2018.



srgis

srgisltda



info@srgis.cl



+56 993 498 303



www.srgis.net

Cálculo de superficies lacustres

Campaña abril de 2022

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

Región de Antofagasta



Junio 2022

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	7
4.5.1. Análisis de Imágenes Satelitales.....	8
4.5.2. Contornos de las Lagunas.....	13
4.5.3. Límites Oficiales de las Lagunas para el Cálculo de Superficies	15
5. RESULTADOS.....	17
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas. Elaboración propia.	5
Figura 2: Imagen GeoEYE Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.	6
Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.....	7
Figura 4: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.	9
Figura 5: (a) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen multiespectral original (resolución de 2 metros), (b) Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y (c) Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multiespectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.....	9
Figura 6: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	10
Figura 7: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)..	11
Figura 8: Diagramas de dispersión para píxeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE	12
Figura 9: TSAVI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	12
Figura 10: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.....	13
Figura 11: Límites de análisis raster para cada laguna en los sistemas Soncor y Peine.	14
Figura 12: Límites de las lagunas en el sistema Soncor.....	16

Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Peine	17
Figura 14: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa	19
Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros	20
Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar.....	21
Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur	22
Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada.....	24
Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita	25
Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, abril 2022. Elaboración Propia.	4
Tabla 2: Principales características de la imagen GeoEYE.....	6
Tabla 3: Factores a y b para el cálculo del TSAVI.....	12
Tabla 4: Umbrales utilizados con los índices NDWI, TSAVI e IHS. Elaboración Propia.	14
Tabla 5: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Soncor	15
Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel sistema Peine	16
Tabla 7: Medición de superficies lagunares en el sistema SONCOR.	18
Tabla 8: Medición de superficies lagunares en el sistema PEINE.....	23

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. El presente 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 2022.

Tabla 1: Resumen de superficies lacustres, abril 2022. Elaboración Propia.

Sistema	Nombre del Cuerpo de Agua	Superficie del espejo de agua (m ²)
Soncor	Chaxa	288.353
	Barros Negros	1.093.688
	Puilar	63.195
	Desborde Sur	127.750
Peine	Salada	197.637
	Saladita	96.828
	Interna	186.070

2. INTRODUCCIÓN

El presente informe expone los resultados obtenidos en abril de 2022 asociados al monitoreo de superficies lacustres en el borde este del Salar de Atacama, utilizando las especificaciones metodológicas señaladas en el considerando 6° de la Resolución Exenta N°244/2010 de la Comisión Regional del Medio Ambiente (COREMA), II Región de Antofagasta.

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 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.

El presente trabajo ha sido realizado por la empresa consultora SRGIS Geología y Geomática Ltda., según solicitud de SQM Salar SA, trabajando en los procesos y redacción del presente informe el geólogo consultor en teledetección José Manuel Lattus.

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 2022 de los sistemas SONCOR y PEINE.

El mapeo se realiza mediante el procesamiento de imágenes satelitales 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 RDA 226/2006 (Figura 1).

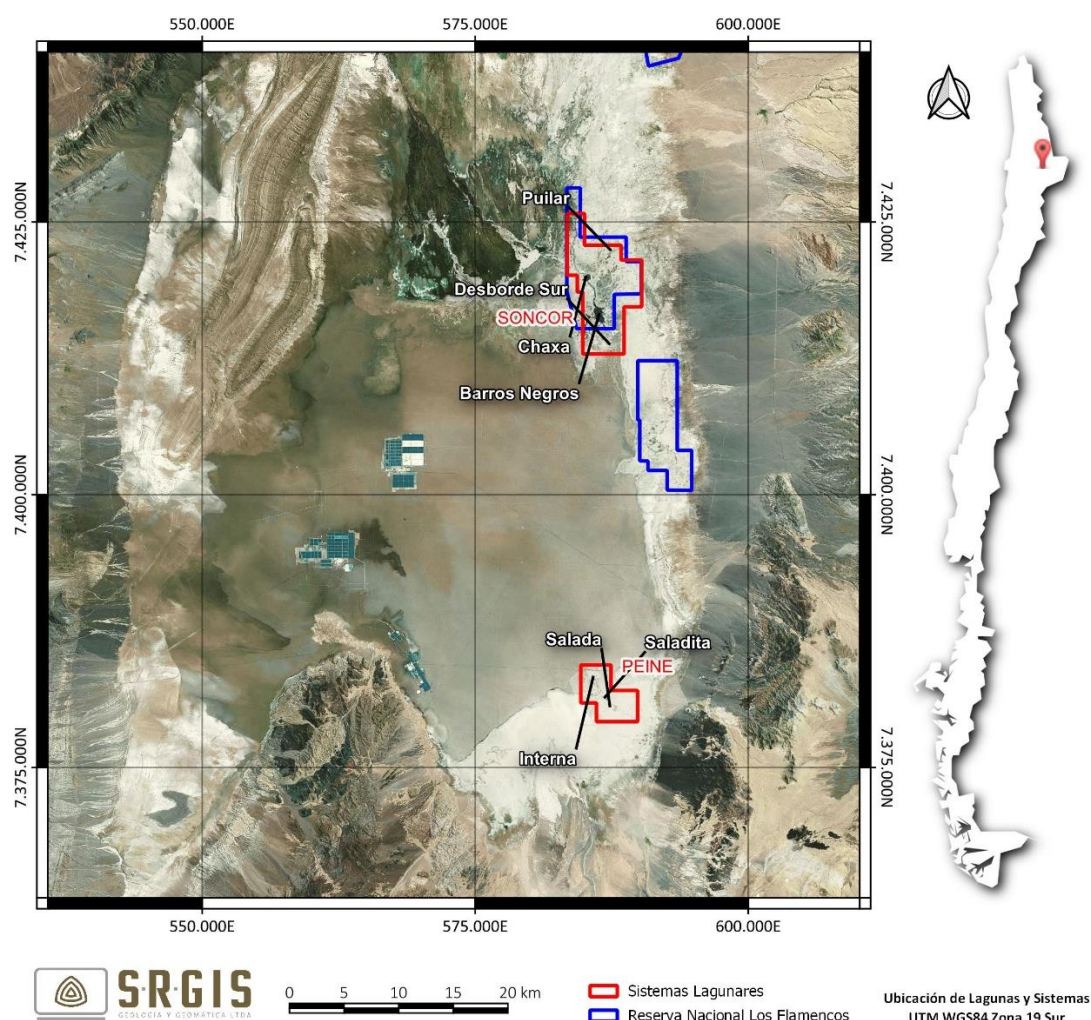


Figura 1: Área de estudio y ubicación de los sistemas lagunares y lagunas. Elaboración propia.

El sistema SONCOR forma parte de la Reserva Nacional Los Flamencos y está compuesta por las lagunas Barros Negros, Chaxa y Puillar, 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, aunque no corresponde a una unidad regular (permanente). 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 norte llamado Interna (en dicho orden desde sureste a noroeste).

4.2. MATERIALES, SOFTWARE Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial que posee pixeles que cubren un área de 4 m² por píxel (2 x 2 m) para las bandas multiespectrales y que además posee una banda pancromática que cubre un área de 0,25 m² por píxel (0,5 x 0,5 m). La imagen corresponde al sensor GeoEYE y la imagen fue capturada el día 7 de abril de 2022. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

Tabla 2: Principales características de la imagen GeoEYE.

RANGO ESPECTRAL	BANDA	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Visible	Azul	2 mts.
Visible	Vede	2 mts.
Visible	Rojo	2 mts.
Infrarrojo Cercano	Infrarrojo Cercano	2 mts.
Visible	Pancromática	0,5 mts.

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

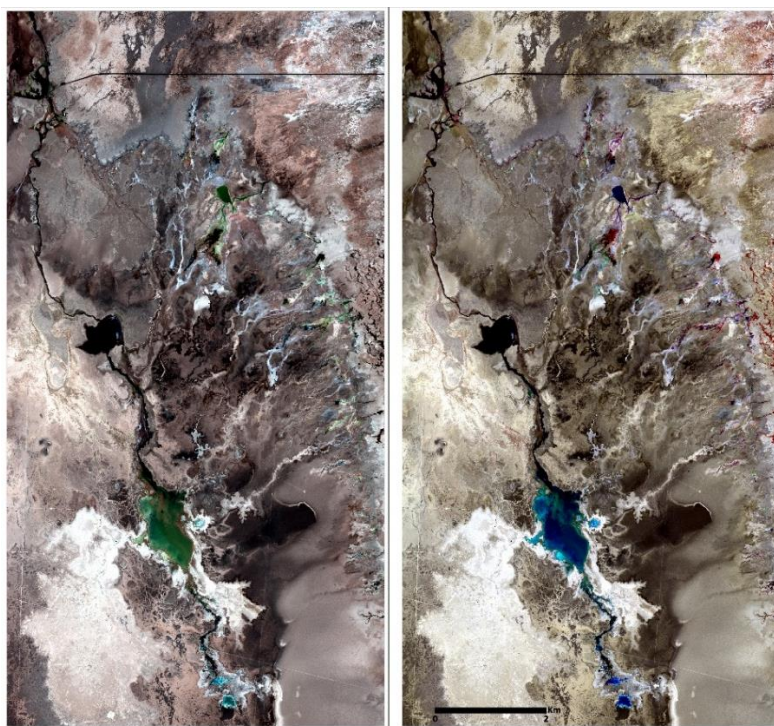


Figura 2: Imagen GeoEYE Color Real (izquierda) e Infrarrojo Color (derecha) del sistema SONCOR.

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 5.6 (Harris 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, posterior a la fusión de la imagen pancromática con la imagen multiespectral.

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 para luego generar los índices los cuales se utilizan para realizar el mapeo mediante la selección de umbrales de cada uno de ellos, en los siguientes apartados se detallará cada paso de la metodología utilizada.

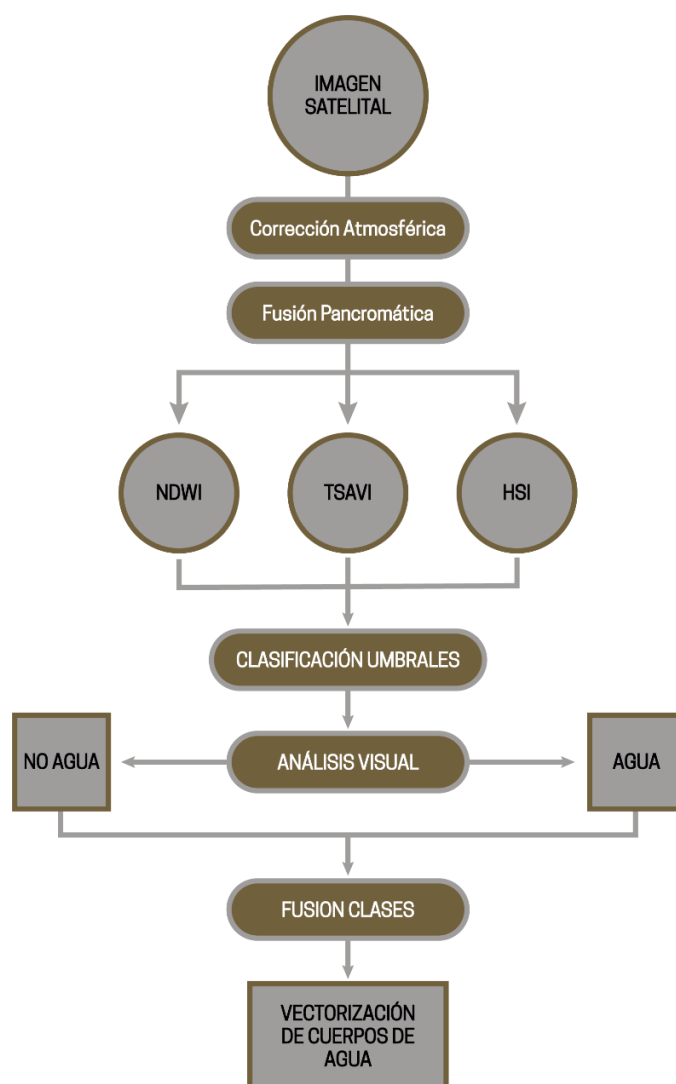


Figura 3: Metodología para la clasificación de cuerpos de Agua. Elaboración Propia.

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 2022 por la constelación de satélites de la compañía Digital Globe, obteniéndose una imagen GeoEYE del día 7 de abril. La imagen es de modalidad “Bundle”, que incluye una imagen multiespectral de 4 bandas más una banda Pancromática. 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 5.6.2) se calcularon de índices espectrales IHS, MNDWI y TSAVI.

4.5.1.1 Preprocesamiento de la Imagen

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 $Wm^{-2} sr^{-1}$ y es la magnitud que detecta el sensor.

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

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

Donde:

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

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

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

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

b. Reflectancia

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

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

La Figura 4 resume el esquema de datos de la imagen y las correcciones necesarias.

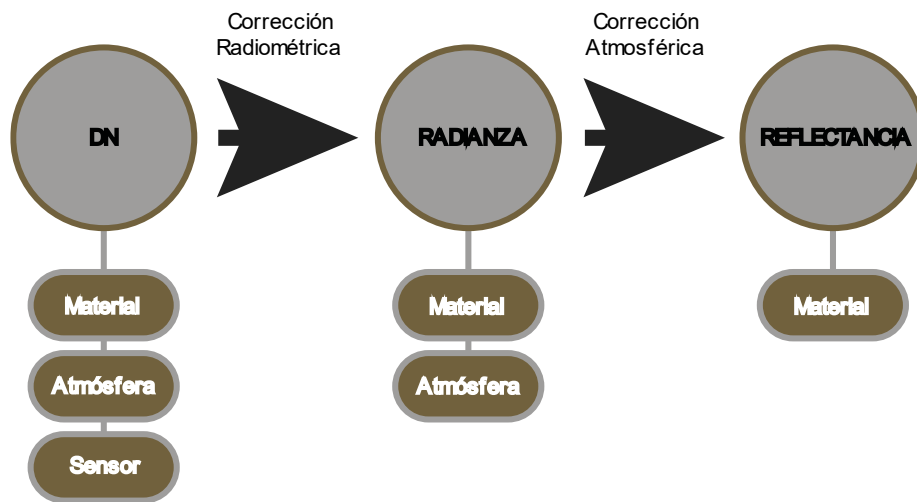


Figura 4: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración Propia.

4.5.1.2 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 “PanSharpening” que mejora la resolución espacial de una imagen multispectral utilizando la banda pancromática. El resultado tras este proceso es una imagen multispectral que no modifica la curva espectral de los píxeles, con la resolución espacial de la banda pancromática (Figura 5).

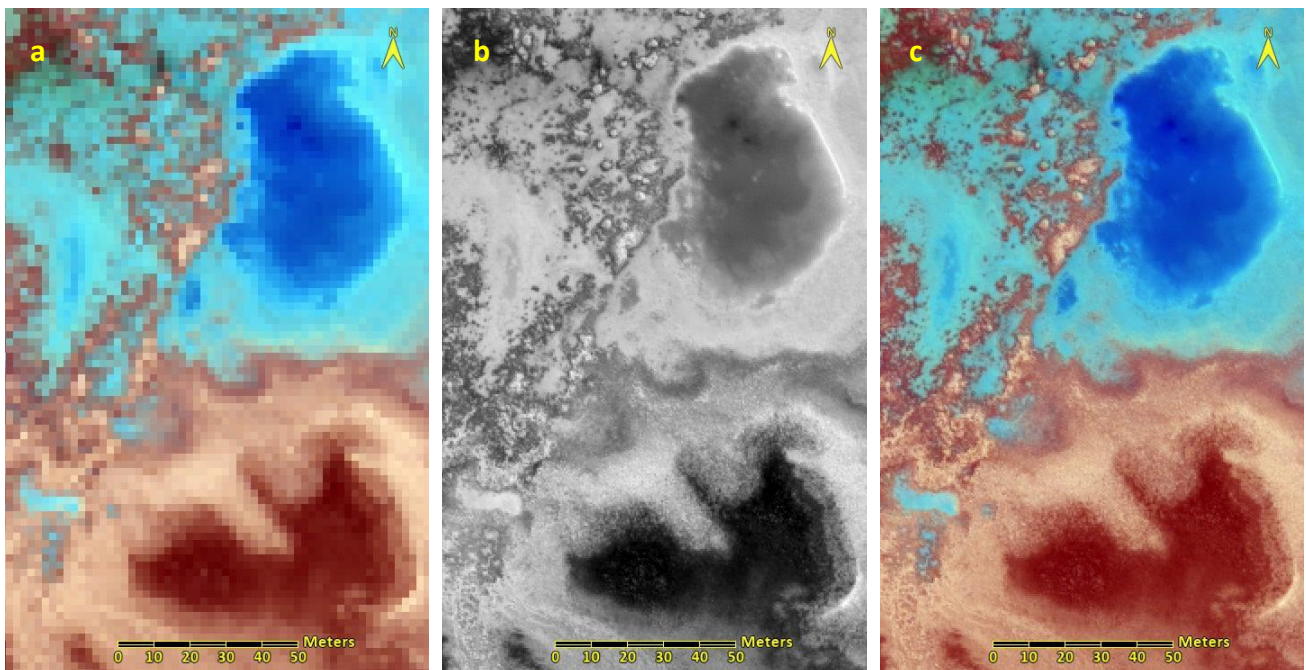


Figura 5: **(a)** Combinación RGB Infrarrojo Color de las imagen multispectral original (resolución de 2 metros), **(b)** Imagen Pancromática original con resolución de 0,5 metros y **(c)** Combinación RGB Infrarrojo Color de la imagen Multispectral fusionada con la banda Pancromática. Elaboración Propia.

4.5.1.3 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.

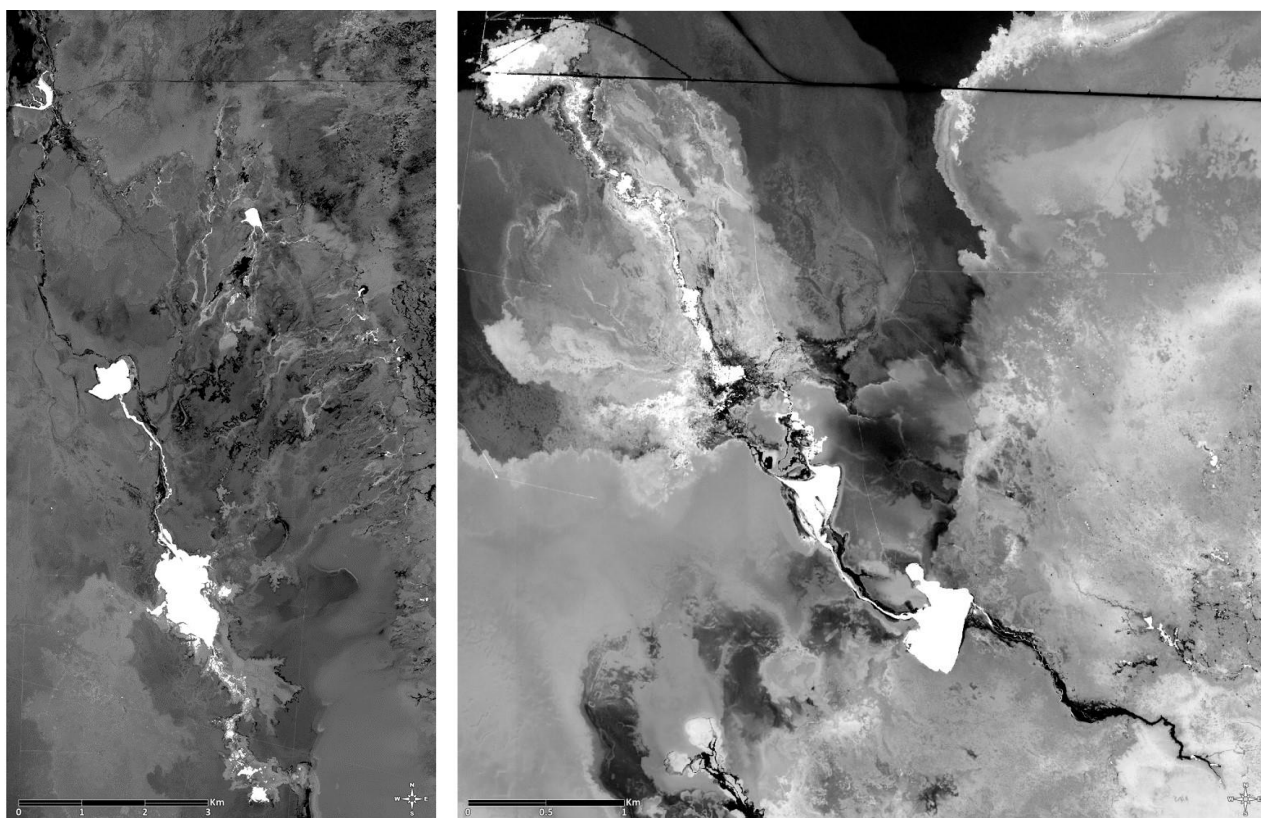


Figura 6: NDWI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

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, 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 7 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.

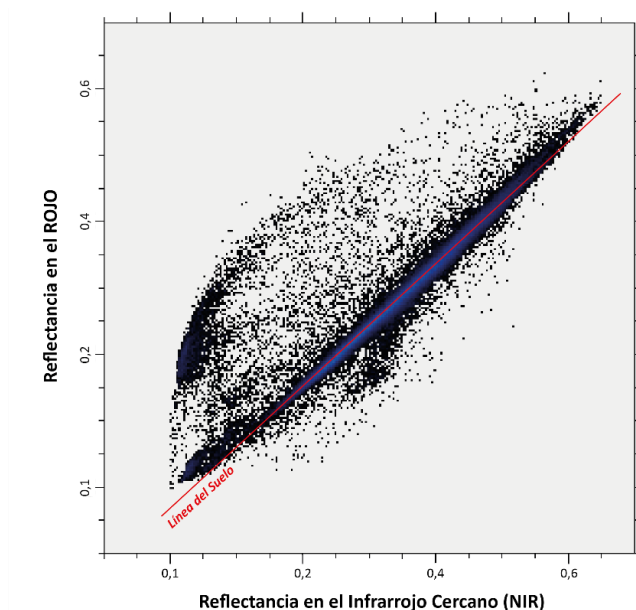


Figura 7: Línea del Suelo y Diagrama de dispersión de los píxeles para las bandas NIR (eje X) y Roja (eje Y)

La Figura 8 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.

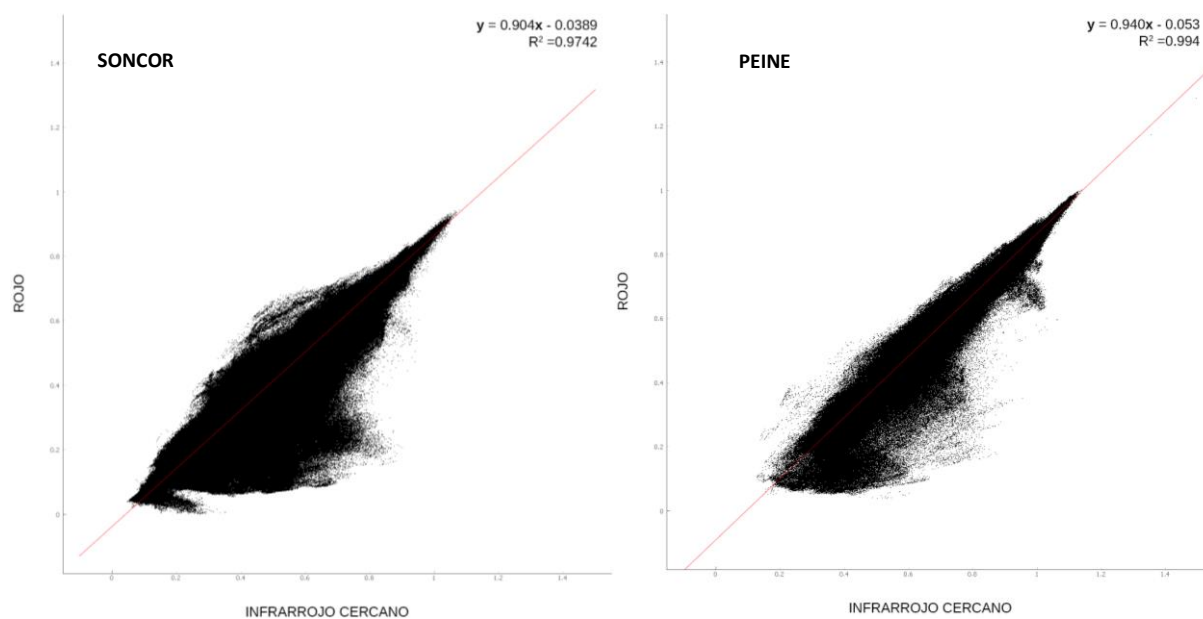


Figura 8: Diagramas de dispersión para pixeles de suelo (Eje X: NIR; Eje Y: ROJO) para los sistemas SONCOR y PEINE

Basado en la ecuación de la línea de tendencia de cada diagrama (Figura 8), se extraen los parámetros a y b para el cálculo del TSAVI para cada sistema (Tabla 3).

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

SISTEMA	Factor a	Factor b
SONCOR	0.904	-0.039
PEINE	0.940	-0.053

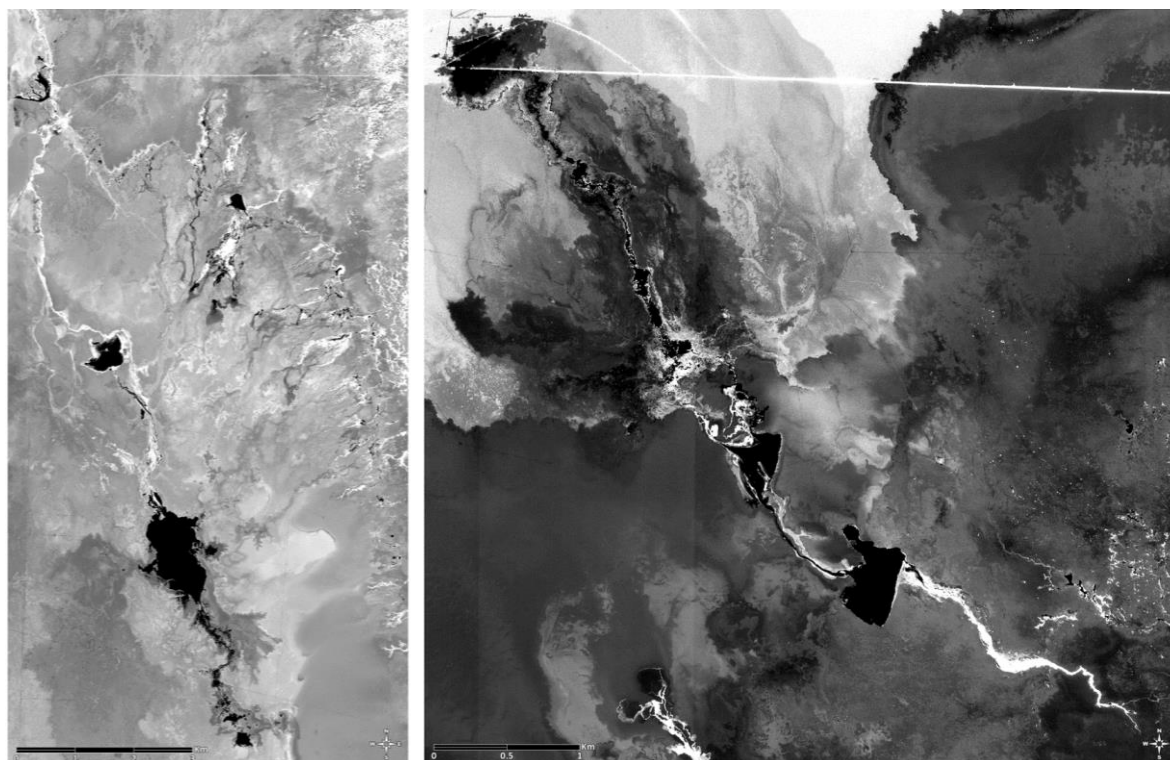


Figura 9: TSAVI en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

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 (Chuvienco, 2002). 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.

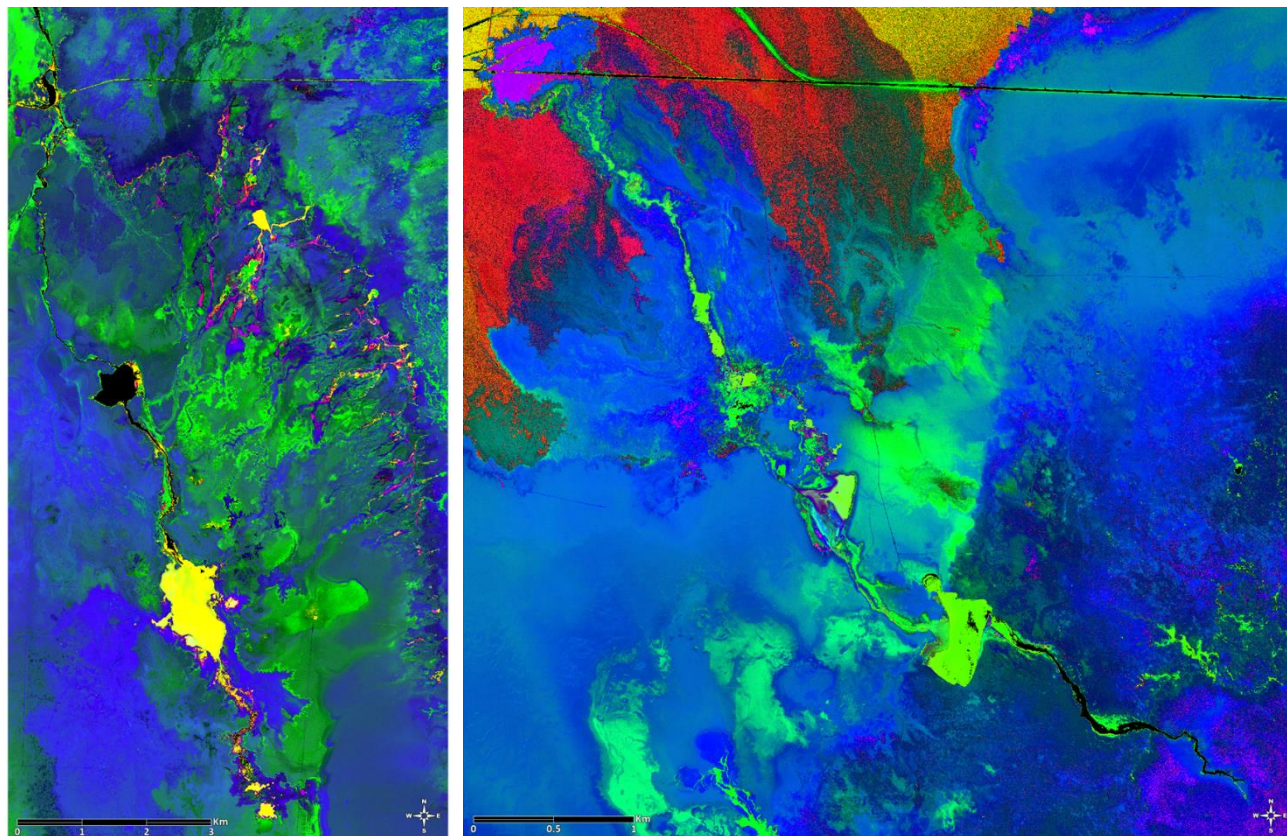


Figura 10: Transformación HSI en RGB en Soncor (izquierda) y Peine (derecha). Elaboración Propia.

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 0,5 x 0,5 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. 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	LAGUNA	NDWI	TSAVI	SATURACIÓN	INTENSIDAD
SONCOR	CHAXA	$\geq -0,100$	$\leq 0,100$	N/A	N/A
	BARROS NEGROS	$\geq -0,200$	$\leq 0,105$	N/A	N/A
	PUILAR	$\geq -0,100$	$\leq 0,101$	N/A	N/A
	DESBORDE SUR	$\geq -0,150$	$\leq 0,100$	N/A	N/A
PEINE	SALADA	$\geq -0,150$	$\leq 0,085$	N/A	$\leq 0,13$
	SALADITA	$\geq -0,150$	$\leq 0,085$	N/A	N/A
	INTERNA	$\geq -0,170$	$\leq 0,090$	N/A	N/A

El análisis para cada laguna se realizó en un área predeterminada que abarca la laguna completa y otros cuerpos de agua, independiente de esto, el área mapeada para cada laguna sólo considera los límites establecidos por CONAF. La Figura 11 muestra el corte realizado a la imagen satelital para el cálculo de los índices espectrales.

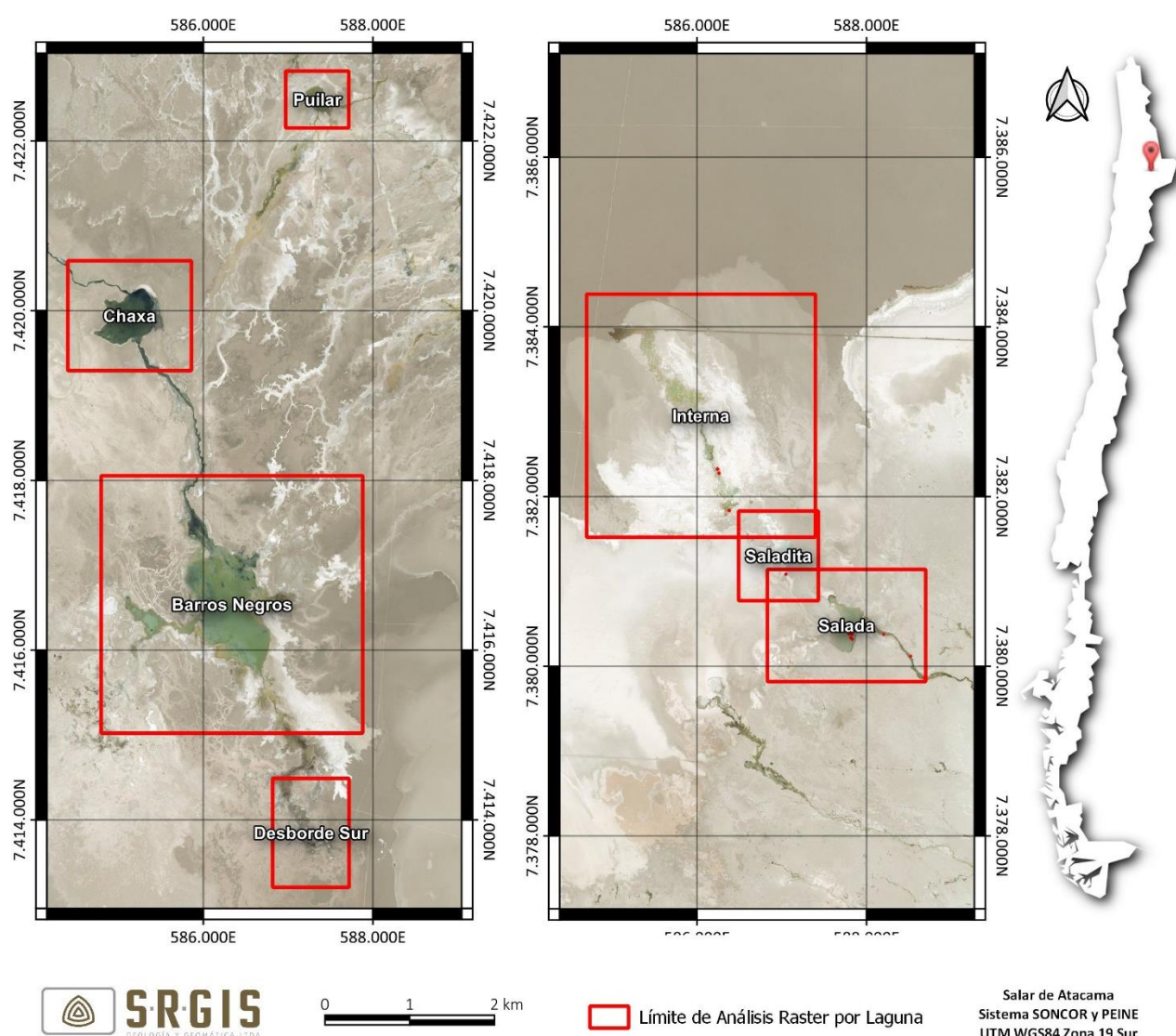


Figura 11: Límites de análisis raster para cada laguna en los sistemas Soncor y Peine.

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. Este límite es utilizado 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 12 y la Figura 13 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

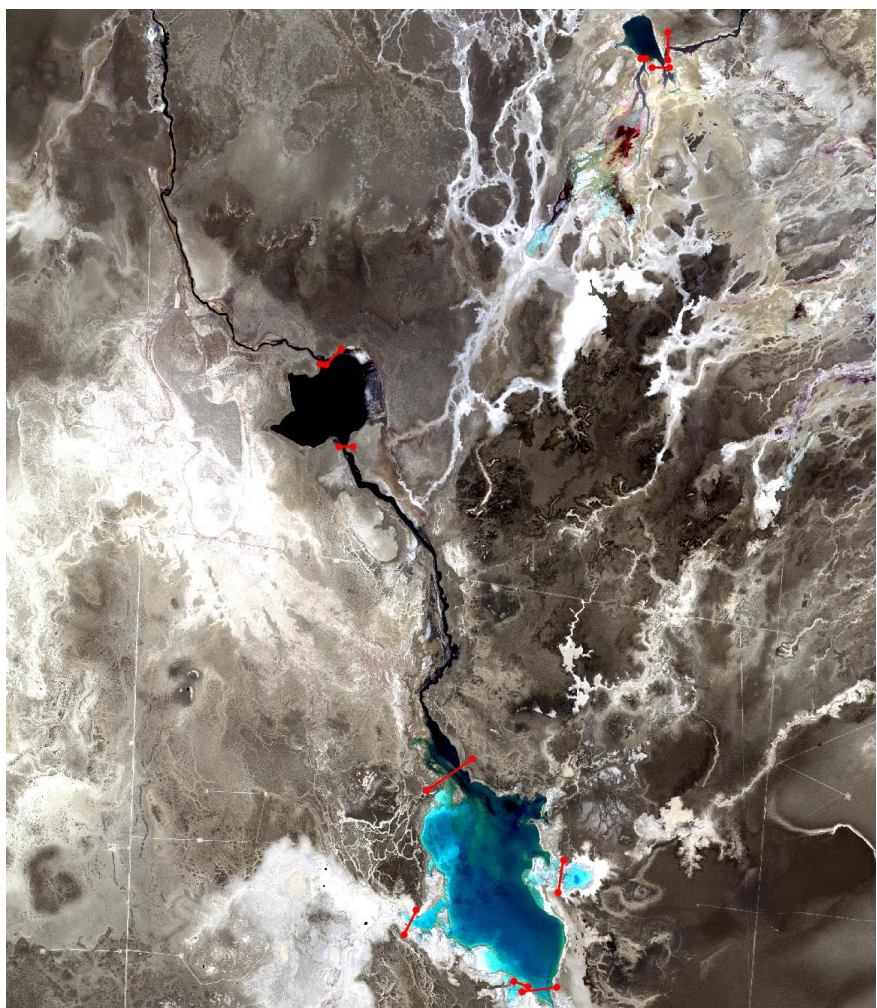


Figura 12: Límites de las lagunas en el sistema Soncor

Tabla 6: Vértices de las líneas que delimitan los límites de cada laguna Enel 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

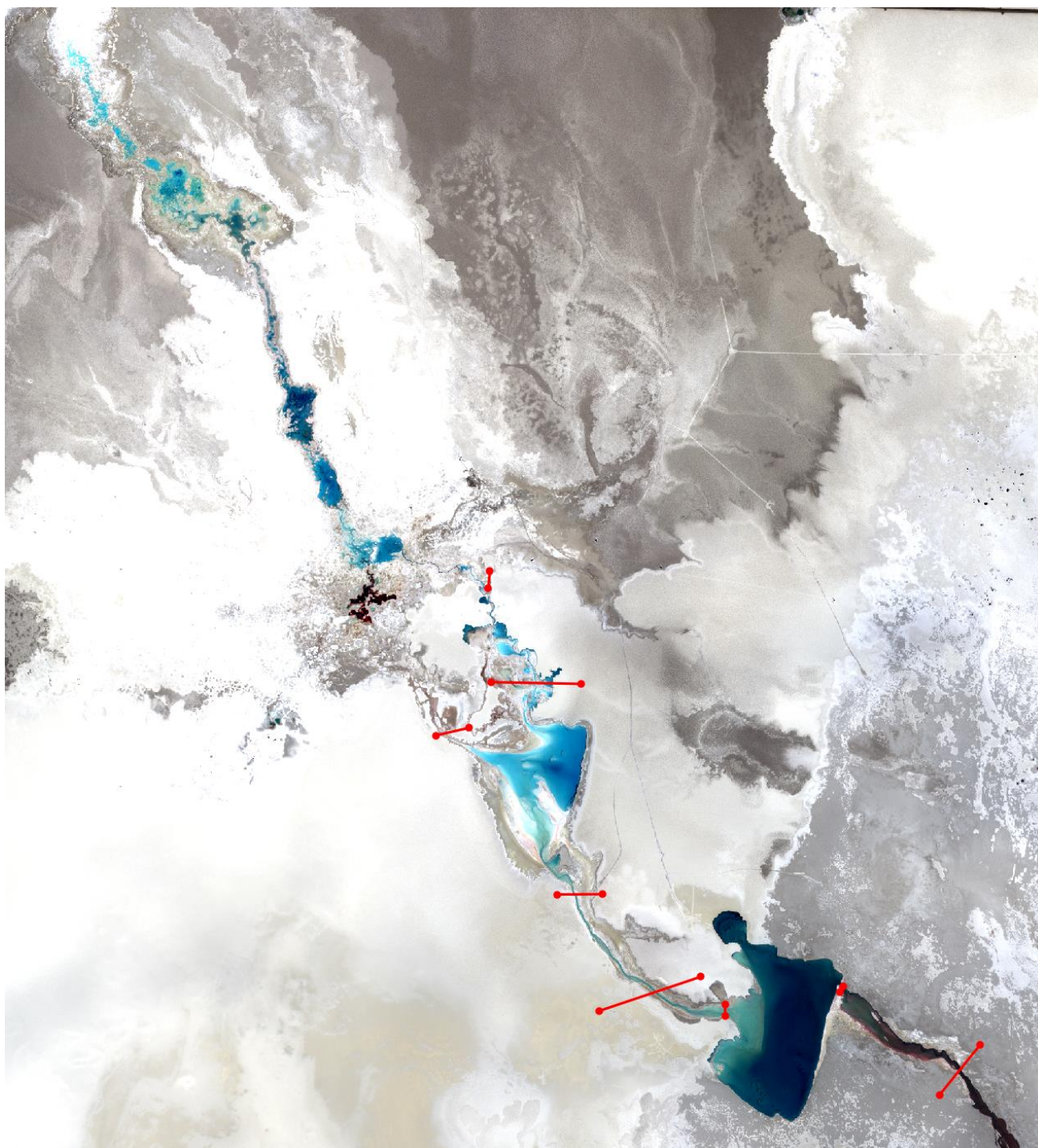


Figura 13: Límites de las lagunas en el sistema Peine

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. N°244/2010 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 requiere la medición mediante estacas perimetrales con frecuencia trimestral (según lo estipulado en el convenio SQM-CONAF de 2004) y el levantamiento topográfico de los bordes de los cuerpos lagunares, lo que se llama también RTK.

En la mayoría de las lagunas se encuentran estacas que sirven para la realización el levantamiento y estimación del área de dichos cuerpos de agua en terreno. La metodología 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; de esta manera obtenemos puntos de control en el borde de las lagunas que utilizaremos como dato de control para el mapeo con la imagen satelital. La campaña de terreno se realizó entre los días 11 y 27 de abril de 2022.

Algunas de las zonas de estudio (lagunas y zonas de inundación) no poseen estacas, estas son: Puilar, Desborde Sur e Interna. Para el análisis de este informe, se tomó en consideración información del RTK para controlar estas lagunas y realizar ajustes a los polígonos mapeados.

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 2022.

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.

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

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

Cuerpo	Superficie (m ²)
Laguna Chaxa	288.353,00
Laguna Barros Negros	1.032.329,25
Área de Inundación I (Barros Negros)	4.489,50
Área de Inundación II (Barros Negros)	30.942,00
Área de Inundación III (Barros Negros)	25.927,25
Puilar	63.195,25
Desborde Sur	127.150,00

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 bode este donde mediante los índices no es posible una delimitación precisa (Figura 14).

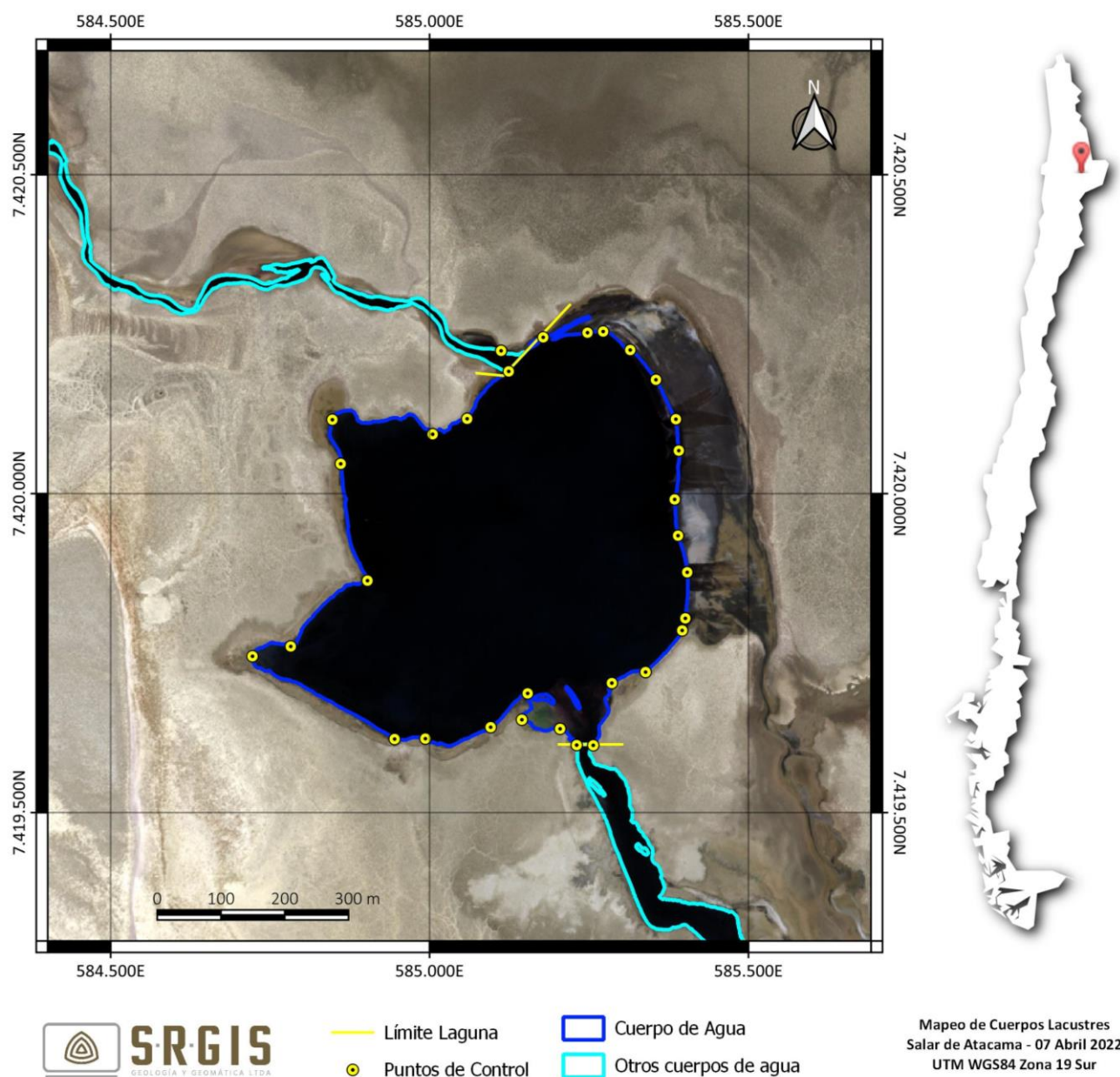


Figura 14: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Chaxa

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 el cuerpo 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 pequeña como continuación del cuerpo principal y un pequeño cuerpo más alejado hacia el Oeste (Figura 15). 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.

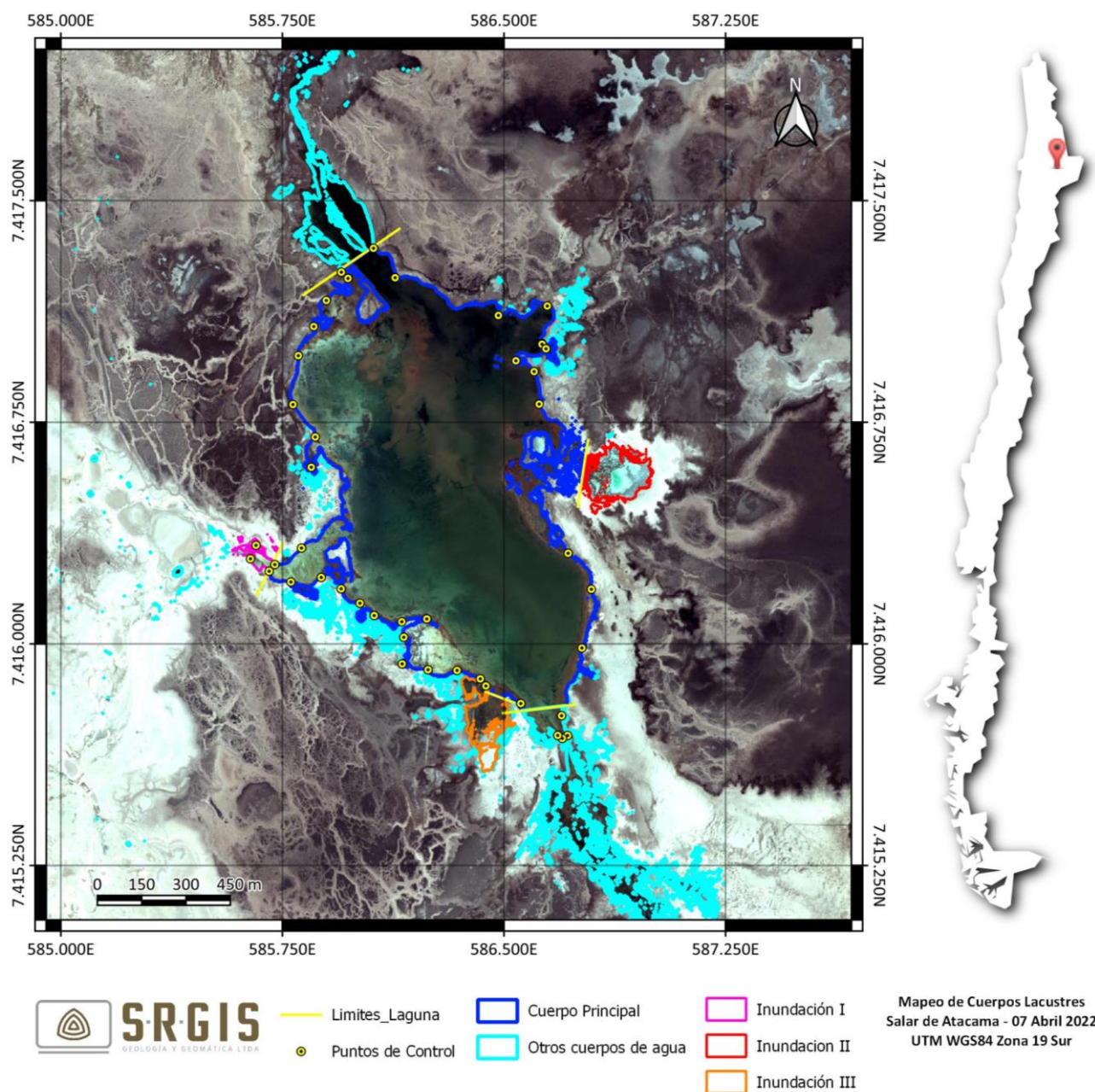


Figura 15: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Barros Negros

5.1.3. Laguna Puilar

La laguna Puilar tiene un cuerpo principal bien definido que fue mapeado sin problema mediante los índices espectrales y los límites definidos para esta laguna (Figura 16).

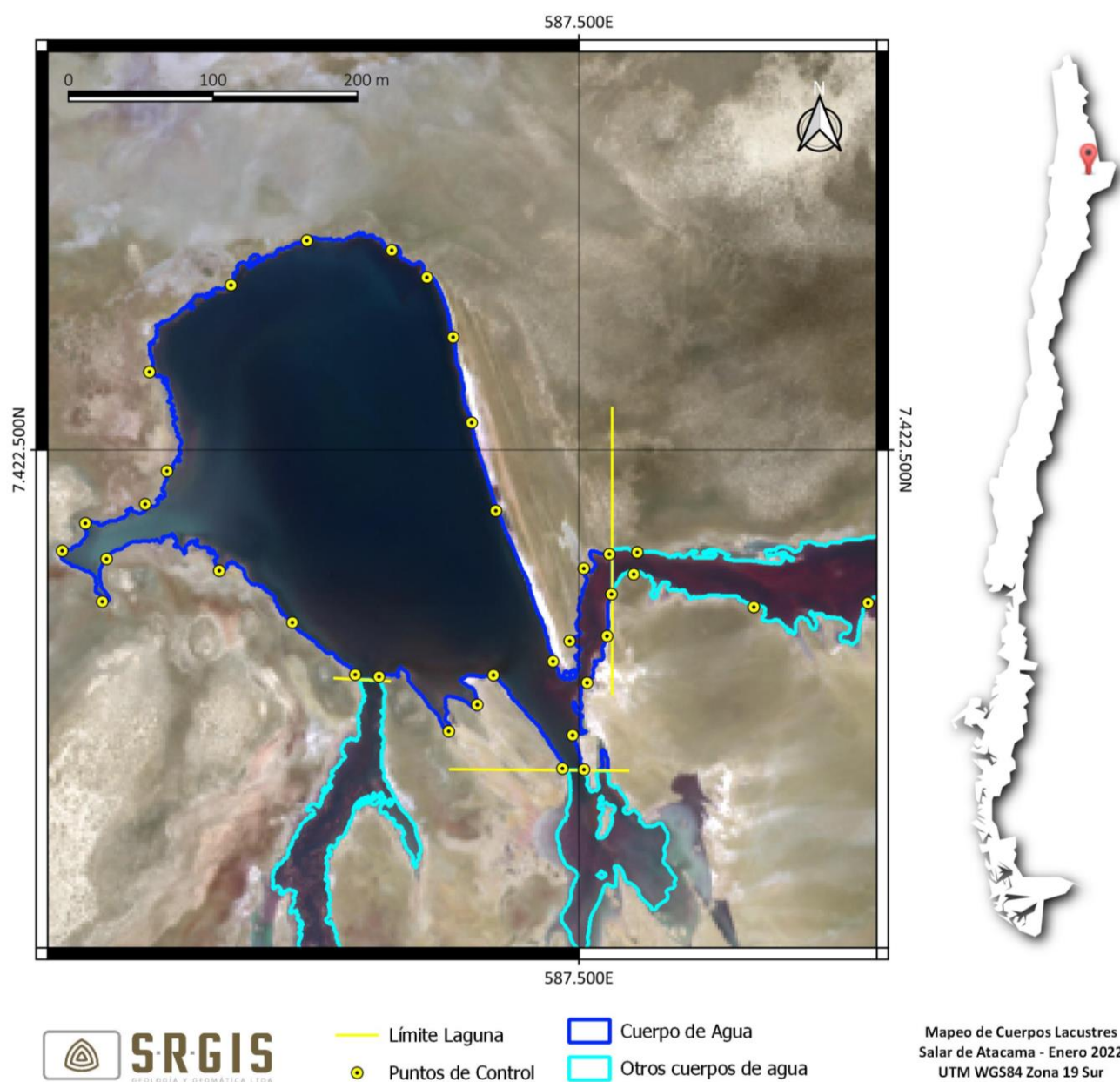


Figura 16: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Puilar

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 17).

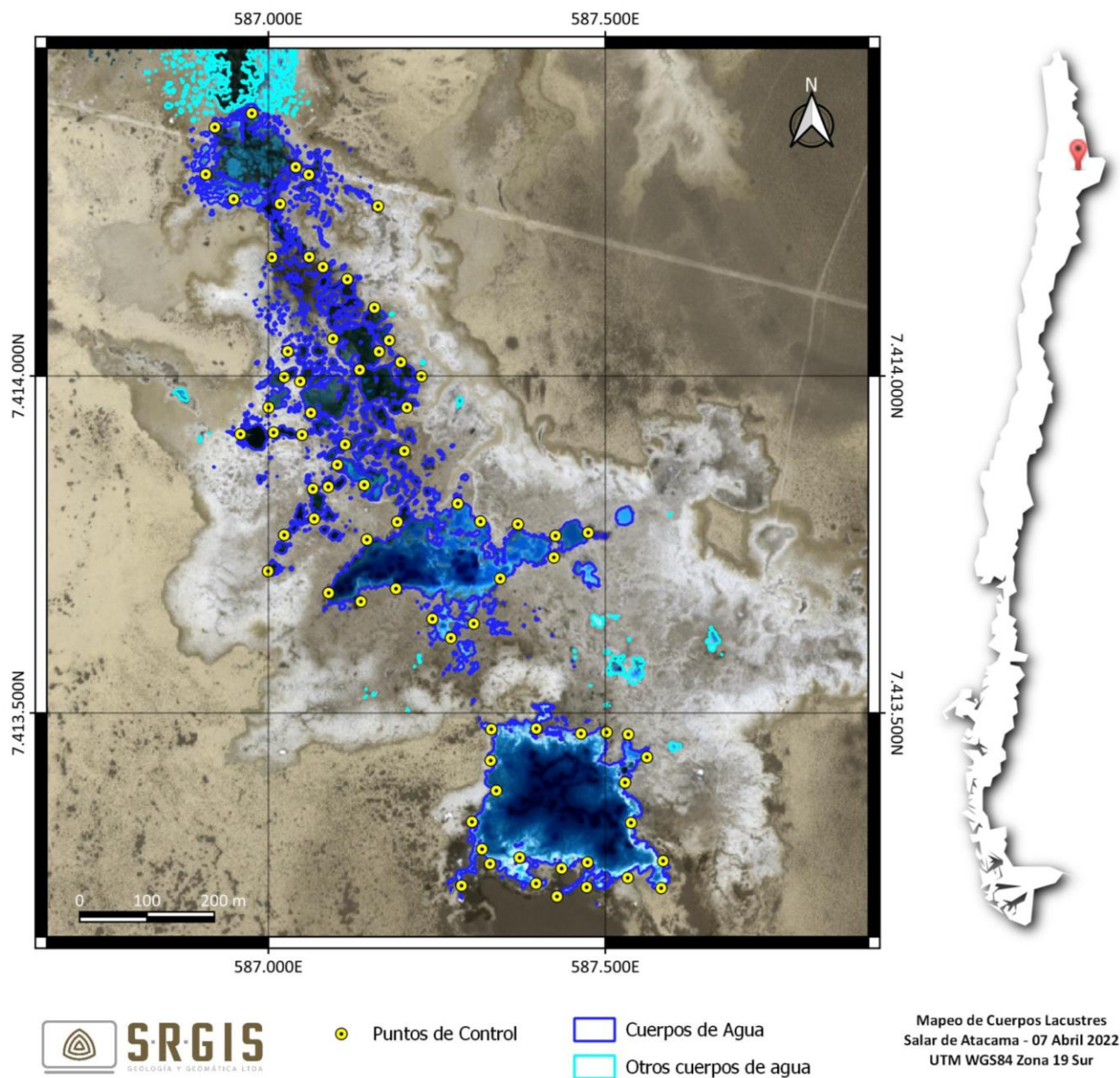


Figura 17: Mapeo de Cuerpos de Agua en Desborde Sur

5.2 Sistema PEINE

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

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

Cuerpo	Superficie (m²)
Salada	170.562,50
Canal de Recarga (Salada)	21.776,50
Canal de Descarga (Salada)	5.298,00
Saladita	96.828,25
Interna	186.070

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 18).

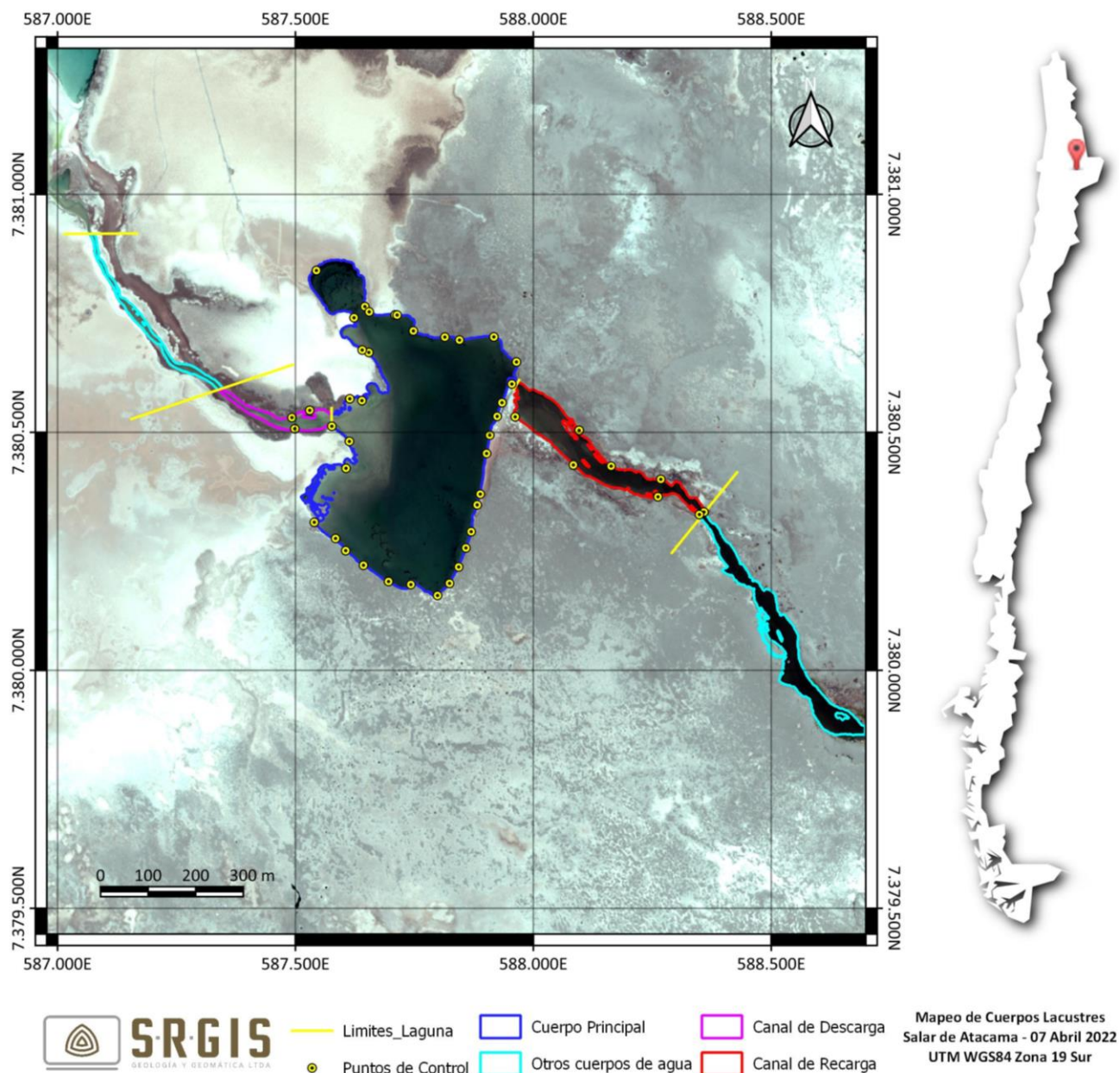


Figura 18: Mapeo de Cuerpos de Agua en la Laguna Salada

5.2.2. Laguna Saladita

La laguna Saladita presenta contornos más difusos que la laguna Salada, sin embargo, es posible diferenciar los límites de los cuerpos de agua (Figura 19).

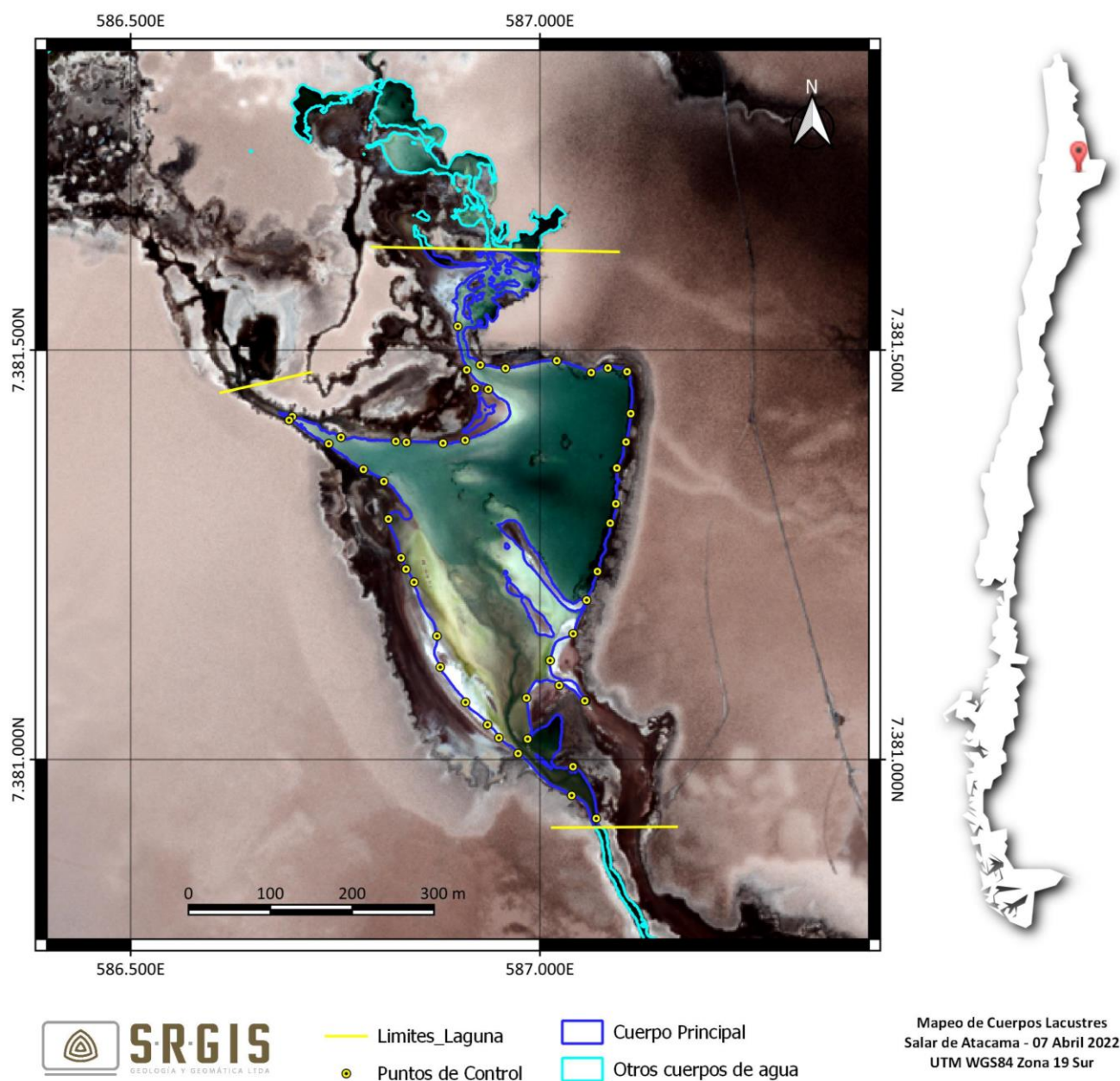


Figura 19: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Saladita

5.2.3. Interna

A diferencia de las lagunas estudiadas anteriormente, la laguna Interna no conforma un cuerpo lacustre de superficie continua. No hay un cuerpo de agua principal estable en el tiempo. Los índices ayudaron en la delimitación de los límites de esta laguna. Es importante destacar que los índices muestran una superficie de agua importante en el extremo Noroeste de esta zona, aunque a simple vista en la imagen no pareciera haber agua, al ajustar los contrastes se ve una tonalidad celeste en la combinación RGB Infrarrojo Color que es el tono en el que se ven los otros cuerpos de agua; sin embargo, la tonalidad es bastante sutil por lo que no queda perfectamente claro que se trate de un cuerpo de agua, sino que podría ser una zona muy húmeda o con una capa de agua muy delgada (Figura 20).

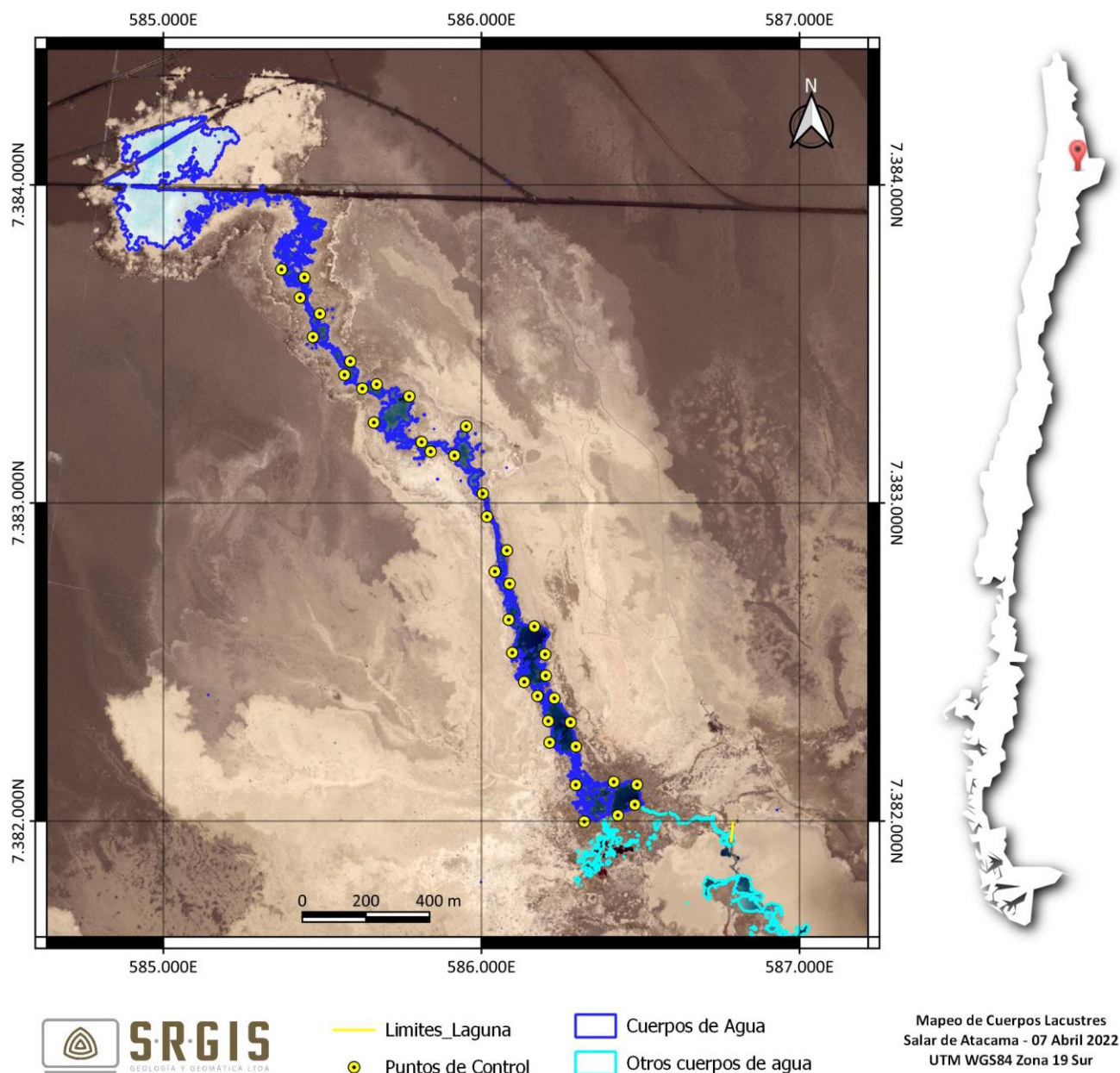


Figura 20: Mapeo de Cuerpos de Agua en la laguna Interna

7. CONCLUSIONES

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

- Laguna Chaxa : 288.353 m²
- Laguna Barros Negros : 1.093.688 m²
- Puilar : 63.195 m²
- Desborde Sur : 127.750 m²

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

- Salada : 197.637 m²
- Saladita : 96.828 m²
- Interna : 186.070 m²

8. REFERENCIAS

Baret, F., Guyot, G., Major, D. (1989). "TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation". 3. 1355-1358. 10.1109/IGARSS.1989.576128.

Chuvieco, E., 2002. "Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio." Ediciones Ariel. 578 p.

Gilabert, M., GFonzález-Piqueras, J., García-Haro, J. "Acerca de los índices de vegetación". Revista española de Teledetección. N° 8, diciembre 1997.

McFeeters. "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, DOI: 10.1080/01431169608948714. 1996

Geobiota. "Datos de reconocimiento en terreno de superficies lacustres – Campaña 2018". Informe Interno. Agosto 2018.



srgis

srgisltda



info@srgis.cl



+56 993 498 303



www.srgis.net

ACTUALIZACIÓN DE EVOLUCIÓN DE ÁREA LAGUNAR DE AGUAS DE QUELANA

INFORME TÉCNICO
IT20-22-01



Solutions
for human
progress

GEM
Gestión y Economía Minera Ltda.

ACTUALIZACIÓN DE EVOLUCIÓN DE ÁREA LAGUNAR DE AGUAS DE QUELANA

INFORME TÉCNICO

JUAN IGNACIO GUZMÁN
Gerente de Proyecto
jiguzman@gem-mc.com

PATRICIO FAÚNDEZ
Ingeniero de Proyecto
pfaundez@gem-mc.com

FABIAN NEIRA
Ingeniero de Proyecto
fneira@gem-mc.com

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.2 METODOLOGÍA ANÁLISIS LAGUNAR.....	7
3. DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE LAGUNAR.....	16
3.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	18
3.2 EVOLUCIÓN DEL ÁREA LAGUNAR	18
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS....	20
4.1 ESTADÍSTICAS BÁSICAS Y TASA DE CRECIMIENTO MEDIA	20
4.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN CON EL 95% DE CONFIANZA ESTADÍSTICA	21
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
6. BIBLIOGRAFÍA.....	24
7. ANEXOS.....	27
I. CÓDIGO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN PYTHON	27
II. IMÁGENES UTILIZADAS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	31

GEM | Gestión y Economía Minera Ltda.
Av. Las Condes 12461, Torre 3, oficina 805
Las Condes, Santiago, Chile
Fono: +56 2 3263 26 59
contacto@gem-mc.com
<https://www.gem-mining-consulting.com/>

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
0	20-05-2022	Versión original	FN	PF	JIG
1	08-06-2022	Versión actualizada	PF	JIG	JIG

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe describe el trabajo realizado con objeto de calcular el área lagunar del sistema Aguas de Quelana, así como caracterizar la evolución de esta área en el tiempo. Este trabajo se encuentra enmarcado en la presentación de la primera adenda de la presente Evaluación de Impacto Ambiental presentada por SQM.

La metodología seguida para el cálculo del área del sistema y el análisis de la evolución de esta en el tiempo consta de dos etapas: (1) procesamiento de imágenes y (2) análisis de regresión univariado. La primera etapa refiere al procesamiento de imágenes satelitales del tipo DigitalGlobe, a las cuales se les aplica el filtro de detección de agua NDWI. Por otro lado, la segunda etapa tiene por objeto testear la hipótesis nula de que no existe tendencia en las áreas del sistema Aguas de Quelana en el período 2006-2022.

Los resultados indican que, si bien el área del sistema presenta una tendencia levemente a la baja a distintos umbrales de detección de agua, estas tendencias no son estadísticamente significativas con un 95% de confianza estadística, con lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que el área no presente tendencia. Dicho de otro modo, no se puede afirmar que el área lagunar del sistema Aguas de Quelana esté decreciendo, del mismo modo que no se puede afirmar que el área esté creciendo.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe describe el trabajo realizado con objeto de calcular el área lagunar del sistema Aguas de Quelana, así como caracterizar la evolución de esta área en el tiempo. Este trabajo se encuentra enmarcado en la presentación de la primera adenda de la presente Evaluación de Impacto Ambiental presentada por SQM.

Cabe destacar que este informe es una actualización del informe “IT08-22-01 Actualización de evolución de área lagunar de Aguas de Quelana – V2” desarrollado por GEM en enero del 2022, al incorporar el año 2022 en el análisis de la evolución de las áreas del sistema. A su vez, este último informe es una actualización de la sección de Aguas de Quelana del informe “IT23-21-01 Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama – V1” al incorporar el año 2021 al análisis, desarrollado por GEM en septiembre del 2021. Finalmente, este informe técnico “IT23-21-01 Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama – V1” tuvo por finalidad complementar el análisis expuesto por SQM Salar en el informe técnico “Análisis de superficies lagunares Sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana. Cargo N°1 DE Res. Ex N°21/ROL F-041-205. SQM Salar S.A.”, con respecto al estudio de la evolución temporal de las superficies lagunares. Aquellos informes se enmarcaron de acuerdo a lo dispuesto por la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante SMA) mediante la Res. Ex. N°29/ ROL F-041-2016 con fecha 26 de octubre de 2020, y en relación con el hecho infraccional N°1: “Extracción de salmuera por sobre lo autorizado, durante el período de agosto de 2013 y agosto de 2015”, donde se determinó que la empresa SQM Salar S.A debe presentar elementos más detallados de análisis que permitan reducir la incertidumbre y justificar adecuadamente el descarte de efectos respecto del comportamiento dinámico de los sistemas hídricos.

Es preciso mencionar que el preprocesamiento de imágenes¹ fue llevado a cabo por la empresa SRGIS: Geología y Geomática Ltda. Este preprocesamiento consistió básicamente en corrección de imágenes y en aplicación de filtro NDWI.

¹ En el Capítulo 2 se explicará la metodología seguida en este estudio, detallando los procesos de preprocesamiento de imágenes, el filtro NDWI, etc.

El presente informe está estructurado de la siguiente manera. En el Capítulo 2 se analiza la bibliografía y artículos académicos con el fin de revisar el soporte científico disponible para complementar el análisis acerca de la evolución de áreas de las lagunas, empleando imágenes satelitales. Luego, se describe la metodología empleada, fundamentándose su validez científica para responder a la interrogante de cómo ha evolucionado el área de Aguas de Quelana en el período de estudio (2006-2022).

En el Capítulo 3 se presentan los resultados del área del sistema Aguas de Quelana. En el Capítulo 4 se analizan dichos resultados desde un punto de vista estadístico, con objeto de determinar tendencias que sean estadísticamente significativas. En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio, mientras que en el Capítulo 6 se detalla la bibliografía referenciada a lo largo del estudio. Por último, en el Capítulo 7 se agregan como anexos (1) el código en Python del procesamiento de imágenes y (2) información (sensor y fecha) de las imágenes utilizadas.

2. METODOLOGÍA

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con la finalidad de sustentar el análisis de la evolución del área del sistema Aguas de Quelana, se realiza en primer lugar un estudio bibliográfico que contenga las bases principales que en la actualidad son validadas por la comunidad científica para realizar este tipo de análisis.

Antes de introducir la metodología utilizada para medir el área de las lagunas es necesario mencionar que en el caso específico de las lagunas referidas en la Res. Ex. N°29/ ROL F-041-2016, entre las que se encuentra el sistema de Aguas de Quelana, existen 3 referencias académicas publicadas en revistas indexadas, al menos conocidas por GEM, y que dan cuenta del área de estas lagunas:

- Tejeda *et al.* (2003): quienes a partir de una modelación hidrodinámica del Salar de Atacama establecen la existencia de una serie de mecanismos ambientales que permiten que “las lagunas presentes en el Salar de Atacama no experimenten cambios significativos en tamaño a pesar de las variaciones que ocurren en la recarga de agua dulce” (Tejeda *et al.*, 2003, pág. 34, en inglés en el original).
- Gutiérrez *et al.* (2022): este *paper* tiene por objeto estudiar el eventual impacto que tiene la minería del litio en los flamencos que habitan el Salar de Atacama. En relación a las lagunas, se conjetura que existe una baja en el área de lagunas en el tiempo, pero no existen detalles asociados a la disminución o cómo se deriva.
- Guzmán *et al.* (2022): este *paper* aplica la misma metodología descrita en la Sección 2.2 y concluye que para los sistemas Soncor, Peine y Tilopozo no se puede afirmar o descartar una tendencia creciente o decreciente en el tiempo para el área de las lagunas. Por otro lado, mediante análisis de regresión multivariado Lasso, se descarta, en términos estadísticos, un impacto negativo en la evolución del área de las lagunas por parte de la extracción de salmuera.

La cuantificación de áreas lacustres surge como una rama fundamental de la morfometría de lagos (Håkanson, 1981). Las primeras metodologías de medición de áreas lagunares nacen en la década de 1940 y basan el seguimiento de las superficies en mapeos manuales del contorno lagunar (Welch, 1948;

Hutchinson, 1975; Wetzel, 1975). Con la aparición de los sonares, las metodologías de seguimiento de área fueron complementadas con metodologías de medición de mayor precisión (Håkanson, 1981).

Hacia la década de 1980, cuando su uso se vuelve de más fácil acceso, comienza la implementación del uso de imágenes satelitales con objeto de determinar el área de las superficies lagunares por medio de sensores remotos ópticos. Una excelente referencia para el uso de este tipo de tecnologías de sensores remotos ópticos en el caso del estudio espacial y temporal de los medioambientes asociados a salares es Milewski (2020).

La metodología más ampliamente utilizada en la actualidad para realizar el análisis de áreas de cuerpos de agua fue introducida por Stuart McFeeters en 1996 (McFeeters, 1996). McFeeters sugiere utilizar las bandas que provienen de las mediciones satelitales por medio de los sensores remotos ópticos para generar un índice que funciona como un filtro sobre la imagen. A partir de dicho índice es posible reconocer con alta precisión aquellos cuerpos que corresponden a agua y diferenciarlos de otros que podrían corresponder a vegetación o a humedad residual del suelo.

El índice introducido por McFeeters (1996), empleado en el presente análisis, lleva por nombre *Normalized Difference Water Index* (en adelante NDWI). Para validar el uso de este índice cabe destacar que este artículo ha recibido cerca de 3.500 citaciones, lo que soporta el que su utilización en el mundo científico se encuentre ampliamente validada. Más aún, el uso de esta metodología aplicada al seguimiento de áreas lagunares, se basa en aquella aprobada por la COREMA de la Región de Antofagasta en la Resolución Exenta N°244/2010, validando de esta forma su implementación en el marco de los requerimientos de la autoridad ambiental de la región.

Pese a su amplio uso, el NDWI fue originalmente planteado con foco en la identificación remota de agua presente en la vegetación de los sistemas (Gao, 1996). Esto significa que el índice no solo permite el reconocimiento de cuerpos de agua sino también de vegetación y humedad residual del suelo. Es por este motivo que se han introducido modificaciones al NDWI originalmente planteado por McFeeters (1996) para emplearlo con el propósito de identificar únicamente cuerpos de agua (Ji *et. al.*, 2009). En particular, la consideración principal que ha sido incorporada con este fin se refiere a que el umbral de detección de agua del índice varía dependiendo de las proporciones del subpíxel y los componentes ambientales que caracterizan la zona de análisis. Luego, no se puede asumir que en todos los casos cualquier píxel de la imagen tratada que tome valores mayores a cero corresponda a agua. En

algunas publicaciones se especifica que el umbral mínimo podría tomar valores de más de 0,1 o incluso de 0,3 (Sheng *et. al.*, 2016). Se recomienda entonces la calibración² de datos como una metodología adecuada para encontrar dicho umbral mínimo para el NDWI que permita detectar cuerpos de agua.

La idea de realizar un seguimiento temporal de un sistema lacustre se ha popularizado durante la última década. Esto debido a que con anterioridad los efectos de la urbanización, el cambio climático y la industrialización no eran considerados factores de relevancia ambiental para evaluar el estado de los sistemas, por lo que la mayoría de las mediciones se hacían con el fin de caracterizar (una vez en el tiempo) y no necesariamente monitorear (análisis sistemáticos en el tiempo). Junto con esto, la incorporación de nuevas tecnologías se ha ido intensificando desde la aparición de las imágenes satelitales en la década de 1980, esto ha permitido la aparición de instrumentos más precisos y confiables que facilitan el desarrollo de estudios basados en el seguimiento temporal de los sistemas lagunares.

Existen diversos estudios que acreditan la utilización de series de tiempo y análisis estadísticos para hacer un seguimiento del estado de distintos sistemas lagunares en el tiempo. Particularmente, algunos estudios de interés en cuanto al uso de la metodología permiten realizar seguimiento de áreas lagunares en Egipto, áreas cubiertas por glaciares y reservas de agua (Eid *et. al.*, 2015; Huang *et. al.*, 2012; Yao *et. al.*, 2019).

2.2 METODOLOGÍA ANÁLISIS LAGUNAR

Se llevó a cabo un análisis de imágenes satelitales del tipo DigitalGlobe, seguido de un estudio estadístico basado en series de tiempo para estudiar el comportamiento del sistema lacustre de Aguas de Quelana.

2.2.1. TRATAMIENTO DE IMÁGENES: INCORPORACIÓN DE LA DERIVACIÓN DEL ÍNDICE NDWI

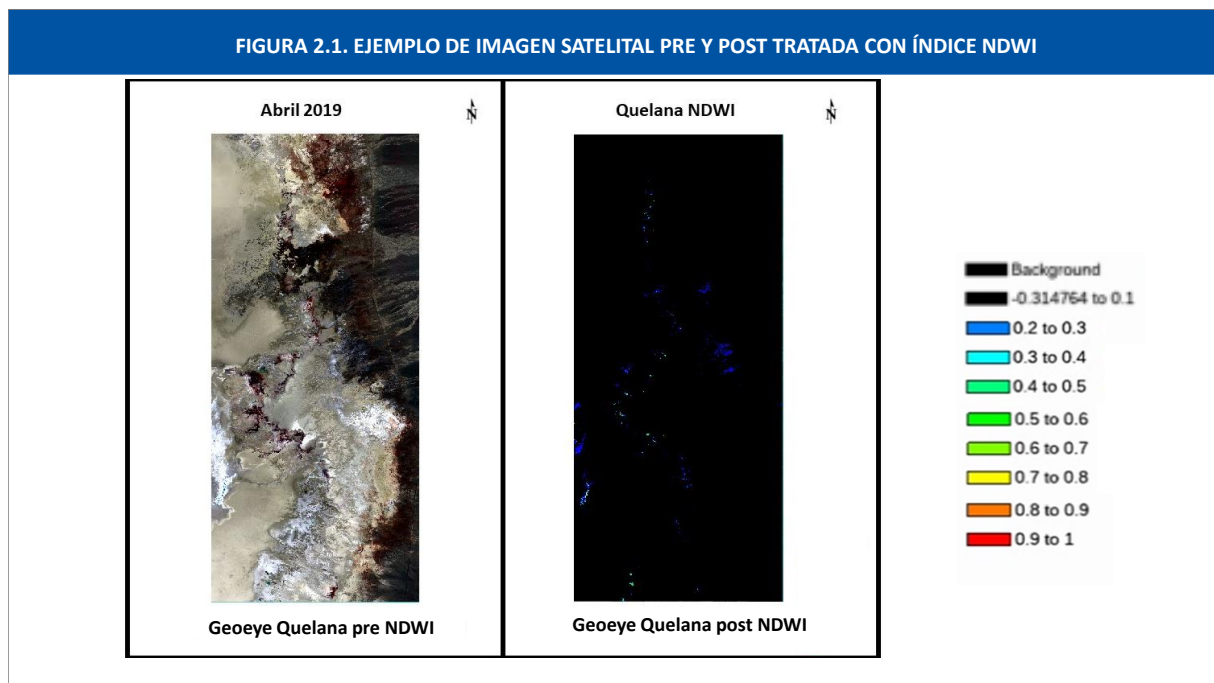
Para desarrollar este punto es necesario, en primer lugar, procesar las imágenes satelitales en base a las bandas de refracción. Lo anterior fue efectuado por la empresa SRGIS: Geología y Geomática Ltda.

² El método de calibración consiste en contrastar los resultados del procesamiento de imágenes con los resultados de otro método de medición de áreas, por ejemplo, con mediciones en terreno, las cuales típicamente tienen mayor exactitud en este tipo de mediciones. De este modo, la elección del umbral se convierte en seleccionar aquel umbral, tal que los resultados del procesamiento de imágenes a ese umbral sean los más próximos a los del método de comparación.

con objeto de determinar el NDWI (Normalized Difference Water Index) de acuerdo con la ecuación 3.1. La metodología consiste en utilizar algoritmos matemáticos, en la banda NIR (infrarrojo cercano) y en una clasificación supervisada de tipo binaria para el mapeo de cuerpos de agua. El NDWI maximiza la respuesta de las características espectrales del agua, al usar la longitud de onda correspondiente al verde (valores de reflectancia altos para el agua) y la baja reflectancia del agua en el NIR. El procesamiento incluye la confección de una máscara en lugares que generan confusión para el índice, generación de máscara para aislar zonas oscuras de la escena que no tienen cuerpos de agua.

$$NDWI = \frac{Verde - NIR}{Verde + NIR} \quad (3.1)$$

Tomando esto en consideración, se utiliza una relación matemática que vincula ambas bandas requeridas. Los resultados, que entregan valores numéricos entre -1 y 1, se aplican en la extensión completa de la imagen, pudiendo colorear con una escala definida aquellos valores de NDWI superiores a cero. En la **Figura 2.1** que se presenta a continuación, se muestra un ejemplo de una imagen satelital antes y después de ser tratada con la implementación del filtro NDWI.



Desde esta figura es posible notar que los valores cercanos a cero presentan colores fríos, mientras que los valores cercanos a 1 se encuentran en la gama de colores cálidos. En referencia a lo que fue

expuesto en el análisis bibliográfico (Sección 2.1), es necesario comprender que el umbral del NDWI que permite identificar agua no siempre se encuentra en cero, alcanzando en general valores superiores a 0,1.

La metodología utilizada para determinar el área de las lagunas y sus tendencias estadísticas en el tiempo se presenta en las sub-secciones siguientes.

PREPROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE AGUAS DE QUELANA

El mapeo de cuerpos de agua en el sector de Quelana se realizó mediante el procesamiento de imágenes multiespectrales de alta resolución de DigitalGlobe (QuickBird, Geoeye-1, WorldView-2, WorldView-3). El sector denominado Aguas de Quelana, perteneciente a la Reserva Nacional “Los Flamencos”, corresponde a un sistema de múltiples cuerpos esporádicos de agua de diversos tamaños.

Para cuerpos de agua relativamente profundos, la característica espectral del agua (reflectancia de la luz en distintas longitudes de onda) es 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. No obstante lo anterior, el empleo del índice NDWI en humedales y otros cuerpos someros para mapear su evolución temporal presenta un alto grado de confiabilidad³ (Ávila *et al.*, 2019), razón por la cual este método es ampliamente utilizado en el mapeo de humedales (Guo *et al.*, 2017).

Para el análisis de este sistema se cuenta con 17 imágenes satelitales de alta resolución (2,0 a 2,4 metros por píxel), con fechas de captura en el mes de abril de cada año desde el 2007 al 2022, más una imagen de marzo 2006. Estas imágenes poseen 4 bandas multiespectrales en las longitudes de onda:

- Azul (480 nm).
- Verde (545 nm).
- Rojo (660 nm).

³ Ouma y Taeishi (2006) muestran que el índice NDWI es uno de los mejores índices en cuanto a rendimiento en detección de agua. Este rendimiento, según los autores, guarda relación con la precisión en detección de agua, particularmente aquella referida a la delimitación de bordes de cuerpos hídricos y la exclusión de ruidos.

- Infrarrojo Cercano (832 nm).

Resolución espacial:

- Geoeye-1, WorldView-2, Worldview-3: 2 metros.
- QuickBird: 2,4 metros.

A pesar de contar con diferentes sensores, las correcciones que se hacen a todas las imágenes convierten los datos de los píxeles en reflectancia, los cuales son comparables entre todas ellas. La diferencia en la resolución espacial entre algunas imágenes es muy pequeña (0,4 metros), lo que se ve reflejado en el error asociado de mapeo para las imágenes. El procesamiento se realizó utilizando ENVI 5.6, *software* especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales.

2.2.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES: CUANTIFICACIÓN DE ÁREA

Para desarrollar este punto es necesario utilizar un *software* que permita emplear un sistema de procesamiento de imágenes. En este caso se utilizó Python 3.8, que corresponde a un *software* de código abierto, cuyo paquete “opencv” es el seleccionado para realizar adecuadamente el tratamiento requerido (Opencv, 2016). Los pasos por seguir se enumeran a continuación:

1. Máscara de color: Si se revisa la **Figura 2.1** es posible notar que la escala de colores seleccionada es continua (considerando la base de colores HSV⁴). Esto permite trabajar de forma tal que el *software* genere filtros que permitan incluir o eliminar colores del mapa (se debe revisar la simbología de la **Figura 2.1** para relacionar valores con colores). De esta forma, si se desea indicar que el umbral mínimo de existencia de agua es, por ejemplo, 0,3, se deben eliminar todos los colores de la escala que se encuentre por debajo del color indicado como 0,3 – 0,4 en la simbología. Esto significa que todos los colores que se encuentran en el rango -1 y 0,3 se convertirán en negro. Cabe destacar que no se dispone de mediciones en terreno para calibrar el umbral de detección de agua para el sistema Aguas de Quelana, por tal razón, se evalúa la evolución del área a distintos umbrales, de modo de captar la sensibilidad del sistema a distintos umbrales.

⁴ El modelo HSV (Hue, Saturation, Value) define un modelo de color en términos de sus componentes. Los colores se agrupan en una escala que permite diferenciarlos a través de matiz (rango de colores), saturación (brillo) y valor (que es la altura a la que se encuentran en el eje blanco y negro).

2. Conversión binaria: Una vez que el umbral de trabajo ha sido seleccionado y el programa filtra aquellos colores que no forman parte del rango mínimo se realiza una conversión binaria, en la que todos los colores a excepción del negro se pasan a blanco.

En la **Figura 2.2** hay un resumen general de los pasos seguidos en este estudio. Además, en esta es posible apreciar un ejemplo del efecto que tienen en las imágenes cada uno de los pasos detallados en esta subsección. En el paso 1 se puede apreciar la imagen NDWI original, seguida de la imagen con umbral mínimo 0,2, y la de umbral mínimo 0,3. En el paso 2 se muestra el cambio de los colores filtrados a blanco y negro para los mismos umbrales que los seleccionados para el paso 1. Con la aplicación de las 2 máscaras es posible calcular el área de cada una de las imágenes en unidad de píxeles. Luego, a través de la resolución del satélite, se puede realizar la transformación desde píxeles [#] a área [m²]. Para lo anterior, se multiplica cada píxel por un factor de ajuste que lo lleva a unidades de área. Con objeto de efectuar esto, son identificados puntos de referencia en las imágenes satelitales tales que las distancias entre estos son conocidas. De este modo, en base a estas distancias se puede establecer la relación entre distancia en píxel y distancia en metros. Básicamente, lo anterior es equivalente a superponer la imagen con el filtro NDWI en una imagen satelital georreferenciada.



En el **Anexo I** se encuentra el código empleado con objeto de procesar las imágenes satelitales con filtro NDWI. Esta sección contiene las librerías importadas, los pasos ya mencionados en este capítulo para el procesamiento de imágenes, así como también la aplicación de estos para el procesamiento de imágenes. Cabe destacar que todas las imágenes son tratadas a la misma resolución y dimensión.

2.2.3. SERIES DE TIEMPO: MEDIDAS DE DISPERSIÓN CENTRAL Y TASA DE CRECIMIENTO

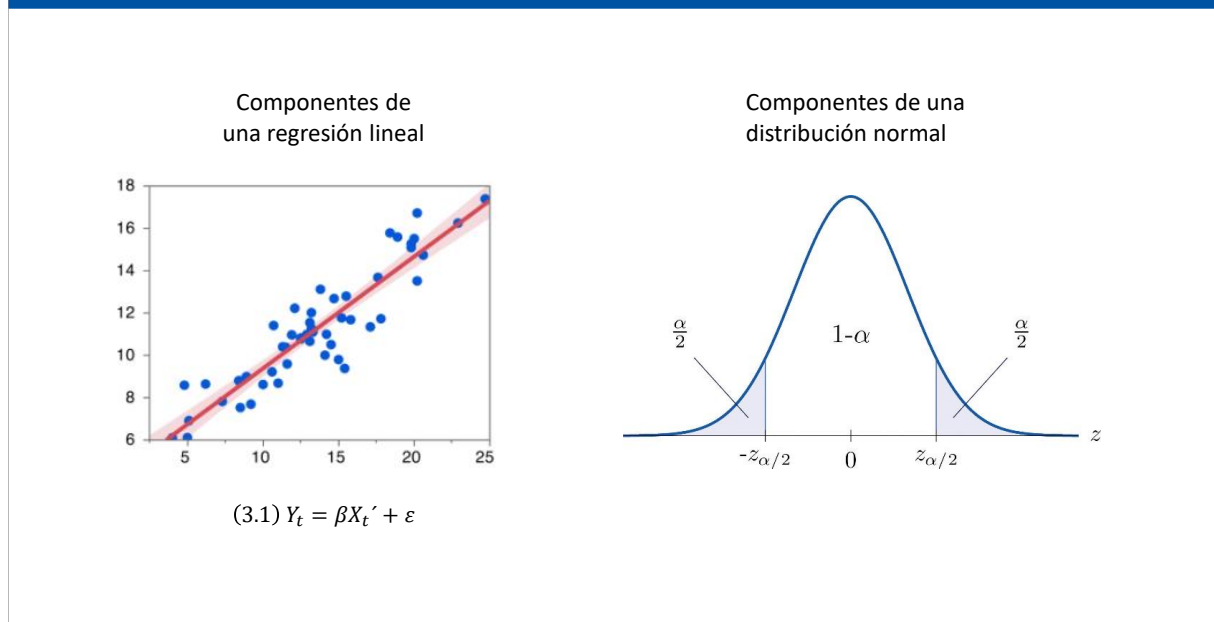
Después de cuantificar las áreas mediante el procesamiento de imágenes descrito en la subsección anterior, es posible extraer la serie de tiempo que muestra la evolución del área del sistema para el periodo de tiempo para el cual existen imágenes disponibles. En este punto es relevante entender que cada imagen tratada representa el estado del sistema lagunar en un momento de tiempo específico. Luego, el conjunto de una serie de imágenes satelitales, procesadas con la metodología ya presentada, es suficiente para extraer los datos que muestran la evolución de las áreas de las distintas lagunas en un período de tiempo.

Con estas series de tiempo se puede realizar un análisis univariado, donde se muestren las medidas de tendencia central de cada una de las series (media, moda y mediana) y la tasa de crecimiento correspondiente a la función de tendencia lineal que mejor se ajuste a los datos. Con ello se determina si el comportamiento medio del área del sistema en el tiempo posee una naturaleza creciente, decreciente o nula. Sin embargo, resulta de mayor interés conocer el comportamiento de los sistemas lagunares considerando un intervalo de confianza estadística y no solo el comportamiento medio. Es por ese motivo que se propone la realización de un análisis estadístico que considere intervalos de 95% de confianza para las tasas de crecimiento de la evolución del área lagunar, con objeto de cuantificar la significancia de la tendencia. Para lo anterior, será testeada la hipótesis nula de que no hay tendencia ni creciente ni decreciente en el área de las lagunas para el período de análisis. Esta metodología será complementada en la subsección siguiente.

2.2.4. SERIES DE TIEMPO: ANÁLISIS DE REGRESIÓN UNIVARIADO

Como se mencionó anteriormente, más que el comportamiento medio, es relevante conocer el rango de valores en el que se puede mover la evolución de las áreas lagunares considerando un cierto nivel de confianza. En la **Figura 2.3** se presenta una imagen referencial que indica las componentes de un ajuste de regresión lineal con la finalidad de facilitar su comprensión.

FIGURA 2.3. DISTRIBUCIÓN DE AJUSTE EN UNA REGRESIÓN LINEAL



Una regresión lineal queda definida por la ecuación 3.1 presentada en la **Figura 2.3** para una única variable independiente (el caso multivariado requiere una formulación matemática matricial que se omite por simplicidad de exposición). Los parámetros β y ε corresponden a la pendiente media de la regresión y al error de estimación asociado. En este caso, la metodología de ajuste se basa en mínimos cuadrados ordinarios (Maddala y Lahiri, 1992) y la principal suposición es que existe normalidad en la distribución asociada a los parámetros. Luego, hay un rango de valores en los que puede moverse la solución, según sea el intervalo de confianza escogido. En la imagen que muestra los componentes de una regresión lineal se presenta el rango de valores en el que se puede mover la solución en la franja roja translúcida, contigua a la pendiente media (línea roja sólida). Análogamente, la curva de distribución normal presentada a la derecha muestra desde donde provienen los resultados antes presentados. Un corte transversal en el centro de la curva de distribución indicaría el valor medio (análogo a la línea roja sólida), no obstante, existe un rango completo de posibles soluciones que se mueven en la región blanca de la curva (análogo a la franja roja translúcida). Los valores en el intervalo

inferior y superior delimitan el rango en el que se mueve la franja y se consideran como el P2,5 y P97,5 (con objeto de garantizar el 95% de confianza estadística)⁵.

Para generar resultados con un alto nivel de confianza estadística, se propone para los análisis la realización de una regresión lineal para las series de tiempo de las áreas de los distintos cuerpos de agua. A través de ella se espera determinar el rango de valores de la pendiente (y por ende las tendencias crecientes o decrecientes) de las series de tiempo considerando un 95% de confianza. Con esto se podrá determinar si las tendencias son estrictamente crecientes, estrictamente decrecientes o bien pudiese tratarse de una tendencia de tipo nula, según sean los valores máximos (P97,5) y mínimos (P2,5) tomados por las pendientes.

ERROR TIPO I Y II

El error tipo I, también denominado falso positivo, es el error que se comete cuando se rechaza la hipótesis nula (H_0) de falta de tendencia temporal cuando en la realidad esta es verdadera (ver **Tabla 2.1**). Es equivalente a encontrar un resultado falso positivo, porque se obtiene como conclusión la existencia de una diferencia entre las hipótesis cuando esta no existe. Se relaciona con el nivel de significancia estadística α . De esta forma, cuando el estadístico α de un parámetro es 0,05, esto es equivalente a asumir que el error tipo I en este caso es de 5%, o que con un 95% de confianza no se puede rechazar que no exista una tendencia creciente o decreciente cuando verdaderamente este es el caso.

Por su parte, el error tipo II, también llamado falso negativo, es aquel referido a que no se rechace la hipótesis nula siendo esta falsa. Es equivalente a encontrar un resultado falso negativo, porque se obtiene como conclusión la no existencia de una tendencia creciente o decreciente significativa. Se relaciona con el poder estadístico β y corresponde a $1 - \beta$. De esta forma, cuando el poder estadístico β de un parámetro es 0,95, esto es equivalente a asumir que el error tipo II es de 5%.

TABLA 2.1. EXPLICACIÓN ERRORES TIPO Y II

	H_0 ES VERDADERA	H_0 ES FALSA
No rechazar H_0	Decisión correcta Nivel de confianza Probabilidad $p = 1 - \alpha$	Error tipo II Probabilidad $p = \beta$

⁵ P2,5 equivale al percentil 2,5 de la distribución. Este es el valor que se supera en el 97,5% de los datos de la muestra. Por lo tanto, en el intervalo definido por el P2,5 y P97,5 se encuentra el 95% de los datos muestrales.

TABLA 2.1. EXPLICACIÓN ERRORES TIPO Y II (CONT.)

	H₀ ES VERDADERA	H₀ ES FALSA
Rechazar H ₀	Error tipo I Nivel de significación Probabilidad $p = \alpha$	Decisión correcta Poder de prueba Probabilidad $p = 1 - \beta$

La significancia de los parámetros estimados, así como el parámetro mismo (en este caso la tendencia de la serie) y el número de observaciones utilizadas influyen todos en la incerteza estadística que poseen los resultados derivados. Así, por ejemplo, Gerrodete (1987) establece que en el caso de un parámetro estimado superior en valor absoluto a 0,05 para 20 o más observaciones el poder estadístico β es prácticamente 1 para el caso en que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y por tanto el error tipo II es en la práctica nulo. En la medida que el parámetro estimado sea más cercano a cero más observaciones serán requeridas para mantener acotado el error tipo I.

En la práctica existe una compensación entre el error tipo I y el error tipo II (Gujarati, 2008), por lo que se debe ponderar la selección del nivel de significancia α relacionado al primero con objeto de mantener el error deseado de un tipo o el otro. Debido a que en el caso particular del área de las lagunas en el Salar de Atacama cometer un error tipo II debiese ser más costoso que cometer un error tipo I (en línea con el principio precautorio), siguiendo los resultados de Gerrodete (1987) los resultados se presentan con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. En estudios donde el error tipo I es más relevante, posiblemente los resultados se deban presentar con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$ o menor.

3. DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE LAGUNAR

En este capítulo se presentan los resultados numéricos de áreas calculadas a partir del análisis de imágenes satelitales para el sistema de Aguas de Quelana. Para desarrollar estos resultados se empleó la metodología detallada en las Sub-secciones 2.2.1 y 2.2.2.

Para este sistema se emplearon imágenes tipo DigitalGlobe (Quickbird, WorldView-2, Geoeye-1 y WorldView-3), las cuales poseen una resolución espacial de 2 [m] x 2 [m] (a excepción de las imágenes Quickbird, que poseen una resolución espacial de 2,4 [m] x 2,4 [m])⁶. En **Anexo II** se encuentra el detalle de las imágenes utilizadas, en el cual se indica el sensor y la fecha asociados a cada imagen empleada. Estas imágenes se encuentran disponibles con frecuencia anual entre 2006 y 2022 (contándose con un total de 17 imágenes). Este número de imágenes cumple con extenderse durante todo el intervalo de operación del proyecto (RCA 226/2006). Sin embargo, en términos estadísticos solo puede ser referida como una muestra pequeña⁷.

Aguas de Quelana corresponde a un sistema de afloramientos y humedales que se compone por un gran número de cuerpos de agua dispersos y de dimensiones variables, de comportamiento errático y no continuo en términos espacial y temporal. Dado que no existe una delimitación clara que identifique los cuerpos principales del sistema, se procede a realizar un análisis donde se caracteriza la evolución del área completa del sistema.

Es preciso destacar la literatura científica que precede al análisis de imágenes en este tipo de sistemas de humedales y que sirve de sustento para el análisis de imágenes satelitales:

- En base a una revisión de la literatura científica, destaca la revisión realizada por Guo *et al.* (2017) respecto al uso de imágenes satelitales con objeto de identificar los cuerpos de agua en humedales. En esta se describen los *papers* desarrollados hasta la fecha de publicación (2017),

⁶ Como se menciona en la subsección 2.2.2, de modo de hacer comparables las imágenes, estas son llevadas a la misma resolución.

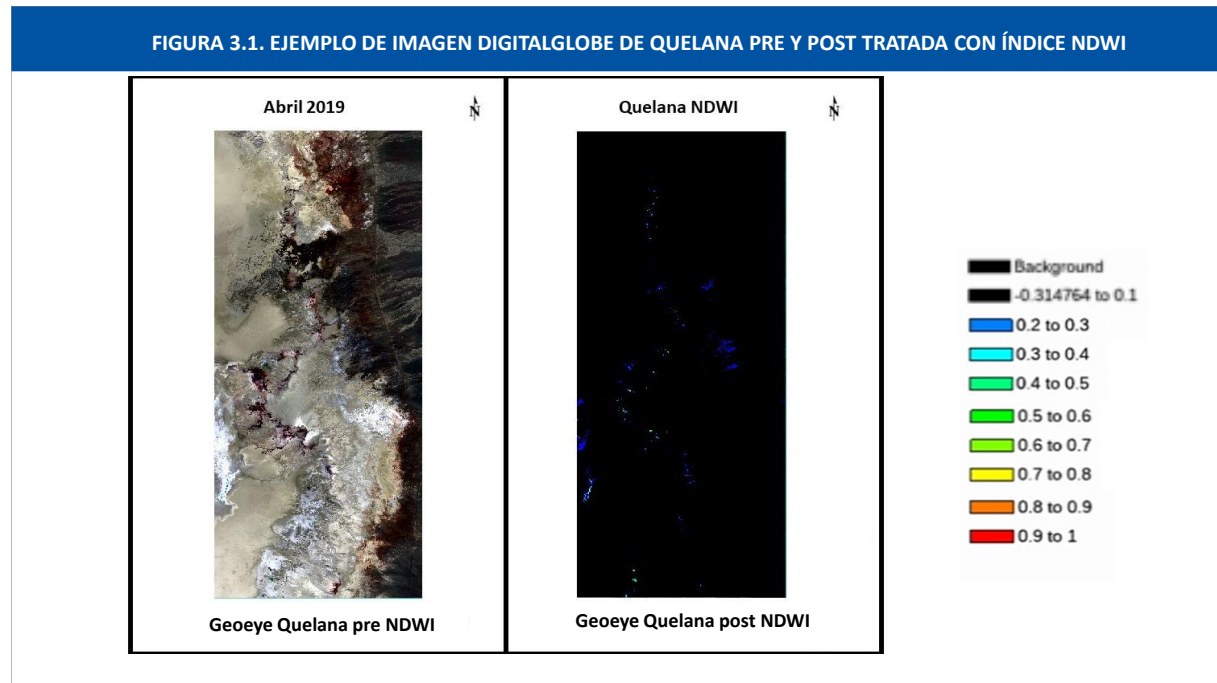
⁷ El tamaño de la muestra impacta en la confiabilidad y significancia de los resultados, de este modo, al ser menor el tamaño de la muestra la significancia estadística de los resultados será menor.

destacando los satélites utilizados, así como las técnicas desarrolladas con objeto de medir áreas de estos.

- Ávila *et al.* (2019) muestra cómo el estudio de humedales mediante el análisis de imágenes satelitales ha ganado popularidad en la comunidad científica en los últimos años. En particular, se destaca la utilización del sensor Quickbird, entre otros, debido a su resolución espectral y temporal. Se destaca que se permite dar cumplimiento a las actividades previstas en la Convención de Ramsar sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente, como hábitat de aves acuáticas, estas actividades corresponden a mapeo, inventario, evaluación de línea base y monitoreo de humedales (Convención Ramsar, 2005).
- Tulbure y Broich (2013) desarrollan un ejercicio muy similar en objetivo al aquí presentado para determinar la evolución temporal de humedales en Australia. (1) Utilizan imágenes satelitales de Landsat 5 y 7 entre 1999 y 2011, con la característica de una cobertura de nubes inferior al 50%. (2) Las imágenes son normalizadas y luego (3) corregidas al limpiar nubes y sombras. (4) Luego se define qué píxel corresponde a agua y cual no, para cada imagen de cada satélite (básicamente se determina un umbral). (5) Finalmente, se calcula el área en base al número de píxeles que corresponden a agua en la imagen.

3.1 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

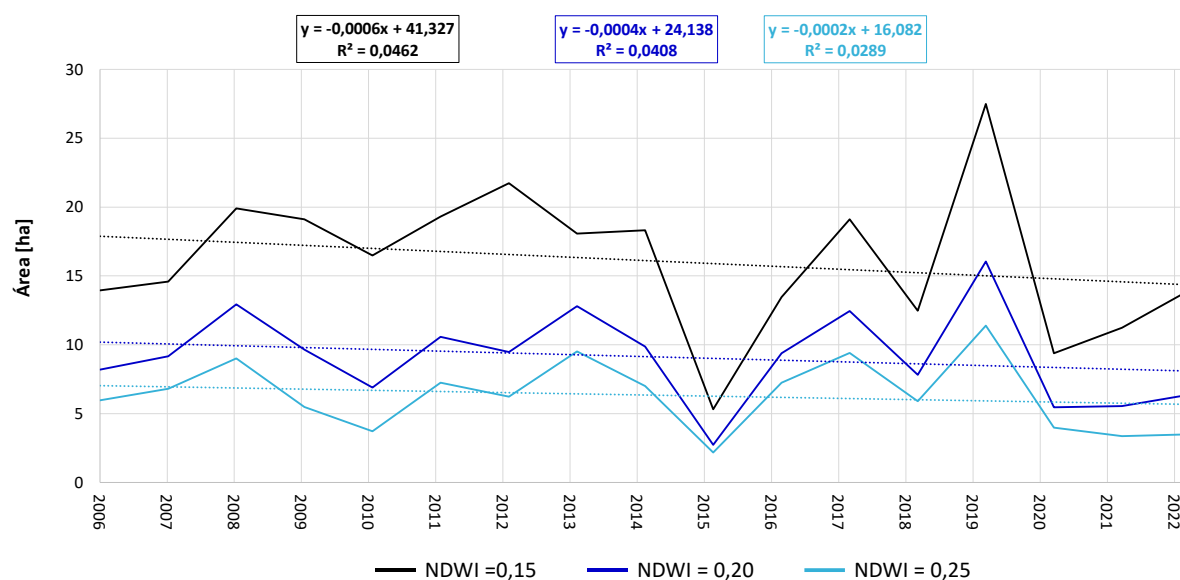
En la **Figura 3.1** que se presenta a continuación se muestra una de las imágenes DigitalGlobe de Aguas de Quelana con el filtro NDWI aplicado.



3.2 EVOLUCIÓN DEL ÁREA LAGUNAR

En la **Figura 3.2** se presenta la evolución del área lagunar del sistema en el período 2006-2022 a distintos umbrales de detección de agua. El análisis estadístico de resultados se realizará en el siguiente capítulo. Se observa que, a distintos umbrales la pendiente es negativa y por tanto el área decrece en el tiempo.

FIGURA 3.2. EVOLUCIÓN DEL ÁREA DEL SISTEMA AGUAS DE QUELANA [HA]



En la **Tabla 3.1.** se encuentran los valores en [ha] del área lagunar del sistema Aguas de Quelana a distintos umbrales de detección de agua para el período 2006-2022.

TABLA 3.1. EVOLUCIÓN DEL ÁREA LAGUNAR DEL SISTEMA AGUAS DE QUELANA

Período	Umbral = 0,15 [ha]	Umbral = 0,20 [ha]	Umbral = 0,25 [ha]
2006	13,95	8,20	5,97
2007	14,58	9,16	6,81
2008	19,90	12,93	9,01
2009	19,11	9,64	5,49
2010	16,48	6,89	3,72
2011	19,31	10,58	7,24
2012	21,74	9,47	6,23
2013	18,07	12,81	9,52
2014	18,33	9,87	7,01
2015	5,32	2,73	2,18
2016	13,47	9,39	7,24
2017	19,11	12,45	9,42
2018	12,48	7,82	5,90
2019	27,49	16,05	11,39
2020	9,39	5,47	3,97
2021	11,24	5,54	3,37
2022	14,00	6,38	3,49

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

En referencia a la **Figura 3.2**, desde donde es posible observar la serie de tiempo que muestra la evolución del área del sistema Aguas de Quelana a distintos umbrales⁸, se presenta a continuación un análisis estadístico que tiene por finalidad exhibir la evolución del área total en el período completo de tiempo para el que se tienen observaciones (2006 – 2022). Para ello se presentarán primero los valores medios, seguidos del comportamiento al 95% de confianza o significancia de 5%⁹ (α). Lo anterior con objeto de evaluar la hipótesis nula de que no existe tendencia en el período en relación al área lagunar del sistema y por tanto, cualificar la significancia del comportamiento que presente la serie de tiempo en el tiempo.

4.1 ESTADÍSTICAS BÁSICAS Y TASA DE CRECIMIENTO MEDIA

Para comenzar el análisis, se presentan en la **Tabla 4.1** los valores medios, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación de las series de tiempo que presentan la evolución en hectáreas de sistema a distintos umbrales de detección de agua.

TABLA 4.1. MEDIDAS DE DISPERSIÓN DEL ÁREA TOTAL DEL SISTEMA AGUAS DE QUELANA 2006-2022.
Fuente: GEM.

SISTEMA (UMBRAL)	ÁREA MEDIA [HA]	DESVIACIÓN ESTÁNDAR [HA]	COEFICIENTE DE VARIACIÓN [%] ¹⁰
Aguas de Quelana (0,15)	16,12	5,18	32%
Aguas de Quelana (0,20)	9,14	3,28	36%
Aguas de Quelana (0,25)	6,35	2,53	40%

De la **Tabla 4.1** es posible concluir que se identifica una alta desviación estándar para las series de tiempo a distintos umbrales. En términos porcentuales, esta variabilidad, medida como el coeficiente

⁸ En el rango [0,15,0,25], el cual es en general el dominio en el cual se mueven los umbrales óptimos según se observó en Barros Negros – Chaxa, Peine y Puilar (“IT23-21-01 Análisis de la evolución de las áreas lagunares en el Salar de Atacama – V1”). Este análisis de sensibilidad es el resultado de la imposibilidad de calibrar dado la no disponibilidad de áreas para tal fin.

⁹ Esto implica que para las tendencias cuyos valores p de la regresión sean superiores a 5%, no se podrá rechazar la hipótesis nula de que no hay tendencia, por tanto, no se podrá afirmar que no existe tendencia o que existe con un 95% de confianza estadística.

¹⁰ El coeficiente de variación es una medida de dispersión central, calculado como la razón entre la desviación estándar y la media, que permite dar cuenta del grado de variabilidad de una variable.

de variación, es en promedio de un 36%, lo que da cuenta de una alta variabilidad. Lo anterior se condice con un sistema con presencia de cuerpos de agua de naturaleza estable y otros de naturaleza esporádica, siendo estos últimos los que explican la alta variabilidad.

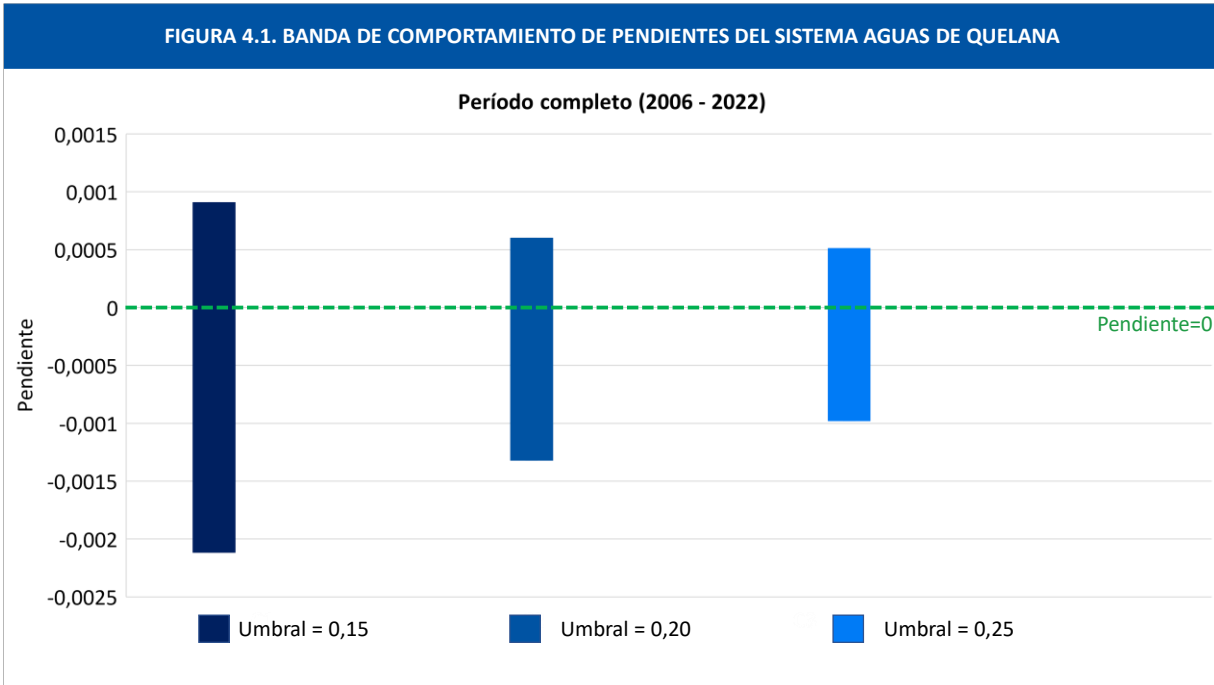
4.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN CON EL 95% DE CONFIANZA ESTADÍSTICA

Junto con analizar las tendencias medias, es necesario incorporar un análisis de las bandas en las que se mueven los resultados de la tasa de crecimiento y, por ende, el crecimiento o decrecimiento de los cuerpos lagunares a un 95% de confianza o significancia de 5% (α). En la **Tabla 4.2** se presentan los resultados a distintos umbrales (0,15; 0,20; 0,25). Se utilizan estos umbrales con objeto de comparar la serie de tiempo ante distintos escenarios de detección de agua, se utiliza este rango debido a que es el rango en el cual se mueven los umbrales de los otros sistemas (Peine y Soncor). La información de esta tabla se encuentra esquematizada a través de un diagrama de cajas, en la **Figura 4.1**.

TABLA 4.2. TASA DE CRECIMIENTO DE ÁREA DE AGUAS DE QUELANA CON INTERVALO AL 95% DE CONFIANZA ESTADÍSTICA 2006-2022.
Fuente: GEM.

SISTEMA (UMBRAL)	TASA DE CRECIMIENTO (P2,5) [HA/AÑO]	TASA DE CRECIMIENTO MEDIA [HA/AÑO]	TASA DE CRECIMIENTO (P97,5) [HA/AÑO]
Aguas de Quelana (0,15)	-0,7718	-0,2205	0,3307
Aguas de Quelana (0,20)	-0,4813	-0,1312	0,2189
Aguas de Quelana (0,25)	-0,3565	-0,0851	0,1862

Por medio de la **Figura 4.1** se puede determinar que para el período comprendido entre los años 2006 y 2022, considerando una única medición anual en el mes de abril, Aguas de Quelana presentaría un comportamiento medio decreciente (considerando el rango de umbrales 0,15-0,25). Sin embargo, no se puede rechazar la hipótesis nula de que el cuerpo no presente tendencia para ninguno de los umbrales analizados, ya que los intervalos se mueven entre valores positivos y negativos, cruzando el eje de las abscisas. De este modo, no se puede afirmar que el área de las lagunas se esté reduciendo, del mismo modo que no se puede afirmar que el área esté aumentando.



Cabe destacar que para Aguas de Quelana se obtiene una alta variabilidad en los resultados con respecto a la tasa de crecimiento del área de la laguna, ya que el número de observaciones es reducido y la desviación estándar es alta. Se desprende que en el período 2006-2022 no se puede afirmar que exista tendencia creciente o decreciente estadísticamente significativa.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente estudio, realizado para actualizar el análisis de la evolución del área del sistema lacustre Aguas de Quelana en el período 2006-2022, se puede concluir que:

- Si bien el área del sistema presenta una tendencia levemente a la baja a distintos umbrales de detección de agua, estas tendencias no son estadísticamente significativas con un 95% de confianza estadística, con esto no se puede rechazar la hipótesis nula de que el área no presente tendencia. Dicho de otro modo, no se puede afirmar que el área lagunar del sistema Aguas de Quelana esté decreciendo, del mismo modo que no se puede afirmar que el área esté creciendo.
- Dado que no se puede afirmar estadísticamente qué ocurre con el comportamiento de las lagunas a una significancia estadística del 5% se recomienda, por un lado, aumentar el número de imágenes por año para de esta manera incrementar el tamaño la muestra estadística y, por otro lado, se recomienda analizar la evolución del sistema Aguas de Quelana en base a información recogida en terreno. La mayor cantidad de observaciones en la muestra tiene por objeto aumentar la significancia de los resultados. Por otro lado, la información recopilada en terreno tiene por fin la validación y calibración de los resultados aquí presentados.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ávila, D., Barrera, V., & Martínez, Z. 2019. Spatio-temporal modelling of wetland ecosystems using Landsat time series: case of the Bajo Sinú Wetlands Complex (BSWC) – Córdoba – Colombia. *Annals of GIS*. <https://doi.org/10.1080/19475683.2019.1617347>.

Convención Ramsar. 2005. “An Integrated Framework for Wetland Inventory, Assessment and Monitoring (IF-WIAM).” <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/guide/guide-ifwiam-e.pdf>.

Eid, A. N. M., Olatubara, C. O., Ewemoje, T. A., El-Hennawy, M. T., & Farouk, H. 2020. Inland wetland time-series digital change detection based on SAVI and NDWI indices: Wadi El-Rayan lakes, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100347.

Gao, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.

Gujarati, D. y Porter, D. (2008). *Basic econometrics*. 5ta edición, McGraw-Hill. Nueva York, Estados Unidos.

Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. 2017. A review of wetland remote sensing. *Sensors* 17,777.

Gutiérrez, J.S., Moore, J.N., Donnelly, J.P., Dorador, C., Navedo, J.G., Senner, N.R. (2022). Climate Change and lithium mining influence flamingo abundance in the Lithium Triangle. *Proc. R. Soc. B*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2388>

Guzmán, J.I., Retamal, C., Faúndez, P., Jara, J.J. (2022). Evolution of the surface area of critical lagoon systems in the Salar de Atacama. *Natural Resources Research*. <https://doi.org/10.1007/s11053-022-10070-7>

Håkanson, L. 1981. *A manual of lake morphometry*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Alemania.

Huang, S., Li, J., & Xu, M. 2012. Water surface variations monitoring and flood hazard analysis in Dongting Lake area using long-term Terra/MODIS data time series. *Natural hazards*, 62(1), 93-100.

Hutchinson, G. E. 1975. A treatise on limnology: limnological botany (Vol. 3). John Wiley & Sons. New Jersey, EE.UU.

Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.

Maddala, G. S., & Lahiri, K. 1992. Introduction to econometrics (Vol. 2). New York: Macmillan.

McFeeters, Stuart 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.

Milewski, R. 2020. Potential of Optical Remote Sensing for the Analysis of Salt Pan Environments. Tesis de doctorado, Universidad de Postdam y German Research Centre for Geosciences, Alemania.

OpenCv. (2016.). OpenCV. Consultado el 13 de noviembre de 2020, desde <https://opencv.org/>.

Ouma, Y.O., and R. Tateishi, 2006. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: An empirical analysis using Landsat TM and ETM data, *International Journal of Remote Sensing*, 27(15), 3153–3181.

Sheng, Y., Song, C., Wang, J., Lyons, E. A., Knox, B. R., Cox, J. S., & Gao, F. 2016. Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 185, 129-141.

SQM Salar S.A. 2018. Informe de superficies lagunares Sistemas Soncor, Peine y Aguas de Quelana. Cargo N°1 DE Res. Ex N°21/ROL F-041-205. SQM Salar S.A.

SQM Salar S.A. 2018b. Informe N° 21 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico. Proyecto cambios y mejoras de la operación minera en el Salar de Atacama. 364 pp.

SQM Salar S.A. 2020. Estudio de impacto ambiental proyecto actualización plan de alerta temprana y seguimiento ambiental, Salar de Atacama: modelo hidrogeológico conceptual del salar de atacama.

Superintendencia de Medio Ambiente. 2020. RES. EX. N°29/ ROL F-041-2016.

Tejeda, I., Cienfuegos, R., Muñoz, J. F., & Durán, M. 2003. Numerical modeling of saline intrusion in Salar de Atacama. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(1), 25-34.

Tulbure, M., & Broich, M. 2013. Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 79, 44-52.

Welch, P. S. 1948. *Limnological methods*. McGraw-Hill Book Company. Blackiston, Philadelphia, EE. UU.

Wetzel, R. G. 1975. *Limnology*. WB Sanders, Philadelphia, EE. UU.

Yao, F., Wang, J., Wang, C., & Crétau, J. F. 2019. Constructing long-term high-frequency time series of global lake and reservoir areas using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111210.

7. ANEXOS

I. CÓDIGO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN PYTHON

I.1. CÓDIGO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

```
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Created on Fri Jul 17 19:29:02 2020
4
5  @author: Candelaria Retamal
6  """
7
8  import cv2
9  import numpy as np
10 import matplotlib.pyplot as plt
11 import os, sys
12 import glob
13 from PIL import Image
14 import os
15 from matplotlib.colors import hsv_to_rgb
16
17 #%% LEER TODAS LAS IMAGENES A TRATAR
18 # Abrir todas las im genes desde el directorio
19 p = 0
20 path = "E:/PF/2021/P23-21 Actualizaci n de Informe para SMA/Archivos"
21 path = path+"/Archivos de trabajo/2021_09_21-Imagenes NDWI/Landsat 5 y 7/Soncor NDWI"
22 dirs = os.listdir(path)
23 for file in dirs:
24     test = cv2.imread(file)
25     # Lee inicialmente los colores de la imagen
26     test = cv2.cvtColor(test, cv2.COLOR_BGR2RGB)
27
28
29     #%% MASCARA DE COLOR
30     # conversion de escalas de colores desde RGB a HSV
31     hsv=cv2.cvtColor(test, cv2.COLOR_RGB2HSV)
32     """Aquí se genera la mascara de color lower es limite inferior
33     y upper superior.Adjunto en el mail la escala de colores de HSV
34     (deberias usar algo como grayscale si la imagen fuera
35     en blanco y negro)"""
36     lower_color=np.array([5, 5, 5])
37     upper_color=np.array([89, 255, 255])
38     mask = cv2.inRange(hsv, lower_color, upper_color)
39     result = cv2.bitwise_and(test, test, mask = mask)
40
41     """Esto es ensayo y error, en el comando plt.imshow puedes ver
42     como quedo la imagen con la mascara de color aplicada
43     todo lo que no es del rango de colores que le especificaste
44     se va a ir a negro"""
45
46     plt.imshow(result)
47     #%% RECORTAR
48
49     """En este caso se debe recortar la imagen ya que tiene un
50     marco que no forma parte de la informaci n relevante.
51     Para usarlo mira en inkscape cuales son las
52     coordenadas de la imagen"""
53     crop_img_orig = result[:, :]
54     #Puedes mirar lo que hiciste descomentando este comentario
55     plt.imshow(crop_img_orig)
56
57     # BLANCO Y NEGRO
58     #En base a la mascara de color pasa todo lo coloreado a blanco
59     #y todo lo negro lo deja en negro
60     crop_img=crop_img_orig.copy()
61     # change everything to white where pixel is not black
62     crop_img[(crop_img != 0) & (crop_img != 255)] = 255
```

```

63 plt.imshow(crop_img)
64 hsv = cv2.cvtColor(crop_img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
65
66 hsv_channels = cv2.split(hsv)
67
68 rows = crop_img.shape[0]
69 cols = crop_img.shape[1]
70
71 for i in range(0, rows):
72     for j in range(0, cols):
73         h = hsv_channels[0][i][j]
74
75         if h >= 0 and h <= 254:
76             hsv_channels[1][i][j] = 255
77         else:
78             hsv_channels[1][i][j] = 0
79
80
81
82 %% FUNCION AUXILIAR C Lculo DEL REA
83 def grab_contours(cnts):
84     # OpenCV v2.4, v4-official
85     if len(cnts) == 2:
86         return cnts[0]
87     # OpenCV v3
88     elif len(cnts) == 3:
89         return cnts[1]
90
91 cnts = cv2.findContours(hsv_channels[2], cv2.RETR_EXTERNAL,
92 cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
93 cnts = grab_contours(cnts)
94
95 #GUARDAR IMAGEN BLANCO Y NEGRO
96 #(hsv_channels[2] es la imagen depurada que buscas)
97 contour_image = hsv_channels[2]
98 nombre=str(p)
99 while len(nombre)<5:
100     nombre="0"+nombre
101 filename = 'Output_0.31/'+str(nombre)+'.PNG'
102 cv2.imwrite(filename,contour_image)
103 p+=1
104 #C lculo de rea a trav s de iteraci n en imagen blanco y negro
105 area = 0
106 for c in cnts:
107     area += cv2.contourArea(c)
108     cv2.drawContours(contour_image,[c], 0, (100,5,10), cv2.FILLED)
109
110 # p+=1
111
112 #CON ESTO PUEDES CALCULAR EL CENTRO DE MASA DE LA IMAGEN
113 # # compute the center of the contour
114 # # M=cv2.moments(c)
115 # # cX = int(M["m10"] / M["m00"])
116 # # cY = int(M["m01"] / M["m00"])
117 # # draw the contour and center of the shape on the image
118 # # cv2.drawContours(contour_image, [c], -1, (0, 255, 0), 2)
119 # # cv2.circle(contour_image, (cX, cY), 7, (255, 255, 255), -1)
120 # # cv2.putText(contour_image, "center", (cX - 20, cY - 20),
121 # # cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 2)
122 # # show the image
123 # # cv2.imshow("Image", contour_image)
124

```

```
125 | print(area)
126 |
127 | # cv2.putText(contour_image, str(area), (50,50), \
128 | # cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (100,255,100), 2)
129 | # plt.subplot(131),plt.imshow(crop_orig)
130 | # plt.title('Original Image'), plt.xticks([]), plt.yticks([])
131 | # plt.subplot(132),plt.imshow(crop_img_orig)
132 | # plt.title('Filtered Image'), plt.xticks([]), plt.yticks([])
133 | # plt.subplot(133),plt.imshow(contour_image,'bone')
134 | # plt.title('Area Image'), plt.xticks([]), plt.yticks([])
```

I.2. CÓDIGO DE CÁLCULO DE ÁREAS

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Mon Aug  3 10:49:49 2020
4
5 @author: Candelaria Retamal
6 """
7
8 import numpy as np
9 import cv2
10 import os
11 import sys
12 from PIL import Image
13
14
15 p = 0
16 path = "C:/Users/pfaun/Desktop/2021_09_21_Imagenes NDWI"
17 path = path + "/Landsat 5 y 7/Soncor NDWI/Output_0.80/"
18 dirs = os.listdir(path)
19
20 for file in dirs:
21     if ".PNG" in file:
22         img = cv2.imread(path+file)
23
24         height = img.shape[0]
25         width = img.shape[1]
26
27         mask = np.zeros((height, width), dtype=np.uint8)
28         points = np.array([[118, 65],[124, 59],[139, 59],[133, 79], \
29                             [123, 84],[110, 86],[99, 76], [109, 64]])
30         cv2.fillPoly(mask, points, (255))
31
32         res = cv2.bitwise_and(img,img,mask = mask)
33
34         rect = cv2.boundingRect(points) # returns (x,y,w,h) of the rect
35         cropped = res[rect[1]: rect[1] + rect[3], rect[0]: rect[0] + rect[2]]
36         nombre=str(p)
37         while len(nombre)<5:
38             nombre="0"+nombre
39         filename = str(path)+'Chaxa/'+str(nombre)+'.PNG'
40         cv2.imwrite(filename,res)
41
42         p+=1
43
44         crop_img=res.copy()
45         #change everything to white where pixel is not black
46         crop_img[(crop_img != 0) & (crop_img != 255)] = 255
47         #plt.imshow(crop_img)
48         hsv = cv2.cvtColor(crop_img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
49
50         hsv_channels = cv2.split(hsv)
```

```

51     for i in range(0, height):
52         for j in range(0, width):
53             h = hsv_channels[0][i][j]
54
55             if h >= 0 and h <= 254:
56                 hsv_channels[1][i][j] = 255
57             else:
58                 hsv_channels[1][i][j] = 0
59
60     #cv2.imshow("show2", hsv_channels[2])
61
62     #Calculo del area del sistema
63     def grab_contours(cnts):
64         # OpenCV v2.4, v4-official
65         if len(cnts) == 2:
66             return cnts[0]
67         # OpenCV v3
68         elif len(cnts) == 3:
69             return cnts[1]
70
71     cnts = cv2.findContours(hsv_channels[2], cv2.RETR_EXTERNAL,
72                             cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
73     cnts = grab_contours(cnts)
74
75     contour_image = hsv_channels[2]
76     # directory = r"C:\Users\Candelaria Retamal\Desktop\P12-20\Soncor_out"
77
78     area = 0
79     perimeter = 0
80     for c in cnts:
81         area += cv2.contourArea(c)
82         perimeter += cv2.arcLength(c, True)
83         cv2.drawContours(contour_image, [c], 0, (100,5,10), cv2.FILLED)
84
85
86     print(area)

```

II. IMÁGENES UTILIZADAS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

TABLA I. IMÁGENES DE AGUAS DE QUELANA UTILIZADAS EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
Fuente: GEM.

IMAGEN	FECHA
QuickBird	29-03-2006
QuickBird	06-04-2007
QuickBird	26-04-2008
QuickBird	16-04-2009

**TABLA I. IMÁGENES DE AGUAS DE QUELANA UTILIZADAS EN PROCESAMIENTO DE
IMÁGENES (CONT.)**

Fuente: GEM.

IMAGEN	FECHA
WorldView-2	03-04-2010
WorldView-2	09-04-2011
QuickBird	01-04-2012
QuickBird	04-04-2013
Geoeye-1	04-04-2014
WorldView-2	17-04-2015
Geoeye-1	12-04-2016
Geoeye-1	01-04-2017
Geoeye-1	04-04-2018
Geoeye-1	02-04-2019
WorldView-3	04-04-2020
WorldView-3	07-04-2021
Geoeye-1	Abril 2022

Anexo 10.3

- Informe levantamiento estacas perimetrales

Informe Topográfico:
SL-00-IT-0002_REV.1

**“Levantamiento de Superficies Lacustres
metodología medición de estacas año 2022”**

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

Lunes, 23 de mayo de 2022

ATyGeo	ATyGeo	
Nombre: Cristian Trigo T.	Nombre: Verónica Villalobos R.	Nombre:
Fecha: 23-05-2022	Fecha: 23-05-2022	Fecha:
Firma: 	Firma: 	Firma:



1. INTRODUCCION

El presente informe entrega los resultados obtenidos en la realización del Servicio de levantamiento topográfico de superficies lacustres del Salar de Atacama 2022, metodología de medición de estacas, utilizando huincha y brújula, de acuerdo con instrucción de SQM y método CONAF.

2. OBJETIVO

Realizar levantamiento topográfico de superficies lacustres de Salar de Atacama, ubicado a 316 km al noreste de la ciudad de Antofagasta y a 55 km al sur de la localidad de San Pedro de Atacama. Esta medición se realiza utilizando huincha y brújula, obteniendo distancia y ángulo. En figura N°1 se muestra ubicación general de superficies lacustres levantadas.



Figura N°1. Ubicación general superficies lacustres

3. DESCRIPCION DEL TRABAJO

El servicio consistió en realizar un levantamiento topográfico de las superficies lacustres de lagunas Salada, Saladita, Puilar, Chaxa y Barros Negros. El levantamiento se realizó entre los días 11 y 27 de abril de 2022. La brigada topográfica estuvo conformada por un ingeniero geomensor y un topógrafo, acompañada por ITO SQM, veedores de Comunidad Atacameña de Peine (Lagunas Salada y Saladita), veedores de Comunidad Atacameña de Toconao y veedor CONAF (Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros).

El levantamiento topográfico se realizó caminando por el borde de las lagunas, buscando cada una de las estacas, midiendo con huincha de 50m y brújula desde la cabeza de cada estaca encontrada hacia el borde más próximo de las lagunas, obteniendo la distancia entre ellos y el ángulo formado entre el norte, la estaca y el punto del borde. Además, se debe indicar que, utilizando equipo GPS doble frecuencia marca Trimble modelo R4, Datum WGS-84 y método RTK, se obtuvieron coordenadas de las estacas en tiempo real.

En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos en las lagunas medidas, lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Peine, Toconao y el veedor de CONAF indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que estos volaran fuera de las lagunas. Esta situación se repitió en todas las lagunas con excepción de laguna Barros Negros donde no se observó la presencia de aves.

Con la información obtenida, se trabajó en gabinete procediendo a dibujar y calcular los perímetros y áreas de cada laguna, para ello se usó software AutoCAD Civil 3D, haciendo todos los cálculos y generando archivos DXF, los cuales fueron utilizados en software QGIS, donde se generaron archivos SHAPE y KML. Con estos archivos, y en Google Earth se generaron archivos KMZ.

En trabajo de gabinete se realizó utilizando dos métodos de análisis, los que se detallan a continuación:

3.1. METODOLOGÍA SQM

Esta metodología implica que, con los datos de las mediciones realizadas en terreno, se genera un polígono uniendo todos los puntos del borde de cada laguna más cercano a las estacas, calculando perímetro y área por laguna.

3.2. METODOLOGÍA CONAF

Con esta metodología se debe unir todas las estacas formando un polígono por laguna, para luego calcular su centroide. Este centroide servirá como eje central al cual se debe unir líneas rectas desde cada estaca. Luego, estas líneas se cortarán a la distancia medida desde las estacas al borde más próximo, obteniendo puntos coordenados a esa distancia, pero en dirección al centroide. Estos nuevos puntos coordenados se unirán formando un polígono, del cual se obtendrá perímetro y área por laguna.

3.3. COMPARACION ENTRE METODOLOGÍAS

Las metodologías utilizadas forman polígonos diferentes, los cuales entregan distintos valores para perímetro y área. Si bien, se usa la misma medida de distancia, el ángulo formado es distinto. Se debe señalar que en ambos casos no se cubre la totalidad de la superficie de las lagunas a levantar.

En figuras N° 2 y 3 se muestran ejemplos de líneas de proyección de estacas al borde y al centroide, indicando la diferencia angular entre ellos.

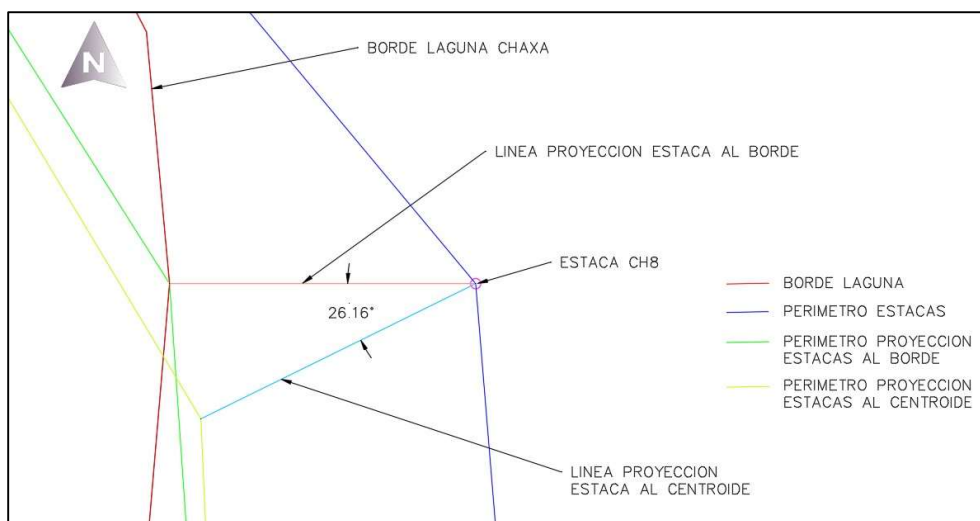


Figura N°2. Comparación de línea de proyección desde estaca CH8 hasta borde de laguna (metodología SQM) con línea de proyección desde estaca CH8 al centroide (metodología CONAF) en laguna Chaxa.



Figura N°3. Comparación de línea de proyección desde estaca CH8 hasta borde de laguna (metodología SQM) con línea de proyección desde estaca CH8 al centroide (metodología CONAF) en laguna Saladita.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se entregan los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos realizados a cada laguna. Se debe indicar que, en todas las tablas y cálculos realizados, se utilizaron las coordenadas de estacas levantadas en terreno.

4.1. METODOLOGÍA SQM

4.1.1. LAGUNA SALADA

En figura N°4 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna.



Figura N°4. Estacas y perímetro de Laguna Salada metodología SQM.

En tabla N°1 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología SQM.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	3125.430	3.125	186380.201	18.638

Tabla N°1. Cálculo de perímetro y área de Laguna Salada metodología SQM.

Se debe indicar que en esta laguna no fueron encontradas las estacas ES-7 y ES-24, las cuales corresponden a las estacas SA11 y ES-25 respectivamente. Además, se incorporaron las estacas ESX-1, ESX-2 y ESX-3 encontradas en terreno.

En tabla N°2 se entrega el control de estacas de Laguna Salada utilizando metodología SQM.

CONTROL ESTACAS LAGUNA SALADA METODO SQM							
ESTACA LISTADO	DH (m)	ANGULO (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
SA-1	1.26	105	AFUERA	7380741.235	587621.941	7380740.918	587623.156
SA-2	35.65	330	ADENTRO	7380809.210	587561.742	7380840.181	587544.097
SA-3	0.85	77	ADENTRO	7380764.196	587645.076	7380764.385	587645.903
SA-4	2.15	36	ADENTRO	7380751.504	587653.839	7380753.246	587655.084
SA-5	1.55	353	ADENTRO	7380745.077	587713.864	7380746.616	587713.697
SA-6	6.82	58	ADENTRO	7380709.498	587742.065	7380713.164	587747.821
ES-2	0.16	179	AFUERA	7380700.412	587814.050	7380700.257	587814.052
SA-7	2.12	147	AFUERA	7380695.774	587843.675	7380693.990	587844.816
SA-8	0.7	9	ADENTRO	7380699.890	587916.970	7380700.585	587917.076
SA-9	3.67	246	AFUERA	7380649.509	587967.862	7380647.993	587964.522
SA-10	1.53	65	ADENTRO	7380503.733	588094.877	7380504.381	588096.259
SA-11	0.6	30	ADENTRO	7380428.595	588163.175	7380429.115	588163.481
SA-12	0.42	185	AFUERA	7380401.854	588267.958	7380401.440	588267.921
SA-13	1.14	113	ADENTRO	7380333.128	588357.604	7380332.679	588358.647
SA-14	2.1	224	ADENTRO	7380328.959	588350.472	7380327.456	588349.016
SA-15	1.82	345	AFUERA	7380363.001	588262.455	7380364.746	588261.970
SA-16	0.47	43	AFUERA	7380431.287	588083.790	7380431.633	588084.112
SA-17	6.65	55	AFUERA	7380528.897	587956.476	7380532.733	587961.911
SA-18	0.77	275	AFUERA	7380601.630	587955.664	7380601.692	587954.900
ES-19	7.07	297	AFUERA	7380559.234	587940.340	7380562.478	587934.063
ES-20	3.17	291	AFUERA	7380532.502	587926.946	7380533.641	587923.987
ES-22	2.51	281	AFUERA	7380493.689	587910.850	7380494.174	587908.386
ESX-1	8.8	284	AFUERA	7380453.545	587910.278	7380455.719	587901.743
ES-25	7.36	296	AFUERA	7380367.153	587895.062	7380370.333	587888.430
SA-19	1.75	280	AFUERA	7380347.429	587883.684	7380347.736	587881.966
ES-27	2.8	309	AFUERA	7380289.637	587871.540	7380291.416	587869.364
ES-28	1.2	107	ADENTRO	7380257.630	587857.163	7380257.283	587858.316
ES-29	1.03	300	AFUERA	7380216.776	587843.968	7380217.289	587843.076
ESX-2	2.55	151	ADENTRO	7380185.158	587822.627	7380185.158	587822.627
SA-20	4.87	148	ADENTRO	7380161.548	587796.130	7380157.399	587798.686
SA-21	0.3	138	ADENTRO	7380180.613	587742.392	7380180.387	587742.599
SA-22	0.21	189	ADENTRO	7380186.978	587695.731	7380186.771	587695.699
ES-33	0.58	239	ADENTRO	7380221.250	587643.501	7380220.947	587643.002
ES-35	0.25	251	ADENTRO	7380251.694	587605.911	7380251.615	587605.675
SA-23	0.28	222	ADENTRO	7380277.441	587584.521	7380277.236	587584.336
SA-24	0.35	244	ADENTRO	7380311.382	587539.938	7380311.224	587539.621
ESX-3	0.2	298	ADENTRO	7380424.504	587606.488	7380424.600	587606.307
ES-39	1.6	60	AFUERA	7380480.293	587612.012	7380481.097	587613.401
SA-25	0.95	7	AFUERA	7380512.006	587576.371	7380512.942	587576.479
ES-41	0.37	355	AFUERA	7380507.363	587498.702	7380507.731	587498.671
ES-42	5	146	AFUERA	7380535.263	587489.800	7380531.133	587492.630
ES-43	0.4	199	AFUERA	7380546.729	587530.135	7380546.363	587530.011
ES-44	2	143	AFUERA	7380572.190	587613.020	7380570.613	587614.218
ES-45	0.22	191	AFUERA	7380566.975	587639.818	7380566.753	587639.776
SA-26	0.1	312	AFUERA	7380667.967	587654.360	7380668.036	587654.283
ES-47	0.6	334	AFUERA	7380672.529	587640.110	7380673.058	587640.373

Tabla N°2. Control estacas Laguna Salada metodología SQM.

4.1.2. LAGUNA SALADITA

En figura N°5 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna.

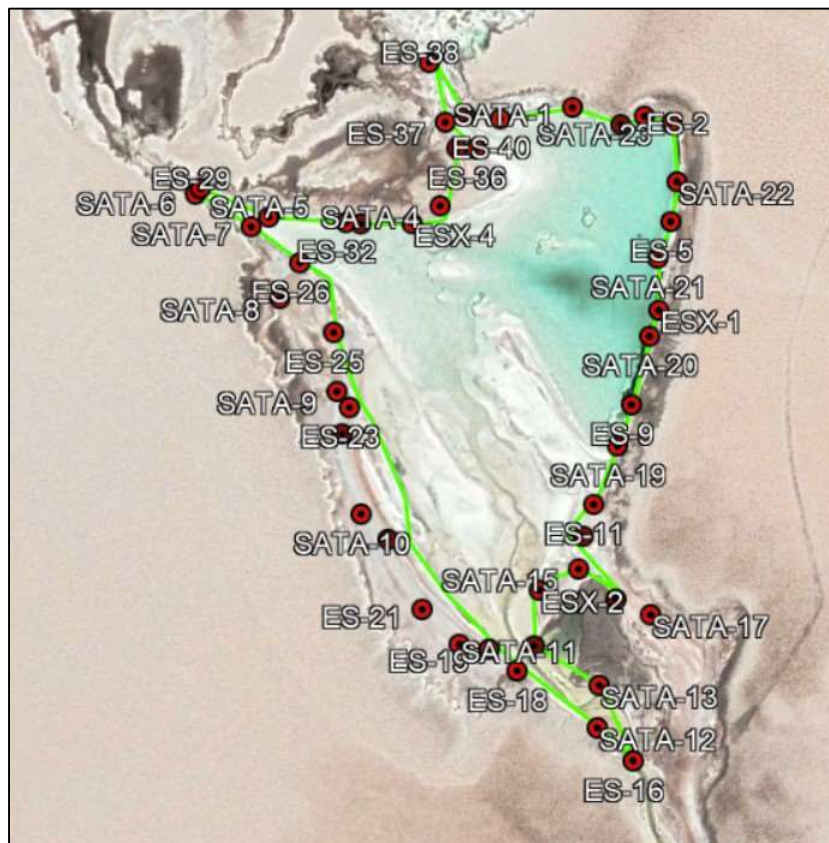


Figura N°5. Estacas y perímetro de Laguna Saladita metodología SQM.

En tabla N°3 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología SQM.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADITA	1980.673	1.981	95245.588	9.525

Tabla N°3. Cálculo de perímetro y área de Laguna Saladita metodología SQM.

Se debe indicar que en esta laguna no fue encontrada la estaca SATA24-NE, la cual se incorporó de forma teórica en gabinete. Además, se encontraron en terreno cuatro estacas más, las cuales se denominaron ESX-1, ESX-2, ESX-3 y ESX-4.

En tabla N°4 se entrega el control de estacas de Laguna Saladita utilizando metodología SQM.

CONTROL ESTACAS LAGUNA SALADITA METODO SQM							
ESTACA LISTADO	DH (m)	ANGULO (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
SATA-1	0.90	185	AFUERA	7381488.059	587020.670	7381487.166	587020.591
ES-2	1.82	182	AFUERA	7381479.993	587083.094	7381478.180	587083.041
SATA-23	0.44	227	AFUERA	7381474.012	587106.763	7381473.712	587106.442
SATA-22	0.04	278	AFUERA	7381422.531	587110.996	7381422.530	587110.936
ES-5	0.10	273	AFUERA	7381387.880	587105.265	7381387.885	587105.154
SATA-21	0.45	107	ADENTRO	7381356.174	587093.536	7381356.049	587093.951
SATA-20	0.13	258	AFUERA	7381288.766	587085.966	7381288.737	587085.833
ES-9	0.35	122	ADENTRO	7381229.926	587069.921	7381229.740	587070.224
SATA-19	0.50	285	AFUERA	7381194.654	587057.540	7381194.788	587057.058
ES-11	9.65	23	AFUERA	7381144.949	587036.758	7381153.790	587040.563
SATA-18	15.50	282	AFUERA	7381117.885	587027.567	7381121.029	587012.396
SATA-15	0.50	360	AFUERA	7381090.138	587023.448	7381090.669	587023.435
SATA-14	0.20	282	AFUERA	7381025.187	586985.195	7381025.234	586984.978
SATA-13	0.27	195	AFUERA	7380991.643	587040.389	7380991.387	587040.322
ES-16	0.08	288	AFUERA	7380928.100	587068.847	7380928.126	587068.768
SATA-12	0.40	17	AFUERA	7380955.883	587038.616	7380956.251	587038.732
ES-18	4.30	43	AFUERA	7381004.334	586970.393	7381007.487	586973.319
ES-19	5.05	39	AFUERA	7381022.724	586946.670	7381026.620	586949.862
SATA-11	21.40	43	AFUERA	7381026.960	586921.222	7381042.523	586935.947
ES-21	23.70	56	AFUERA	7381056.648	586889.483	7381069.993	586909.042
ES-22	18.10	100	AFUERA	7381116.198	586860.374	7381112.945	586878.183
ES-23	9.80	70	AFUERA	7381229.092	586827.180	7381232.566	586836.337
SATA-9	14.40	76	AFUERA	7381242.841	586816.383	7381246.397	586830.314
ES-25	1.40	86	AFUERA	7381293.705	586813.465	7381293.799	586814.877
ES-26	0.45	32	AFUERA	7381354.048	586784.074	7381354.415	586784.306
SATA-7	0.28	46	AFUERA	7381385.618	586741.851	7381385.801	586742.044
SATA-6	0.35	37	AFUERA	7381414.218	586693.343	7381414.484	586693.547
ES-29	0.35	208	AFUERA	7381419.104	586697.661	7381418.789	586697.496
SATA-5	0.28	147	AFUERA	7381393.770	586757.048	7381393.538	586756.895
ES-32	0.16	186	AFUERA	7381388.779	586823.932	7381388.619	586823.916
ES-33	0.09	160	AFUERA	7381387.520	586836.811	7381387.437	586836.842
SATA-4	13.15	167	AFUERA	7381402.804	586905.495	7381389.999	586908.549
SATA-3	0.85	82	AFUERA	7381453.136	586920.009	7381453.247	586920.836
ES-36	0.25	85	AFUERA	7381452.191	586936.650	7381452.212	586936.877
ES-37	0.55	64	AFUERA	7381475.735	586910.109	7381475.967	586910.590
ES-38	3.60	73	AFUERA	7381528.129	586896.229	7381529.162	586899.662
SATA-2	0.35	208	AFUERA	7381482.221	586927.254	7381481.910	586927.089
ES-40	0.60	175	AFUERA	7381478.453	586957.870	7381477.852	586957.924
SATA-24 NE	0.05	180	AFUERA	7381472.679	587062.590	7381472.624	587062.590
SATA-8	45.45	69	AFUERA	7381323.256	586766.892	7381339.632	586809.306
SATA-10	39.15	70	AFUERA	7381137.846	586837.361	7381150.961	586874.269
SATA-16	7.70	356	AFUERA	7381064.208	587055.224	7381071.854	587054.754
SATA-17	35.55	306	AFUERA	7381050.974	587084.715	7381072.021	587056.048
ESX-1	1.90	306	AFUERA	7381311.178	587094.163	7381312.291	587092.653
ESX-2	6.80	296	AFUERA	7381072.329	586989.689	7381075.291	586983.537
ESX-3	27.25	68	AFUERA	7381206.513	586820.887	7381216.692	586846.179
ESX-4	1.00	166	AFUERA	7381387.413	586881.330	7381386.444	586881.576

Tabla N°4. Control estacas Laguna Saladita metodología SQM.

4.1.3. LAGUNA PUILAR

En figura N°6 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna. Se debe indicar que en esta laguna las estacas se encuentran en el canal y no en la laguna propiamente tal, por lo que el perímetro y área calculadas corresponden al canal.



Figura N°6. Estacas y perímetro de Laguna Puilar metodología SQM.

En tabla N°5 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología SQM.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
PUILAR	1462.865	1.463	19793.267	1.979

Tabla N°5. Cálculo de perímetro y área de Laguna Puilar metodología SQM.

Se debe indicar que en esta laguna todas las coordenadas teóricas de las estacas estaban desplazadas 418,65 metros en dirección noreste, esto debido a que se encontraban en otro sistema de referencia (Datum PSAD-56). Para los cálculos y dibujo se utilizaron las coordenadas levantadas en terreno con GPS doble frecuencia marca Trimble R4, método RTK, Datum WGS-84.

Además, desde la estaca PU-11 hasta PU-15 en terreno presentan otra nomenclatura, lo que significa que la estaca PU-11 en terreno indica 12, PU-12 indica 13, PU-13 indica 14, PU-14 indica 15 y PU-15 indica 16. Para este trabajo se utilizó nomenclatura teórica.

En tabla N°6 se entrega el control de estacas de Laguna Puilar utilizando metodología SQM, las coordenadas de las estacas corresponden a las levantadas en terreno.

CONTROL ESTACAS LAGUNA PUILAR METODO SQM								
ESTACA LISTADO	ID TERRENO	DH (m)	ANGULO (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
					NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
PU-1	PU-1	0.34	160	ADENTRO	7422497.716	587947.648	7422497.396	587947.764
PU-2	PU-2	1.28	193	ADENTRO	7422494.928	587994.407	7422493.685	587994.112
PU-3	PU-3	1.93	102	ADENTRO	7422547.648	588032.679	7422547.236	588034.561
PU-4	PU-4	2.24	62	ADENTRO	7422626.130	588053.147	7422627.182	588055.122
PU-5	PU-5	0.6	166	ADENTRO	7422694.711	588115.528	7422694.149	588115.671
PU-6	PU-6	0.34	170	AFUERA	7422709.259	588099.324	7422708.927	588099.381
PU-7	PU-7	0.1	271	ADENTRO	7422692.438	588037.115	7422692.439	588037.018
PU-8	PU-8	0.15	170	AFUERA	7422556.394	588018.169	7422556.248	588018.194
PU-9	PU-9	0.9	173	AFUERA	7422506.601	587934.498	7422505.719	587934.604
PU-10	PU-10	0.18	164	AFUERA	7422455.537	587756.374	7422455.361	587756.423
PU-11	PU-12	1.14	352	ADENTRO	7422428.008	587540.556	7422429.134	587540.397
PU-12	PU-13	0.78	172	ADENTRO	7422414.790	587537.822	7422414.023	587537.932
PU-13	PU-14	1.28	197	ADENTRO	7422392.492	587621.455	7422391.263	587621.088
PU-14	PU-15	3.13	135	ADENTRO	7422396.304	587697.817	7422394.091	587700.033
PU-15	PU-16	2.3	159	ADENTRO	7422454.945	587788.393	7422452.803	587789.212
PU-16	S/ID	3.4	335	ADENTRO	7422502.358	587940.652	7422505.928	587939.007

Tabla N°6. Control estacas Laguna Puilar metodología SQM.

4.1.4. LAGUNA CHAXA

En figura N°7 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna.

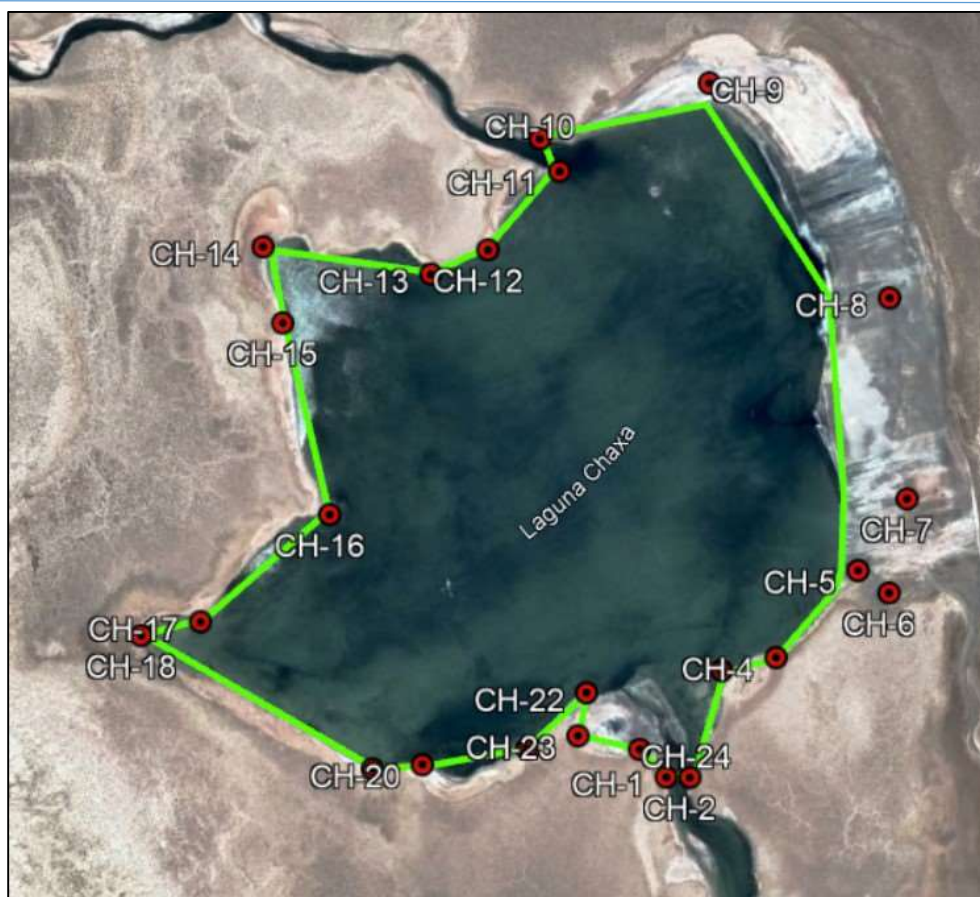


Figura N°7. Estacas y perímetro de Laguna Chaxa metodología SQM.

En tabla N°7 se entrega cálculo de perímetro y área usando la metodología SQM.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2396.534	2.397	277764.380	27.776

Tabla N°7. Cálculo de perímetro y área de Laguna Chaxa metodología SQM.

Se debe indicar que en esta laguna todas las coordenadas teóricas de las estacas estaban desplazadas 418,45 metros en dirección noreste, esto debido a que se encontraban en otro sistema de referencia (Datum PSAD-56). Para los cálculos y dibujo se utilizaron las coordenadas levantadas en terreno con GPS doble frecuencia marca Trimble R4, método RTK, Datum WGS-84.

En tabla N°8 se entrega el control de estacas de Laguna Chaxa utilizando metodología SQM, las coordenadas de las estacas corresponden a las levantadas en terreno.

CONTROL ESTACAS LAGUNA CHAXA METODO SQM							
ESTACA LISTADO	DH (m)	ANGULO (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
CH-1	0.28	249	ADENTRO	7419606.011	585230.956	7419605.913	585230.698
CH-2	2.76	92	ADENTRO	7419605.654	585253.961	7419605.579	585256.718
CH-3	5.58	174	ADENTRO	7419708.682	585285.301	7419703.134	585285.864
CH-4	0.68	155	ADENTRO	7419720.995	585338.466	7419720.381	585338.756
CH-5	17.52	270	AFUERA	7419804.572	585418.635	7419804.620	585401.111
CH-6	52.7	273	AFUERA	7419782.665	585448.773	7419785.663	585396.164
CH-7	62.84	273	AFUERA	7419873.452	585466.798	7419876.819	585404.045
CH-8	60	270	AFUERA	7420067.520	585450.858	7420067.520	585390.858
CH-9	22.4	191	AFUERA	7420276.243	585276.732	7420254.284	585272.269
CH-10	1.06	31	ADENTRO	7420223.146	585111.661	7420224.053	585112.209
CH-11	6.4	270	ADENTRO	7420191.741	585130.581	7420191.767	585124.196
CH-12	1.96	307	ADENTRO	7420116.303	585060.551	7420117.483	585058.989
CH-13	0.15	37	ADENTRO	7420093.126	585004.839	7420093.243	585004.927
CH-14	7.37	128	AFUERA	7420120.498	584841.843	7420116.007	584847.685
CH-15	0.3	81	AFUERA	7420046.840	584860.470	7420046.889	584860.769
CH-16	3.26	313	ADENTRO	7419861.511	584905.132	7419863.719	584902.738
CH-17	4	61	ADENTRO	7419758.658	584778.893	7419760.578	584782.400
CH-18	1.42	112	AFUERA	7419745.687	584721.085	7419745.151	584722.399
CH-19	0.42	194	ADENTRO	7419615.773	584945.341	7419615.374	584945.239
CH-20	3.52	187	ADENTRO	7419619.521	584993.877	7419616.023	584993.473
CH-21	0.4	146	ADENTRO	7419634.284	585095.650	7419633.947	585095.881
CH-22	1.05	181	ADENTRO	7419687.996	585153.877	7419686.950	585153.854
CH-23	0.94	216	ADENTRO	7419646.436	585145.371	7419645.680	585144.812
CH-24	1.68	194	ADENTRO	7419633.051	585205.173	7419631.422	585204.758

Tabla N°8. Control estacas Laguna Chaxa metodología SQM.

4.1.5. LAGUNA BARROS NEGROS

En figura N°8 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al borde de la laguna.

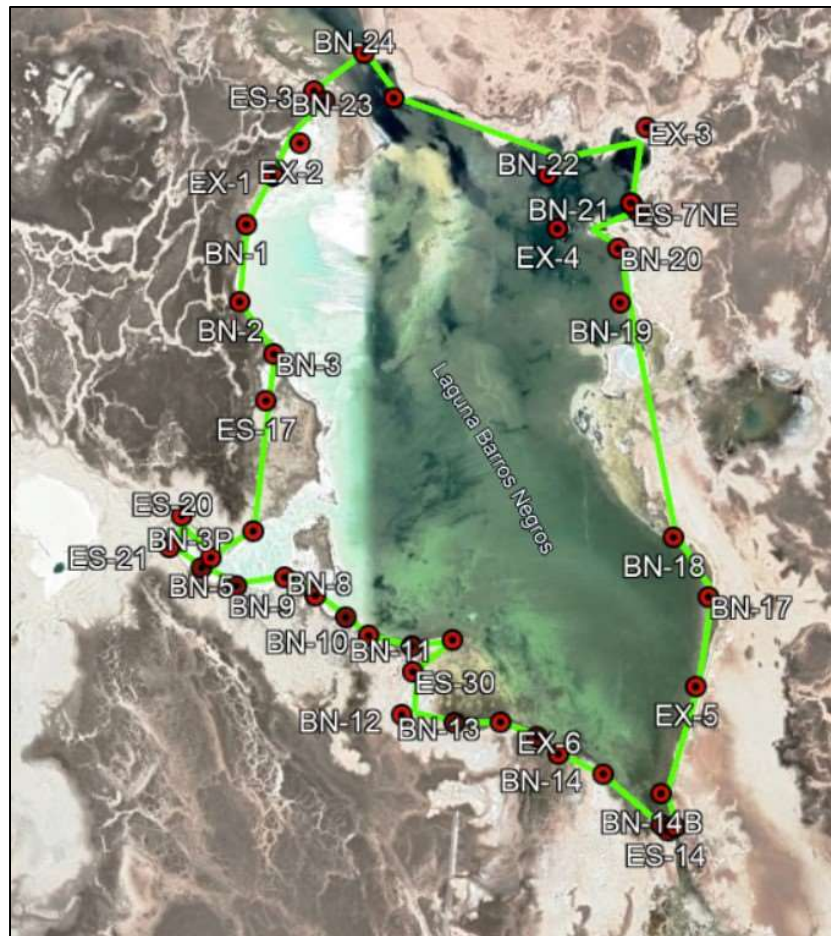


Figura N°8. Estacas y perímetro de Laguna Barros Negros metodología SQM.

En tabla N°9 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología SQM.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
BARROS NEGROS	5176.734	5.177	1063559.665	106.356

Tabla N°9. Cálculo de perímetro y área de Laguna Barros Negros metodología SQM.

Se debe indicar que en esta laguna no fueron encontradas las estacas ES-7 y ES-8, incorporándose de forma teórica en gabinete. Además, la estaca BN-14A teórica, en terreno dice 15.

En tabla N°10 se entrega el control de estacas de Laguna Barros Negros utilizando metodología SQM.

CONTROL ESTACAS LAGUNA BARROS NEGROS METODO SQM							
ESTACA LISTADO	DH (m)	ANGULO (°)	POSICION	ESTACAS		PUNTO BORDE LAGUNA	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
BN-1	0.12	273	ADENTRO	7416975.714	585803.916	7416975.721	585803.795
EX-1	7.15	229	ADENTRO	7417078.989	585861.619	7417074.297	585856.229
EX-2	25.7	304	ADENTRO	7417148.127	585919.889	7417162.465	585898.557
ES-2	1.36	248	ADENTRO	7417237.759	585973.180	7417237.243	585971.922
ES-3	1.1	224	ADENTRO	7417259.055	585950.221	7417258.252	585949.458
BN-24	0.22	82	ADENTRO	7417339.144	586058.137	7417339.175	586058.354
BN-23	11.18	110	ADENTRO	7417243.283	586121.082	7417239.453	586131.583
BN-22	46.7	42	ADENTRO	7417076.963	586449.915	7417111.810	586480.998
EX-3	36.6	203	AFUERA	7417177.452	586661.063	7417143.845	586646.596
BN-21	1.33	83	ADENTRO	7417016.891	586627.263	7417017.049	586628.585
ES-7 NE	1.17	277	AFUERA	7417014.394	586629.850	7417014.536	586628.688
ES-8 NE	0.85	282	AFUERA	7416998.874	586643.112	7416999.049	586642.278
BN-20	2.62	59	ADENTRO	7416920.513	586599.768	7416921.865	586602.015
EX-4	70.53	94	ADENTRO	7416963.360	586470.007	7416958.519	586540.375
BN-19	17.13	66	ADENTRO	7416804.832	586603.415	7416811.695	586619.112
BN-18	3.26	55	ADENTRO	7416305.100	586714.397	7416306.957	586717.078
BN-17	10.11	44	ADENTRO	7416177.917	586788.671	7416185.153	586795.738
EX-5	3.29	107	ADENTRO	7415987.383	586760.583	7415986.433	586763.732
BN-14B	10.5	106	ADENTRO	7415760.160	586684.878	7415757.256	586694.967
ES-14	1.28	29	ADENTRO	7415689.028	586714.787	7415690.155	586715.401
ES-36	1.32	229	ADENTRO	7415681.313	586698.535	7415680.451	586697.537
BN-14A	4.23	219	ADENTRO	7415693.750	586684.662	7415690.466	586682.001
BN-14	5.59	228	ADENTRO	7415802.288	586561.132	7415798.540	586556.987
BN-2	2.93	245	ADENTRO	7416811.519	585788.491	7416810.267	585785.842
BN-3	0.24	10	ADENTRO	7416700.124	585861.163	7416700.361	585861.206
ES-17	4.7	122	ADENTRO	7416600.631	585843.699	7416598.120	585847.679
BN-3P	1.04	351	ADENTRO	7416323.521	585814.812	7416324.545	585814.644
BN-5	0.92	17	ADENTRO	7416267.933	585724.078	7416268.812	585724.352
ES-20	23.19	183	AFUERA	7416357.054	585661.922	7416333.899	585660.654
ES-21	6.88	106	AFUERA	7416290.097	585635.187	7416288.247	585641.809
BN-6	1.64	92	AFUERA	7416246.228	585703.620	7416246.173	585705.258
BN-9	2.11	58	AFUERA	7416185.640	585947.059	7416186.752	585948.853
BN-7	2.54	14	AFUERA	7416207.298	585778.091	7416209.758	585778.724
BN-8	0.28	344	AFUERA	7416225.032	585881.637	7416225.306	585881.561
ES-26	1.32	164	ADENTRO	7416139.198	586012.064	7416137.927	586012.433
BN-10	4.01	178	ADENTRO	7416100.243	586060.492	7416096.236	586060.653
ES-28	2.05	148	ADENTRO	7416076.983	586153.121	7416075.252	586154.221
BN-11	5	196	ADENTRO	7416089.663	586240.156	7416084.846	586238.782
ES-30	6.15	87	AFUERA	7416022.385	586154.800	7416022.684	586160.947
ES-31	0.9	192	ADENTRO	7415913.669	586243.149	7415912.787	586242.960
BN-12	24.9	87	AFUERA	7415931.240	586130.682	7415932.624	586155.550
BN-13	3.71	191	ADENTRO	7415914.068	586341.923	7415910.427	586341.204
ES-33	0.52	201	ADENTRO	7415882.499	586419.868	7415882.012	586419.679
EX-6	29.57	295	ADENTRO	7415845.532	586465.582	7415858.034	586438.781

Tabla N°10. Control estacas Laguna Barros Negros metodología SQM.

4.2. METODOLOGÍA CONAF

Esta metodología incorpora la utilización de un centroide para cada laguna, obtenido del polígono resultante de la unión de sus estacas. Este centroide servirá como eje central al cual se debe unir líneas rectas desde cada estaca. Luego, estas líneas se cortarán a la distancia medida desde las estacas al borde más próximo, obteniendo puntos coordenados a esa distancia, pero en dirección al centroide. Estos nuevos puntos coordenados se unirán formando un polígono, del cual se obtendrá perímetro y área por laguna. El cálculo del centroide se hace en etapa de gabinete y se entrega en tabla N°11.

COORDENADAS CALCULADAS DE CENTROIDE		
LAGUNA	NORTE	ESTE
SALADA	7380486.250	587855.380
SALADITA	7381251.800	586945.700
PUILAR	7422510.320	587860.050
CHAXA	7419903.790	585117.510
BARROS NEGROS	7416517.060	586268.710

Tabla N°11. Cálculo de coordenadas de centroide para cada laguna utilizando metodología CONAF.

4.2.1. LAGUNA SALADA

En figura N°9 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.



Figura N°9. Estacas y perímetro de Laguna Salada metodología CONAF.

En tabla N°12 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología CONAF.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	3132.171	3.132	187136.430	18.714

Tabla N°12. Cálculo de perímetro y área de Laguna Salada método CONAF.

Se debe indicar que en esta laguna no fueron encontradas las estacas ES-7 y ES-24, las cuales corresponden a las estacas SA11 y ES-25 respectivamente. Además, se incorporaron las estacas ESX-1, ESX-2 y ESX-3 encontradas en terreno.

En tabla N°13 se entrega el control de estacas de Laguna Salada utilizando metodología CONAF.

CONTROL ESTACAS LAGUNA SALADA METODO CONAF						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
SA-1	1.26	AFUERA	7380741.235	587621.941	7380740.306	587622.792
SA-2	35.65	ADENTRO	7380809.210	587561.742	7380835.587	587537.760
SA-3	0.85	ADENTRO	7380764.196	587645.076	7380764.874	587644.563
SA-4	2.15	ADENTRO	7380751.504	587653.839	7380753.216	587652.538
SA-5	1.55	ADENTRO	7380745.077	587713.864	7380746.437	587713.120
SA-6	6.82	ADENTRO	7380709.498	587742.065	7380715.579	587738.978
ES-2	0.16	AFUERA	7380700.412	587814.050	7380700.255	587814.080
SA-7	2.12	AFUERA	7380695.774	587843.675	7380693.657	587843.793
SA-8	0.7	ADENTRO	7380699.890	587916.970	7380700.563	587917.164
SA-9	3.67	AFUERA	7380649.509	587967.862	7380646.487	587965.780
SA-10	1.53	ADENTRO	7380503.733	588094.877	7380503.844	588096.403
SA-11	0.6	ADENTRO	7380428.595	588163.175	7380428.485	588163.765
SA-12	0.42	AFUERA	7380401.854	588267.958	7380401.938	588267.547
SA-13	1.14	ADENTRO	7380333.128	588357.604	7380332.796	588358.694
SA-14	2.1	ADENTRO	7380328.959	588350.472	7380328.323	588352.473
SA-15	1.82	AFUERA	7380363.001	588262.455	7380363.528	588260.713
SA-16	0.47	AFUERA	7380431.287	588083.790	7380431.397	588083.333
SA-17	6.65	AFUERA	7380528.897	587956.476	7380531.482	587962.603
SA-18	0.77	AFUERA	7380601.630	587955.664	7380602.211	587956.169
ES-19	7.07	AFUERA	7380559.234	587940.340	7380554.627	587934.977
ES-20	3.17	AFUERA	7380532.502	587926.946	7380530.781	587924.284
ES-22	2.51	AFUERA	7380493.689	587910.850	7380493.355	587908.362
ESX-1	8.8	AFUERA	7380453.545	587910.278	7380458.049	587902.718
ES-25	7.36	AFUERA	7380367.153	587895.062	7380374.136	587892.735
SA-19	1.75	AFUERA	7380347.429	587883.684	7380349.144	587883.334
ES-27	2.8	AFUERA	7380289.637	587871.540	7380292.428	587871.311
ES-28	1.2	ADENTRO	7380257.630	587857.163	7380256.430	587857.172
ES-29	1.03	AFUERA	7380216.776	587843.968	7380217.805	587844.012
ESX-2	2.55	ADENTRO	7380185.158	587822.627	7380182.623	587822.351
SA-20	4.87	ADENTRO	7380161.548	587796.130	7380156.757	587795.256
SA-21	0.3	ADENTRO	7380180.613	587742.392	7380180.332	587742.288
SA-22	0.21	ADENTRO	7380186.978	587695.731	7380186.793	587695.632
ES-33	0.58	ADENTRO	7380221.250	587643.501	7380220.797	587643.139
ES-35	0.25	ADENTRO	7380251.694	587605.911	7380251.523	587605.729
SA-23	0.28	ADENTRO	7380277.441	587584.521	7380277.270	587584.299
SA-24	0.35	ADENTRO	7380311.382	587539.938	7380311.212	587539.632
ESX-3	0.2	ADENTRO	7380424.504	587606.488	7380424.456	587606.294
ES-39	1.6	AFUERA	7380480.293	587612.012	7380480.332	587613.612
SA-25	0.95	AFUERA	7380512.006	587576.371	7380511.919	587577.317
ES-41	0.37	AFUERA	7380507.363	587498.702	7380507.341	587499.071
ES-42	5	AFUERA	7380535.263	587489.800	7380534.599	587494.756
ES-43	0.4	AFUERA	7380546.729	587530.135	7380546.656	587530.528
ES-44	2	AFUERA	7380572.190	587613.020	7380571.522	587614.905
ES-45	0.22	AFUERA	7380566.975	587639.818	7380566.898	587640.024
SA-26	0.1	AFUERA	7380667.967	587654.360	7380667.900	587654.434
ES-47	0.6	AFUERA	7380672.529	587640.110	7380672.136	587640.564

Tabla N°13. Control estacas Laguna Salada metodología CONAF.

4.2.2. LAGUNA SALADITA

En figura N°10 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.

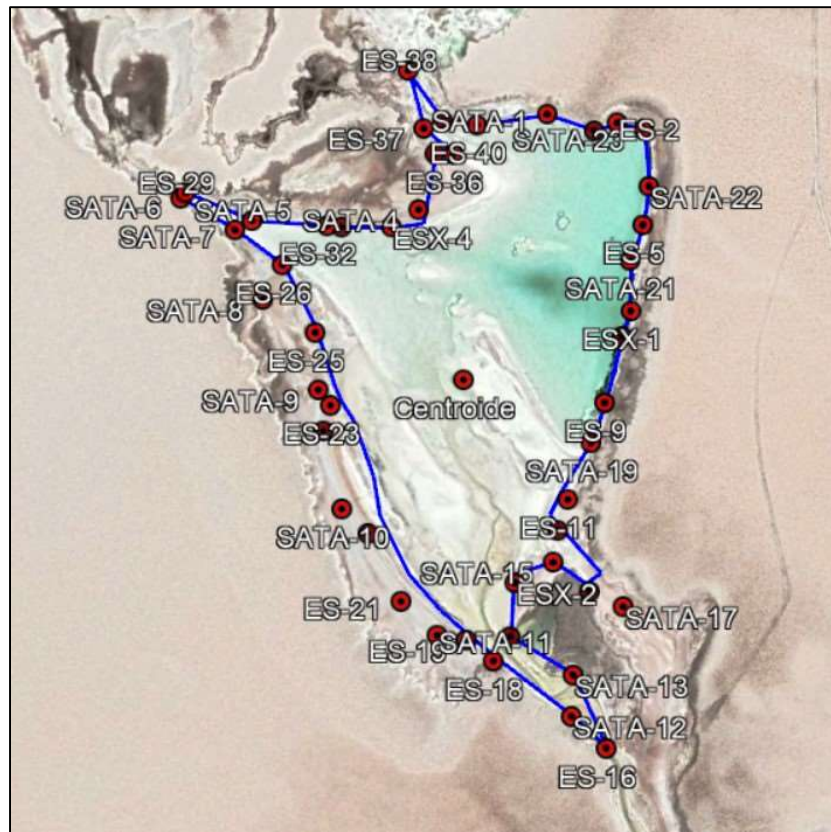


Figura N°10. Estacas y perímetro de Laguna Saladita metodología CONAF.

Tabla N°14 entrega cálculo de perímetro y área obtenido con el método CONAF.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADITA	1967.260	1.967	97299.563	9.730

Tabla N°14. Cálculo de perímetro y área Laguna Saladita método CONAF.

Se debe indicar que en esta laguna no fue encontrada la estaca SATA24-NE, la cual se incorporó de forma teórica en gabinete. Además, se encontraron en terreno cuatro estacas más, las cuales se denominaron ESX-1, ESX-2, ESX-3 y ESX-4.

En tabla N°15 se entrega el control de estacas de Laguna Saladita utilizando metodología CONAF.

CONTROL ESTACAS LAGUNA SALADITA METODO CONAF						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
SATA-1	0.90	AFUERA	7381488.059	587020.670	7381487.201	587020.398
ES-2	1.82	AFUERA	7381479.993	587083.094	7381478.434	587082.155
SATA-23	0.44	AFUERA	7381474.012	587106.763	7381473.656	587106.505
SATA-22	0.04	AFUERA	7381422.531	587110.996	7381422.502	587110.968
ES-5	0.10	AFUERA	7381387.880	587105.265	7381387.815	587105.189
SATA-21	0.45	ADENTRO	7381356.174	587093.536	7381356.434	587093.904
SATA-20	0.13	AFUERA	7381288.766	587085.966	7381288.733	587085.840
ES-9	0.35	ADENTRO	7381229.926	587069.921	7381229.865	587070.266
SATA-19	0.50	AFUERA	7381194.654	587057.540	7381194.882	587057.095
ES-11	9.65	AFUERA	7381144.949	587036.758	7381152.294	587030.499
SATA-18	15.50	AFUERA	7381117.885	587027.567	7381131.110	587019.482
SATA-15	0.50	AFUERA	7381090.138	587023.448	7381090.589	587023.231
SATA-14	0.20	AFUERA	7381025.187	586985.195	7381025.384	586985.161
SATA-13	0.27	AFUERA	7380991.643	587040.389	7380991.897	587040.297
ES-16	0.08	AFUERA	7380928.100	587068.847	7380928.175	587068.819
SATA-12	0.40	AFUERA	7380955.883	587038.616	7380956.265	587038.496
ES-18	4.30	AFUERA	7381004.334	586970.393	7381008.613	586969.966
ES-19	5.05	AFUERA	7381022.724	586946.670	7381027.774	586946.649
SATA-11	21.40	AFUERA	7381026.960	586921.222	7381048.234	586923.538
ES-21	23.70	AFUERA	7381056.648	586889.483	7381079.422	586896.043
ES-22	18.10	AFUERA	7381116.198	586860.374	7381131.518	586870.014
ES-23	9.80	AFUERA	7381229.092	586827.180	7381230.936	586836.805
SATA-9	14.40	AFUERA	7381242.841	586816.383	7381243.836	586830.749
ES-25	1.40	AFUERA	7381293.705	586813.465	7381293.282	586814.800
ES-26	0.45	AFUERA	7381354.048	586784.074	7381353.807	586784.454
SATA-7	0.28	AFUERA	7381385.618	586741.851	7381385.464	586742.085
SATA-6	0.35	AFUERA	7381414.218	586693.343	7381414.029	586693.637
ES-29	0.35	AFUERA	7381419.104	586697.661	7381418.908	586697.951
SATA-5	0.28	AFUERA	7381393.770	586757.048	7381393.602	586757.272
ES-32	0.16	AFUERA	7381388.779	586823.932	7381388.659	586824.038
ES-33	0.09	AFUERA	7381387.520	586836.811	7381387.450	586836.867
SATA-4	13.15	AFUERA	7381402.804	586905.495	7381390.097	586908.878
SATA-3	0.85	AFUERA	7381453.136	586920.009	7381452.293	586920.117
ES-36	0.25	AFUERA	7381452.191	586936.650	7381451.941	586936.661
ES-37	0.55	AFUERA	7381475.735	586910.109	7381475.192	586910.195
ES-38	3.60	AFUERA	7381528.129	586896.229	7381524.585	586896.863
SATA-2	0.35	AFUERA	7381482.221	586927.254	7381481.872	586927.282
ES-40	0.60	AFUERA	7381478.453	586957.870	7381477.854	586957.838
SATA-24 NE	0.05	AFUERA	7381472.679	587062.590	7381472.635	587062.567
SATA-8	45.45	AFUERA	7381323.256	586766.892	7381306.390	586809.097
SATA-10	39.15	AFUERA	7381137.846	586837.361	7381166.219	586864.336
SATA-16	7.70	AFUERA	7381064.208	587055.224	7381070.858	587051.342
SATA-17	35.55	AFUERA	7381050.974	587084.715	7381080.204	587064.481
ESX-1	1.90	AFUERA	7381311.178	587094.163	7381310.472	587092.399
ESX-2	6.80	AFUERA	7381072.329	586989.689	7381078.934	586988.070
ESX-3	27.25	AFUERA	7381206.513	586820.887	7381215.807	586846.503
ESX-4	1.00	AFUERA	7381387.413	586881.330	7381386.510	586881.759

Tabla N°15. Control estacas Laguna Saladita metodología CONAF.

4.2.3. LAGUNA PUILAR

En figura N°11 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.



Figura N°11. Estacas y perímetro de Laguna Puilar metodología CONAF.

En tabla N°16 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología CONAF.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
PUILAR	1455.319	1.455	18973.442	1.897

Tabla N°16. Cálculo de perímetro y área de Laguna Puilar metodología CONAF.

Se debe indicar que en esta laguna todas las coordenadas teóricas de las estacas estaban desplazadas 418,65 metros en dirección noreste, esto debido a que se encontraban en otro sistema de referencia (Datum PSAD-56). Para los cálculos y dibujo se utilizaron las coordenadas levantadas en terreno con GPS doble frecuencia marca Trimble R4, método RTK, Datum WGS-84.

Además, desde la estaca PU-11 hasta PU-15 en terreno presentan otra nomenclatura, lo que significa que la estaca PU-11 en terreno indica 12, PU-12

indica 13, PU-13 indica 14, PU-14 indica 15 y PU-15 indica 16. Para este trabajo se utilizó nomenclatura teórica.

En tabla N°17 se entrega el control de estacas de Laguna Puilar utilizando metodología CONAF, las coordenadas de las estacas corresponden a las levantadas en terreno.

CONTROL ESTACAS LAGUNA PUILAR METODO CONAF							
ESTACA LISTADO	ID TERRENO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
				NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
PU-1	PU-1	0.34	ADENTRO	7422497.716	587947.648	7422497.668	587947.985
PU-2	PU-2	1.28	ADENTRO	7422494.928	587994.407	7422495.074	587993.135
PU-3	PU-3	1.93	ADENTRO	7422547.648	588032.679	7422548.056	588034.565
PU-4	PU-4	2.24	ADENTRO	7422626.130	588053.147	7422627.282	588055.068
PU-5	PU-5	0.6	ADENTRO	7422694.711	588115.528	7422694.36	588115.041
PU-6	PU-6	0.34	AFUERA	7422709.259	588099.324	7422709.042	588099.063
PU-7	PU-7	0.1	ADENTRO	7422692.438	588037.115	7422692.366	588037.045
PU-8	PU-8	0.15	AFUERA	7422556.394	588018.169	7422556.352	588018.025
PU-9	PU-9	0.9	AFUERA	7422506.601	587934.498	7422506.556	587935.397
PU-10	PU-10	0.18	AFUERA	7422455.537	587756.374	7422455.453	587756.215
PU-11	PU-12	1.14	ADENTRO	7422428.008	587540.556	7422428.292	587541.66
PU-12	PU-13	0.78	ADENTRO	7422414.790	587537.822	7422415.012	587538.57
PU-13	PU-14	1.28	ADENTRO	7422392.492	587621.455	7422391.925	587620.307
PU-14	PU-15	3.13	ADENTRO	7422396.304	587697.817	7422398.104	587700.378
PU-15	PU-16	2.3	ADENTRO	7422454.945	587788.393	7422453.539	587786.573
PU-16	S/ID	3.4	ADENTRO	7422502.358	587940.652	7422502.692	587937.268

Tabla N°17. Control estacas Laguna Puilar metodología CONAF.

4.2.4. LAGUNA CHAXA

En figura N°12 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.



Figura N°12. Estacas y perímetro de Laguna Chaxa metodología CONAF.

En tabla N°18 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología CONAF.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
CHAXA	2393.505	2.394	276031.559	27.603

Tabla N°18. Cálculo de perímetro y área de Laguna Chaxa método CONAF.

Se debe indicar que en esta laguna todas las coordenadas teóricas de las estacas estaban desplazadas 418,45 metros en dirección noreste, esto debido a que se encontraban en otro sistema de referencia (Datum PSAD-56). Para los cálculos y dibujo se utilizaron las coordenadas levantadas en terreno con GPS doble frecuencia marca Trimble R4, método RTK, Datum WGS-84.

En tabla N°19 se entrega el control de estacas de Laguna Chaxa utilizando metodología CONAF, las coordenadas de las estacas corresponden a las levantadas en terreno.

CONTROL ESTACAS LAGUNA CHAXA METODO CONAF						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
CH-1	0.28	ADENTRO	7419606.011	585230.956	7419606.273	585230.856
CH-2	2.76	ADENTRO	7419605.654	585253.961	7419608.164	585252.812
CH-3	5.58	ADENTRO	7419708.682	585285.301	7419704.451	585288.939
CH-4	0.68	ADENTRO	7419720.995	585338.466	7419720.562	585338.990
CH-5	17.52	AFUERA	7419804.572	585418.635	7419810.055	585401.995
CH-6	52.7	AFUERA	7419782.665	585448.773	7419800.763	585399.278
CH-7	62.84	AFUERA	7419873.452	585466.798	7419878.890	585404.194
CH-8	60	AFUERA	7420067.520	585450.858	7420041.068	585397.003
CH-9	22.4	AFUERA	7420276.243	585276.732	7420255.646	585267.927
CH-10	1.06	ADENTRO	7420223.146	585111.661	7420222.086	585111.680
CH-11	6.4	ADENTRO	7420191.741	585130.581	7420198.134	585130.871
CH-12	1.96	ADENTRO	7420116.303	585060.551	7420118.196	585060.044
CH-13	0.15	ADENTRO	7420093.126	585004.839	7420093.255	585004.762
CH-14	7.37	AFUERA	7420120.498	584841.843	7420115.943	584847.637
CH-15	0.3	AFUERA	7420046.840	584860.470	7420046.694	584860.732
CH-16	3.26	ADENTRO	7419861.511	584905.132	7419860.875	584901.935
CH-17	4	ADENTRO	7419758.658	584778.893	7419760.234	584782.570
CH-18	1.42	AFUERA	7419745.687	584721.085	7419746.213	584722.404
CH-19	0.42	ADENTRO	7419615.773	584945.341	7419615.412	584945.126
CH-20	3.52	ADENTRO	7419619.521	584993.877	7419616.293	584992.473
CH-21	0.4	ADENTRO	7419634.284	585095.650	7419633.885	585095.618
CH-22	1.05	ADENTRO	7419687.996	585153.877	7419686.961	585154.051
CH-23	0.94	ADENTRO	7419646.436	585145.371	7419645.501	585145.472
CH-24	1.68	ADENTRO	7419633.051	585205.173	7419631.453	585205.691

Tabla N°19. Control estacas Laguna Chaxa metodología CONAF.

4.2.5. LAGUNA BARROS NEGROS

En figura N°13 se muestra ubicación de estacas y perímetro formado, uniendo la proyección desde las estacas al centroide de la laguna, manteniendo la medida con respecto al borde más cercano.

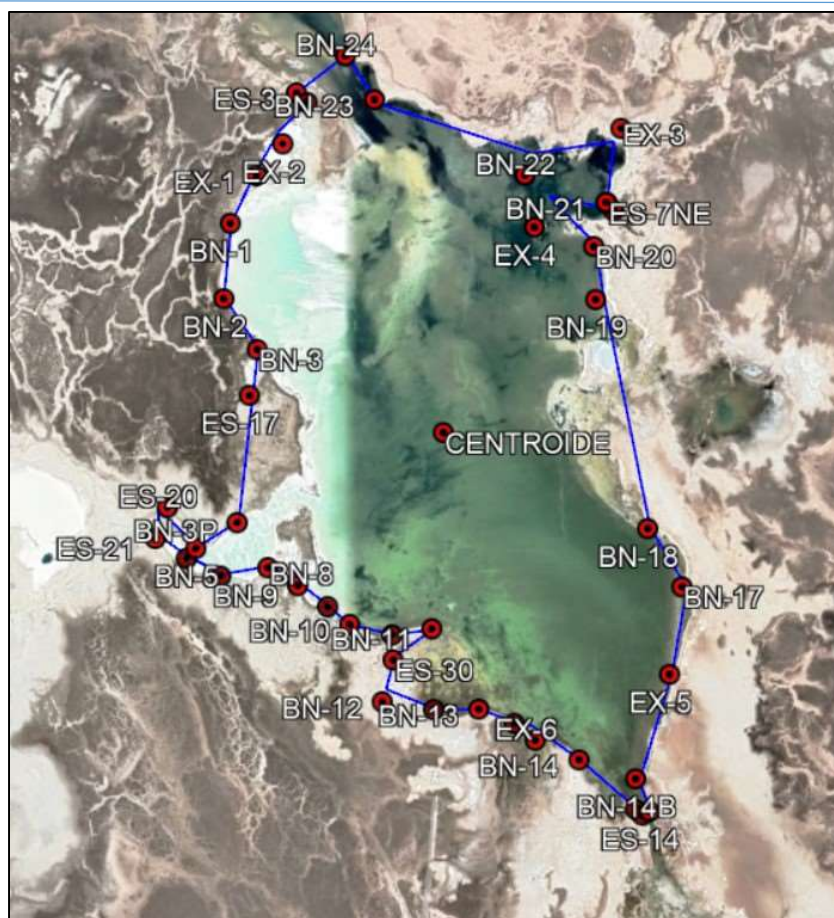


Figura N°13. Estacas y perímetro de Laguna Barros Negros metodología CONAF.

En tabla N°20 se entrega cálculo de perímetro y área obtenido con la metodología CONAF.

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
BARROS NEGROS	5346.164	5.346	1056467.275	105.647

Tabla N°20. Cálculo de perímetro y área de Laguna Barros Negros metodología CONAF.

Se debe indicar que en esta laguna no fueron encontradas las estacas ES-7 y ES-8, incorporándose de forma teórica en gabinete. Además, la estaca BN-14A teórica, en terreno dice 15.

En tabla N°21 se entrega el control de estacas de Laguna Barros Negros utilizando metodología CONAF.

CONTROL ESTACAS LAGUNA BARROS NEGROS METODO CONAF						
ESTACA LISTADO	DH (m)	POSICION	ESTACAS		PUNTO AL CENTROIDE	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
BN-1	0.12	ADENTRO	7416975.714	585803.916	7416975.798	585803.831
EX-1	7.15	ADENTRO	7417078.989	585861.619	7417084.779	585857.424
EX-2	25.7	ADENTRO	7417148.127	585919.889	7417170.620	585907.456
ES-2	1.36	ADENTRO	7417237.759	585973.180	7417236.501	585973.696
ES-3	1.1	ADENTRO	7417259.055	585950.221	7417258.044	585950.655
BN-24	0.22	ADENTRO	7417339.144	586058.137	7417338.931	586058.192
BN-23	11.18	ADENTRO	7417243.283	586121.082	7417232.327	586123.309
BN-22	46.7	ADENTRO	7417076.963	586449.915	7417121.394	586464.295
EX-3	36.6	AFUERA	7417177.452	586661.063	7417145.986	586642.369
BN-21	1.33	ADENTRO	7417016.891	586627.263	7417017.972	586628.038
ES-7 NE	1.17	AFUERA	7417014.394	586629.850	7417013.447	586629.163
ES-8 NE	0.85	AFUERA	7416998.874	586643.112	7416998.203	586642.590
BN-20	2.62	ADENTRO	7416920.513	586599.768	7416922.538	586601.430
EX-4	70.53	ADENTRO	7416963.360	586470.007	7417027.653	586499.005
BN-19	17.13	ADENTRO	7416804.832	586603.415	7416816.000	586616.404
BN-18	3.26	ADENTRO	7416305.100	586714.397	7416303.700	7416303.700
BN-17	10.11	ADENTRO	7416177.917	586788.671	7416172.394	586797.139
EX-5	3.29	ADENTRO	7415987.383	586760.583	7415984.972	586762.822
BN-14B	10.5	ADENTRO	7415760.160	586684.878	7415750.959	586689.937
ES-14	1.28	ADENTRO	7415689.028	586714.787	7415690.155	586714.180
ES-36	1.32	ADENTRO	7415681.313	586698.535	7415680.139	586699.139
BN-14A	4.23	ADENTRO	7415693.750	586684.662	7415689.974	586686.569
BN-14	5.59	ADENTRO	7415802.288	586561.132	7415797.114	586563.249
BN-2	2.93	ADENTRO	7416811.519	585788.491	7416813.051	585785.993
BN-3	0.24	ADENTRO	7416700.124	585861.163	7416700.222	585860.944
ES-17	4.7	ADENTRO	7416600.631	585843.699	7416599.724	585848.311
BN-3P	1.04	ADENTRO	7416323.521	585814.812	7416323.929	585815.769
BN-5	0.92	ADENTRO	7416267.933	585724.078	7416268.316	585724.915
ES-20	23.19	AFUERA	7416357.054	585661.922	7416351.141	585639.498
ES-21	6.88	AFUERA	7416290.097	585635.187	7416292.417	585641.664
BN-6	1.64	AFUERA	7416246.228	585703.620	7416246.937	585705.099
BN-9	2.11	AFUERA	7416185.640	585947.059	7416187.154	585948.529
BN-7	2.54	AFUERA	7416207.298	585778.091	7416208.654	585780.239
BN-8	0.28	AFUERA	7416225.032	585881.637	7416225.201	585881.861
ES-26	1.32	ADENTRO	7416139.198	586012.064	7416138.106	586011.322
BN-10	4.01	ADENTRO	7416100.243	586060.492	7416096.656	586058.700
ES-28	2.05	ADENTRO	7416076.983	586153.121	7416075.000	586152.600
BN-11	5	ADENTRO	7416089.663	586240.156	7416084.674	586239.823
ES-30	6.15	AFUERA	7416022.385	586154.800	7416028.378	586156.180
ES-31	0.9	ADENTRO	7415913.669	586243.149	7415912.770	586243.111
BN-12	24.9	AFUERA	7415931.240	586130.682	7415955.476	586136.392
BN-13	3.71	ADENTRO	7415914.068	586341.923	7415910.385	586342.370
ES-33	0.52	ADENTRO	7415882.499	586419.868	7415881.993	586419.988
EX-6	29.57	ADENTRO	7415845.532	586465.582	7415873.908	586457.263

Tabla N°21. Control estacas Laguna Barros Negros metodología CONAF.

Las unidades de medición utilizadas fueron:

- **Distancia Horizontal (m)** = metros lineales
- **Ángulo (°)** = grados sexagesimales
- **Perímetro (m)** = metros lineales
- **Perímetro (km)** = kilómetros
- **Área (m²)** = metros cuadrados
- **Área (ha)** = hectáreas

5. REGISTRO FOTOGRÁFICO

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

5.1. LAGUNA SALADA



Fotografías N°1 y 2. Medición de estacas en Laguna Salada

5.2. LAGUNA SALADITA



Fotografías N°3 a 5. Medición de estacas en Laguna Saladita

5.3. LAGUNA PUILAR



Fotografías N°6 a 8. Medición de estacas en Laguna PUILAR

5.4. LAGUNA CHAXA



Fotografías N°9 a 11. Levantamiento Laguna Chaxa

5.5. LAGUNA BARROS NEGROS



Fotografías N°12 a 14. Levantamiento Laguna Barros Negros

6. CONCLUSIÓN

A partir del levantamiento topográfico realizado a las superficies lacustres del Salar de Atacama se debe indicar que:

- Se observó gran presencia de flamencos en lagunas Salada, Saladita, Interna, Puilar y Chaxa, lo cual produjo que la caminata por el borde del agua fuese lenta y pausada para evitar el vuelo de las aves fuera de las lagunas.
- Las condiciones ambientales de los días de las mediciones fueron favorables, con cielo despejado y sin viento.
- Con respecto a las metodologías de SQM y CONAF utilizadas para este levantamiento, se debe señalar que no representan fielmente el perímetro de cada laguna, ya que no cubre la totalidad de la superficie a levantar.
- En cuanto a la medición en Laguna Puilar, los valores calculados corresponden al canal y no a la laguna propiamente tal, ya que las estacas están instaladas en el canal, fuera de los límites de la laguna indicados por CONAF.
- En todas las tablas entregadas en este informe se utilizaron las coordenadas de estacas levantadas en terreno.
- Se debe indicar que para el cálculo de perímetro y área utilizando la metodología SQM, los resultados se entregan en la siguiente tabla resumen:

CALCULO DE PERIMETRO Y AREA METODO SQM				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	3125.430	3.125	186380.201	18.638
SALADITA	1980.673	1.981	95245.588	9.525
PUILAR	1462.865	1.463	19793.267	1.979
CHAXA	2396.534	2.397	277764.380	27.776
BARROS NEGROS	5176.734	5.177	1063559.665	106.356

- Utilizando la metodología CONAF, se obtuvieron las siguientes coordenadas de centroides:

COORDENADAS CALCULADAS DE CENTROIDE		
LAGUNA	NORTE	ESTE
SALADA	7380486.250	587855.380
SALADITA	7381251.800	586945.700
PUILAR	7422510.320	587860.050
CHAXA	7419903.790	585117.510
BARROS NEGROS	7416517.060	586268.710

- 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 METODO CONAF				
LAGUNA	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	3132.171	3.132	187136.430	18.714
SALADITA	1967.260	1.967	97299.563	9.730
PUILAR	1455.319	1.455	18973.442	1.897
CHAXA	2393.505	2.394	276031.559	27.603
BARROS NEGROS	5346.164	5.346	1056467.275	105.647

7. SUGERENCIAS

A partir del levantamiento topográfico realizado a las superficies lacustres del Salar de Atacama se sugiere considerar los siguientes aspectos:

- Coordinar visita de reconocimiento a las lagunas, previa a la realización del levantamiento, para evaluar las condiciones del terreno, vías de acceso a la laguna y fauna existente.
- Para la próxima medición de estacas se recomienda la utilización de equipos GPS doble frecuencia con método RTK, con el cual se obtienen coordenadas, distancia y ángulos precisos, disminuyendo el tiempo de ejecución en terreno y logrando óptimos resultados.
- Se recomienda usar constantemente jardinera con botas de agua de PVC en la caminata por las lagunas, aplicarse bloqueador solar con protección UV, beber abundante líquido para hidratarse, usar gorro legionario con cubrenuca, antiparras oscuras y polera manga larga, todos con protección UV.

8. ANEXOS

El informe de Levantamiento de Superficies Lacustres contempla archivos digitales, los cuales fueron cargados en carpeta compartida de plataforma SQM denominada "5_LICITACION LACUSTRE 2022". Estos archivos digitales contienen toda la información del trabajo realizado, los cuales son:

- Archivos DXF
- Archivos KML
- Archivos KMZ
- Archivos CSV
- Archivos QGIS
- Archivos SHAPE

Anexo 10.4


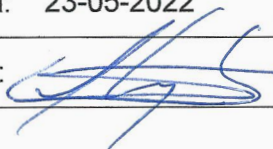
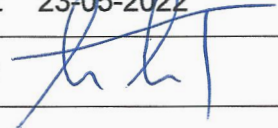
- Informe levantamiento perímetro lagunar - RTK

Informe Topográfico:
SL-00-IT-0001_REV.1

**“Levantamiento de Superficies Lacustres
metodología RTK año 2022”**

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

Lunes, 23 de mayo de 2022

ATyGeo	ATyGeo	
Nombre: Cristian Trigo T.	Nombre: Verónica Villalobos R.	Nombre:
Fecha: 23-05-2022	Fecha: 23-05-2022	Fecha:
Firma: 	Firma: 	Firma:



1. INTRODUCCION

El presente informe entrega los resultados obtenidos en la realización del Servicio de levantamiento topográfico de superficies lacustres del Salar de Atacama 2022, utilizando metodología RTK.

2. OBJETIVO

Realizar levantamiento topográfico de superficies lacustres de Salar de Atacama, ubicado a 316 km al noreste de la ciudad de Antofagasta y a 55 km al sur de la localidad de San Pedro de Atacama. En figura N°1 se muestra ubicación general de superficies lacustres levantadas.



Figura N°1. Ubicación general superficies lacustres

3. DESCRIPCION DEL TRABAJO

El servicio consistió en realizar un levantamiento topográfico de las superficies lacustres de lagunas Salada, Saladita, Interna, Puilar, Chaxa, Barros Negros y Desbordes Sur. El levantamiento se realizó entre los días 11 y 27 de abril de 2022. La brigada topográfica estuvo conformada por un ingeniero geomensor y un topógrafo, acompañada por ITO SQM, veedores de Comunidad Atacameña de

Peine (Lagunas Salada, Saladita e Interna), veedores de Comunidad Atacameña de Toconao y veedor CONAF (Lagunas Puilar, Chaxa y Barros Negros).

Para realizar las mediciones se utilizó equipos GPS doble frecuencia marca Trimble modelo R4, Datum WGS-84 y método RTK con el cual se obtienen las coordenadas en tiempo real.

Los levantamientos se georreferenciaron a los hitos entregados por el cliente. Se instaló equipo GPS en Hito Base y chequeó Hito Calaje. Las coordenadas de los hitos y diferencias obtenidas en chequeo de calajes se indican en tabla N°1.

HITOS SUPERFICIES LACUSTRES							
LAGUNA	HITO	COORDENADAS			DIFERENCIAS		
		NORTE	ESTE	ELEVACION	NORTE	ESTE	ELEVACION
SALADA	BASE	7380721.712	587586.033	2301.560			
	CALAJE	7380722.621	587563.036	2301.759	-0.012	0.012	0.021
SALADITA	BASE	7381496.974	587019.473	2301.041			
	CALAJE	7381497.188	587029.253	2301.311	0.001	0.002	-0.012
INTERNA	BASE	7382059.180	586707.058	2301.021			
	CALAJE	7382066.430	586837.173	2300.883	0.008	0.011	-0.035
PUILAR	BASE	7422471.405	587947.849	2301.501			
	CALAJE	7422420.882	588051.938	2301.418	0.029	0.044	-0.039
CHAXA	BASE	7419603.762	585210.964	2300.520			
	CALAJE	7419566.142	585204.185	2300.516	0.020	0.032	0.009
BARROS NEGROS	BASE	7416987.443	585776.496	2300.342			
	CALAJE	7416980.944	585737.514	2300.477	-0.066	-0.101	0.135
DESBORDES SUR	POZO L2-15	7414216.521	587447.081	2300.618			

Tabla N°1. Hitos para georreferenciar levantamiento de superficies lacustres

De este chequeo se puede indicar que la mayor diferencia encontrada fue en el hito calaje Barros Negros, el cual se encuentra con una inclinación no observada en el certificado. Hito Barros Negro Calaje se muestra en figura N°2.



Figura N°2. Hito Barros Negro Calaje.

Se debe considerar que se encontraron sectores cercanos a los hitos de referencia con presencia de humedad y zonas de hundimiento, recomendando medir nuevamente cada uno de ellos y, de ser necesario, construir nuevos hitos para asegurar futuras mediciones.

Los levantamientos de las superficies lacustres se realizaron caminando por el borde de cada laguna, midiendo puntos a 6 metros entre ellos y, en algunos casos, a menor distancia de tal manera de representar lo más exacto el terreno existente.

A continuación, se detalla el levantamiento topográfico realizado en cada laguna:

3.1. LAGUNA SALADA

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 15 minutos, siendo este terreno mixto, entre costra salina alta de difícil acceso y costra salina baja, el cual se debe realizar con precaución para evitar caídas del personal y de los equipos que se transportan.

Ya en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. El borde de esta laguna es lodoso, con sectores de baja profundidad, pero otros donde caminar se hace dificultoso, haciendo necesario el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento. En el sector más lodoso se encontraron tres islas las cuales no fueron levantadas, sólo incluyéndolas de manera aproximada, obteniendo sus mediciones en Google Earth.

En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Peine indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que volaran fuera de la laguna. A continuación, en figura N°3 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Salada.



Figura N°3. Laguna Salada

3.2. LAGUNA SALADITA

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 15 minutos, siendo este terreno de costra salina alta de difícil acceso, el cual se debe realizar con extrema precaución para evitar caídas, considerando también que se transporta equipo topográfico.

Ya en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. El borde de esta laguna es lodoso de baja profundidad, siendo sugerido el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento. La mayor precaución se debe tener en el sector norte de la laguna, donde se encuentra terreno de costra salina quebradiza.

En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Peine indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que estos volaran fuera de la laguna.

A continuación, en figura N°4 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Saladita.

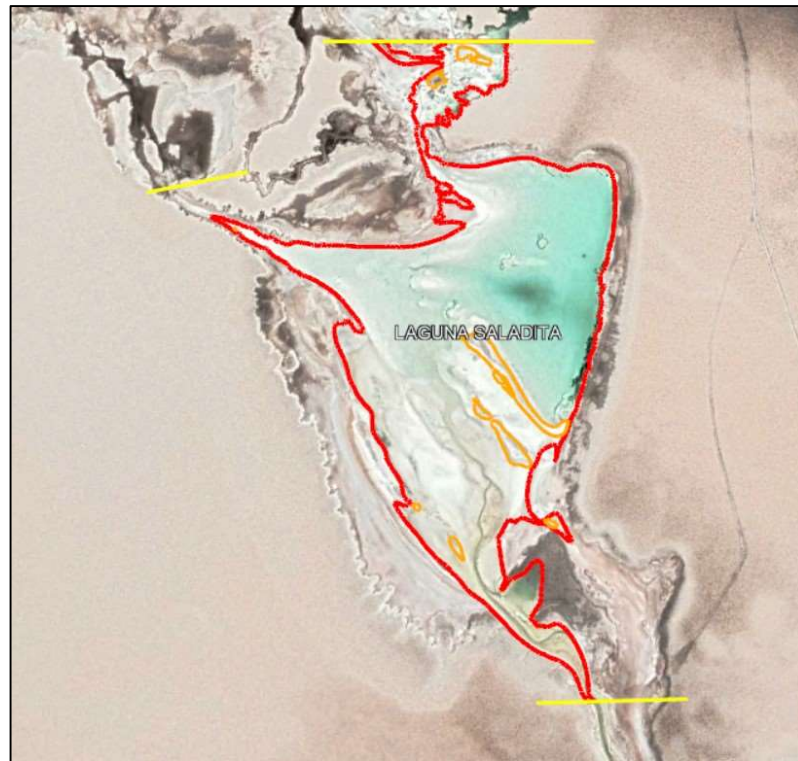


Figura N°4. Laguna Saladita

3.3. LAGUNA INTERNA

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 10 minutos, siendo este terreno de costra salina baja, el cual se debe realizar con precaución para evitar caídas personales y de equipos topográficos.

Ya en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. Esta laguna es de forma alargada semejante a un río, teniendo un borde irregular, en parte lodoso, terreno firme y otra quebradizo, siendo sugerido el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento. La mayor precaución que se debe tener en el sector, sobre todo en el costado noreste de la laguna, es la presencia de muchos hoyos en la costra salina, lo que puede provocar accidentes cuando se pasa por el lugar.

En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos ubicados en la laguna central, lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Peine indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que estos volaran fuera de la laguna.

A continuación, en figura N°5 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Interna.

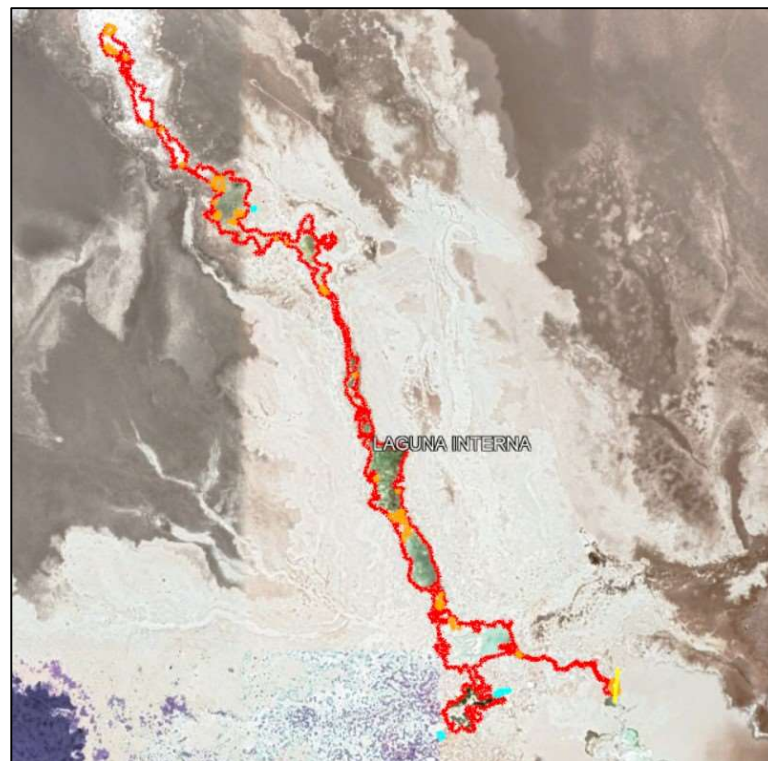


Figura N°5. Laguna Interna

3.4. LAGUNA PUILAR

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 10 minutos, siendo el terreno de costra salina baja y resbaladiza, el traslado se debe realizar con precaución para evitar caídas, teniendo en cuenta que se transporta equipo topográfico.

Posicionado en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro.

El borde de esta laguna es lodoso de baja profundidad, siendo sugerido el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento. La mayor precaución se debe tener en el sector norte de la laguna, donde es lodoso, sin mucha profundidad. En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Toconao y el veedor de CONAF indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que estos volaran fuera de la laguna.

A continuación, en figura N°6 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Puilar, perímetro indicado de color rojo y límites de color amarillo.



Figura N°6. Laguna Puilar

3.5. LAGUNA CHAXA

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 20 minutos, siendo este terreno de costra salina alta de difícil acceso, el cual se debe realizar con extrema precaución para evitar caídas, teniendo en cuenta que se transporta equipo topográfico.

Ya en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. El borde

de esta laguna es lodoso, con sectores de baja profundidad, pero otros donde caminar se hace dificultoso, haciendo necesario el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento. El sector más complicado de medir fue el costado Noreste de la laguna, con mucho lodo donde no se podía caminar. Por esto, un tramo de 120m. aproximado no fue levantado, sólo logrando medir puntos intermedios en el sector a una mayor distancia.

En la fecha que se realizó el levantamiento, había una gran cantidad de flamencos lo cual dificultó la medición. Los veedores de la Comunidad Atacameña de Toconao y el veedor de CONAF indicaron que las caminatas debían ser lentas y pausadas, silenciando el celular, de tal manera de no alterar a los flamencos y evitando que estos volaran fuera de la laguna.

A continuación, en figura N°7 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Chaxa.



Figura N°7. Laguna Chaxa

3.6. LAGUNA BARROS NEGROS

Para acceder a esta laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 40 minutos, siendo este terreno de costra salina alta e irregular de difícil acceso, el cual se debe realizar con extrema precaución para evitar caídas, teniendo en cuenta que se transporta equipo topográfico. Se debe señalar que el ingreso a esta laguna

es el más complicado, ya que presenta variaciones de altura en la costra salina, lo que puede provocar caídas.

Ya en la laguna, se instala equipo GPS en hito base y con GPS móvil se chequea el hito calaje. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. El borde de esta laguna es lodoso, con sectores de baja profundidad, pero otros donde caminar se hace dificultoso, haciendo necesario el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento.

Debido a la cantidad de días de permiso para acceder a esta laguna, la instrucción fue dar prioridad a tres zonas específicas, las cuales no se habían levantado el año anterior.

En la fecha que se realizó el levantamiento, no había presencia de flamencos en el sector lo que facilitó el trabajo.

A continuación, en figura N°8 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Barros Negros.



Figura N°8. Laguna Barros Negros

3.7. LAGUNA DESBORDES SUR DE BARROS NEGROS

En esta laguna, se instala equipo GPS base en pozo L2-15, el cual está ubicado al costado del camino. Para acceder a la laguna se debe recorrer un tramo a pie de aproximadamente 5 minutos, siendo este terreno de costra salina baja, el cual se debe realizar con precaución para evitar caídas. El levantamiento se realiza caminando por el borde de la laguna, tomando puntos cada 6m. o menos, dependiendo de la forma del perímetro. El borde de esta laguna es irregular, lodoso en algunos sectores, con contra salina alta y quebradiza en otros, encontrando muchas pozas e islas, lo que tomó más tiempo en levantar. Del levantamiento realizado se pudo determinar que se encontraron 115 pozas y 28 islas. Por lo variado del terreno, se hace necesario el uso de jardineras con botas de agua de PVC en todo momento.

En la fecha que se realizó el levantamiento, no había presencia de flamencos en el sector lo que facilitó el trabajo.

A continuación, en figura N°9 se presenta una imagen general del levantamiento perimetral de Laguna Desbordes Sur de Barros Negros.

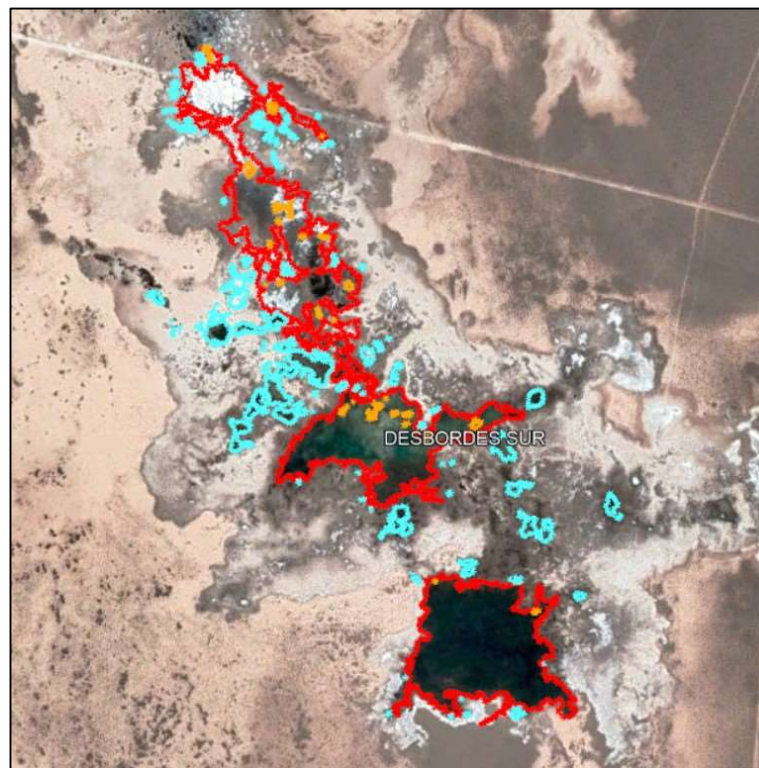


Figura N°9. Laguna Desbordes Sur de Barros Negros

Posteriormente, en trabajo de gabinete se procedió a dibujar y calcular los perímetros y áreas de cada laguna, para ello se utilizó software AutoCAD Civil 3D, haciendo todos los cálculos y generando archivos DXF, los cuales fueron utilizados en software QGIS, donde se generaron archivos SHAPE y KML. Con estos archivos, y en Google Earth se generaron archivos KMZ.

Se debe indicar que para el cálculo de perímetro sólo se considera el borde de las lagunas, sin incluir pozas ni descontar islas. Mientras que, para el cálculo de área, se considera el área total de la laguna, sumando área de pozas y restando área de islas.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

En tabla N° 2 se entregan los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos realizados a cada laguna.

PERIMETROS Y AREAS DE SUPERFICIES LACUSTRES 2022					
LAGUNA	SECTOR	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	PERIMETRO	4304.615	4.305	200749.357	20.075
	3 ISLAS	136.700	0.137	324.400	0.032
	TOTAL	4304.615	4.305	200424.957	20.042
SALADITA	PERIMETRO	3219.339	3.219	101397.790	10.140
	12 ISLAS	962.051	0.962	3450.715	0.345
	TOTAL	3219.339	3.219	97947.075	9.795
INTERNA	PERIMETRO	11456.056	11.456	111542.235	11.154
	4 POZAS	233.750	0.234	640.688	0.064
	30 ISLAS	1541.784	1.542	3356.968	0.336
	TOTAL	11456.056	11.456	108825.955	10.883
PUILAR	PERIMETRO	2013.724	2.014	64647.749	6.465
	3 ISLAS	45.279	0.045	32.341	0.003
	TOTAL	2013.724	2.014	64615.408	6.462
CHAXA	PERIMETRO	2895.119	2.895	289634.338	28.963
	TOTAL	2895.119	2.895	289634.338	28.963
BARROS NEGROS	ZONA 1	324.931	0.325	3436.524	0.344
	ZONA 2	1289.71	1.290	26151.404	2.615
	ZONA 3	1211.336	1.211	31062.285	3.106
	1 POZA	142.729	0.143	552.748	0.055
	TOTAL	2825.977	2.826	61202.961	6.120
DESBORDES SUR	PERIMETRO 1	10025.545	10.026	87090.353	8.709
	PERIMETRO 2	2541.729	2.542	45928.821	4.593
	115 POZAS	7732.076	7.732	23517.203	2.352
	28 ISLAS	1220.655	1.221	1797.657	0.180
	TOTAL	12567.274	12.567	154738.720	15.474

Tabla N°2. Perímetros y áreas de superficies lacustres 2022

Las unidades de medición utilizadas fueron:

- **Perímetro (m)** = metros lineales
- **Perímetro (km)** = kilómetros
- **Área (m²)** = metros cuadrados
- **Área (ha)** = hectáreas

5. REGISTRO FOTOGRÁFICO

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



Fotografía N°1. Personal ATyGeo, ITO SQM y veedores de la Comunidad Atacameña de Peine.



Fotografía N°2. Personal ATyGeo y veedor de CONAF en Laguna Barros Negros.

5.1. LAGUNA SALADA



Fotografías N°3 a 5. Levantamiento Laguna Salada

5.2. LAGUNA SALADITA



Fotografías N°6 a 8. Levantamiento Laguna Saladita

5.3. LAGUNA INTERNA



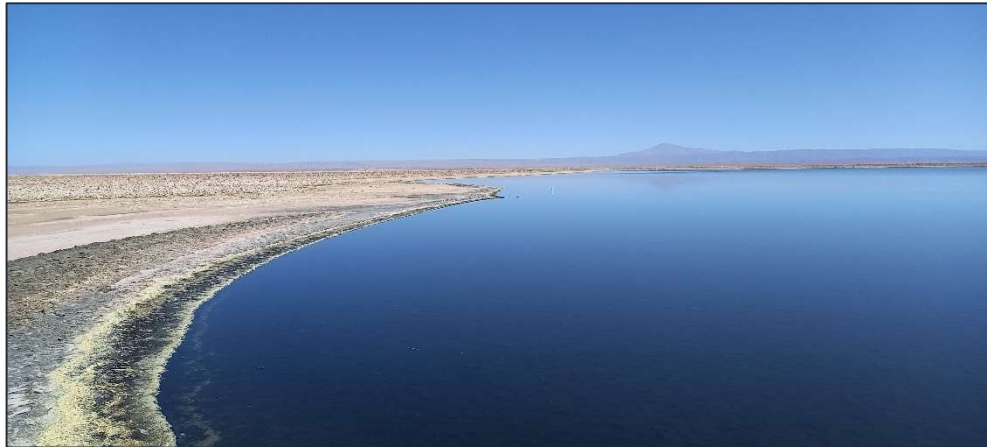
Fotografías N°9 a 11. Levantamiento Laguna Interna

5.4. LAGUNA PUILAR



Fotografías N°12 a 14. Levantamiento Laguna Puilar

5.5. LAGUNA CHAXA



Fotografías N°15 a 17. Levantamiento Laguna Chaxa

5.6. LAGUNA BARROS NEGROS



Fotografías N°18 a 20. Levantamiento Laguna Barros Negros

5.7. LAGUNA DESBORDES SUR DE BARROS NEGROS



Fotografías N°21 a 23. Levantamiento Laguna Desbordes Sur de Barros Negros

6. CONCLUSIÓN

A partir del levantamiento topográfico realizado a las superficies lacustres del Salar de Atacama se concluye que:

- Se observó gran presencia de flamencos en lagunas Salada, Saladita, Interna, Puilar y Chaxa, lo cual produjo que la caminata por el borde del agua fuese lenta y pausada para evitar el vuelo de las aves fuera de las lagunas.
- Las condiciones ambientales de los días de las mediciones fueron favorables, con cielo despejado y sin viento.
- Se debe indicar que para el cálculo de perímetro sólo se considera el borde de las lagunas, sin incluir pozas ni descontar islas. Mientras que, para el cálculo de área, se considera el área total de la laguna, sumando área de pozas y restando área de islas
- Los valores de medición de perímetro y área se indican en la siguiente tabla:

PERIMETROS Y AREAS DE SUPERFICIES LACUSTRES 2022					
LAGUNA	SECTOR	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (km)	AREA (m2)	AREA (ha)
SALADA	PERIMETRO	4304.615	4.305	200749.357	20.075
	3 ISLAS	136.700	0.137	324.400	0.032
	TOTAL	4304.615	4.305	200424.957	20.042
SALADITA	PERIMETRO	3219.339	3.219	101397.790	10.140
	12 ISLAS	962.051	0.962	3450.715	0.345
	TOTAL	3219.339	3.219	97947.075	9.795
INTERNA	PERIMETRO	11456.056	11.456	111542.235	11.154
	4 POZAS	233.750	0.234	640.688	0.064
	30 ISLAS	1541.784	1.542	3356.968	0.336
	TOTAL	11456.056	11.456	108825.955	10.883
PUILAR	PERIMETRO	2013.724	2.014	64647.749	6.465
	3 ISLAS	45.279	0.045	32.341	0.003
	TOTAL	2013.724	2.014	64615.408	6.462
CHAXA	PERIMETRO	2895.119	2.895	289634.338	28.963
	TOTAL	2895.119	2.895	289634.338	28.963
BARROS NEGROS	ZONA 1	324.931	0.325	3436.524	0.344
	ZONA 2	1289.71	1.290	26151.404	2.615
	ZONA 3	1211.336	1.211	31062.285	3.106
	1 POZA	142.729	0.143	552.748	0.055
	TOTAL	2825.977	2.826	61202.961	6.120
DESBORDES SUR	PERIMETRO 1	10025.545	10.026	87090.353	8.709
	PERIMETRO 2	2541.729	2.542	45928.821	4.593
	115 POZAS	7732.076	7.732	23517.203	2.352
	28 ISLAS	1220.655	1.221	1797.657	0.180
	TOTAL	12567.274	12.567	154738.720	15.474

7. SUGERENCIAS

A partir del levantamiento topográfico realizado a las superficies lacustres del Salar de Atacama se sugiere considerar los siguientes aspectos:

- Coordinar visita de reconocimiento a las lagunas, previa a la realización del levantamiento, para evaluar las condiciones del terreno, vías de acceso a la laguna y fauna existente.
- Se recomienda medición geodésica de los Hitos de referencia de cada laguna, con el fin de actualizar sus coordenadas, y la monumentación de otros nuevos en los sectores que se requieran, sobre todo por la presencia de humedad cercana a algunos de ellos, y con el fin de asegurar futuros levantamientos.
- Se recomienda usar constantemente jardinera con botas de agua de PVC en la caminata por las lagunas, aplicarse bloqueador solar con protección UV, beber abundante líquido para hidratarse, usar gorro legionario con cubrenuca, antiparras oscuras y polera manga larga, todos con protección UV.

8. ANEXOS

El informe de Levantamiento de Superficies Lacustres contempla archivos digitales, los cuales fueron cargados en carpeta compartida de plataforma SQM denominada "5_LICITACION LACUSTRE 2022". Estos archivos digitales contienen toda la información del trabajo realizado, los cuales son:

- Archivos DXF
- Archivos KML
- Archivos KMZ
- Archivos CSV
- Archivos QGIS
- Archivos SHAPE