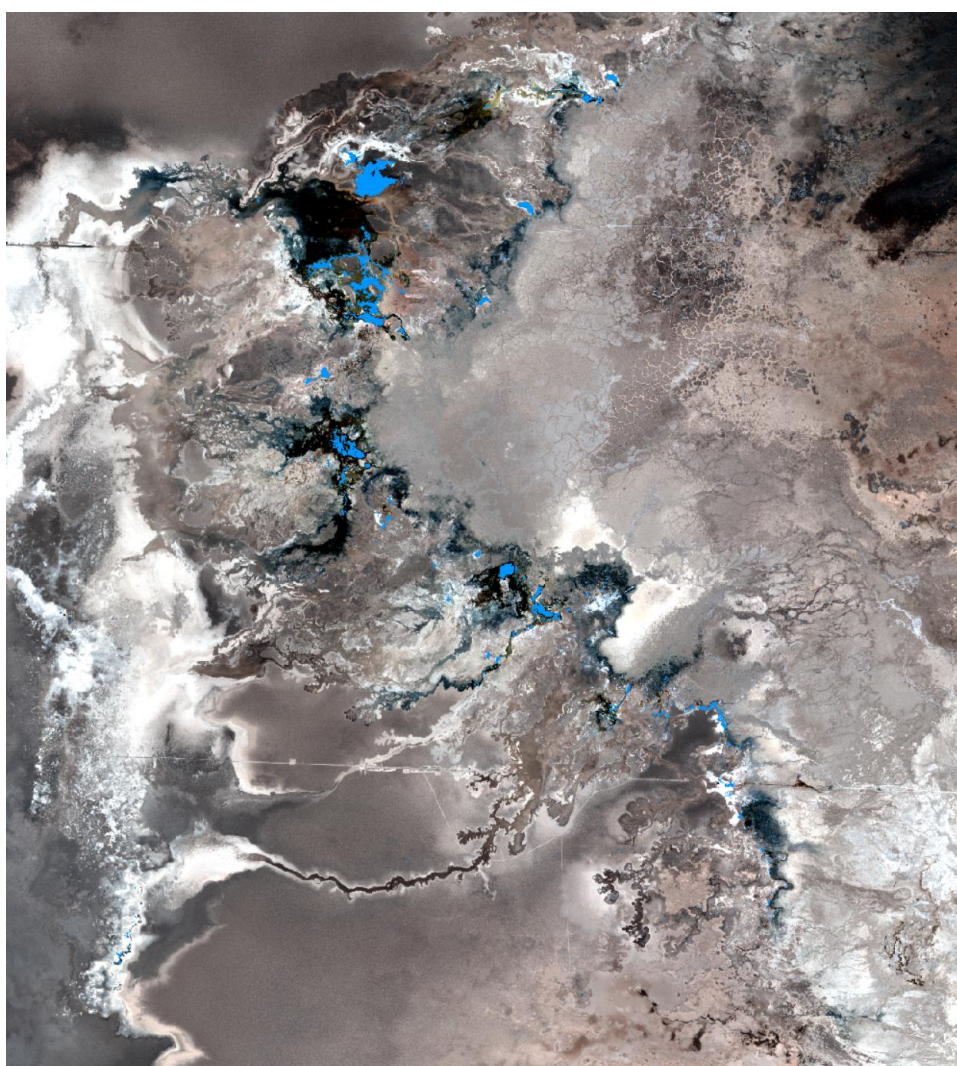

MAPEO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES EN AGUAS DE QUELANA SALAR DE ATACAMA

José Manuel Lattus – SRGIS Geología y Geomática Ltda.



Santiago de Chile

Abril 2026

ÍNDICE

ÍNDICE	1
1. RESUMEN	3
2. INTRODUCCIÓN	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	4
3.2 MATERIALES Y SOFTWARE	5
3.3 METODOLOGÍA	5
3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital	6
3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia)	7
3.3.3 Cálculo de Índices, características espectrales y sus consideraciones (NDWI, NDWI _R y SAVI)	8
3.3.4 Clasificación Binaria	10
3.3.5 Pan-Sharpening (Fusión Imagen Multiespectral con Banda Pancromática)	10
3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento	10
3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas	10
4. PUNTOS DE CONTROL	11
5. RESULTADOS.....	12
6. DISCUSIÓN	14
7. CONCLUSIONES.....	15
8. REFERENCIAS	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia.....	4
Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia.	7
Figura 3: Puntos de amarre disponibles en Aguas de Quelana. Elaboración Propia.....	7
Figura 4: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd.	9
Figura 5: Ejemplo de Clasificación Binaria (umbrales referenciales). Elaboración Propia.	10
Figura 6: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia.....	11
Figura 7: Puntos de Control en Aguas de Quelana	12
Figura 8: Post proceso de edición de resultados.....	13
Figura 9: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 píxel). Elaboración Propia.	13
Figura 10: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia.	14
Figura 11: Foto del punto de control N°4 donde se evidencia la cobertura negra que	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Vértices de la zona de estudio en coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.....	5
Tabla 2: Principales características de la imagen WorldView-2. Elaboración propia.....	5
Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua	13
Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de abril de 2026. Elaboración Propia.	13

1. RESUMEN

El mapeo de cuerpos de agua en el sector de Quelana se realizó mediante el procesamiento de una imagen multiespectral de alta resolución WorldView-2. El sector denominado Aguas de Quelana, dentro de la reserva natural “Los Flamencos”, corresponde un sistema de múltiples cuerpos esporádicos de agua de diversos tamaños, cuyas superficies (cuerpos individuales) pueden ser de algunos pocos metros cuadrados hasta más de 40.000 m². El mapeo de estos cuerpos se realiza mediante análisis de índices espectrales (índices de agua y vegetación), clasificación binaria y datos estadísticos de los píxeles además de una evaluación y edición manual en base a la observación de combinaciones RGB en Color Natural e Infrarrojo Color.

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

El mapeo de cuerpos de agua resultó en una superficie de 244.892 m² de agua superficial en la zona de estudio.

2. INTRODUCCIÓN

La dinámica hídrica del Salar de Atacama requiere de un monitoreo constante de diversos elementos. Las imágenes satelitales multiespectrales facilitan la observación superficial de los elementos que cubren la superficie de cualquier terreno, en este caso, evidencia la presencia de cuerpos de agua, así como vegetación, suelo, sales, entre otros. Mediante el procesamiento de imágenes satelitales de alta resolución espacial, se pueden mapear los cuerpos de agua presentes en el salar.

Novandino Litio SpA solicitó a SRGIS Geología y Geomática Ltd., el procesamiento de la imagen satelital de alta resolución de abril 2026 para la obtención de la variable extensión lacustre. Esto en el contexto del Programa de Cumplimiento (PdC), aprobado el 29 de agosto de 2022 según la RES. EX. N°38/ROL F-041-2016. Esta actividad nace del hecho infraccional N° 1 “Extracción de salmuera por sobre lo autorizado, según se expone en el considerando N°27, durante el periodo entre agosto de 2013 y agosto del 2015” y, por tanto, da cumplimiento a la Acción N° 19: Robustecer el monitoreo de la superficie lagunar mediante imágenes satelitales de alta resolución con una frecuencia trimestral.

Este trabajo se enfoca en el sector de Aguas de Quelana ubicado en el extremo oriental del Salar de Atacama donde afloran numerosos cuerpos lacustres de variados tamaños, los cuales pueden desarrollarse desde algunos m² hasta unos 40.000 m² aproximadamente. La gran variabilidad del tamaño de los cuerpos de agua, la poca profundidad de éstos y la presencia de vegetación complejizan la determinación de las superficies.

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

Posteriormente, mediante la Resolución Exenta N°244/2010 de la COREMA, Región de Antofagasta, se redefine la metodología para la medición de superficies lacustres, incorporando mejoras en el procesamiento de la imagen satelital como el uso de índices espectrales para la delimitación de contornos y puntos de terreno

para el control y corrección de límites, la cual fue implementada a partir de la temporada 2010. Asimismo, la medición considera los límites definidos por la CONAF para cada uno de los sistemas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado por la consultora SRGIS Geología y Geomática Ltda., específicamente por el geólogo José Manuel Lattus, consultor en teledetección y magíster en Teledetección, para el período de Abril 2026.

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

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

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

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

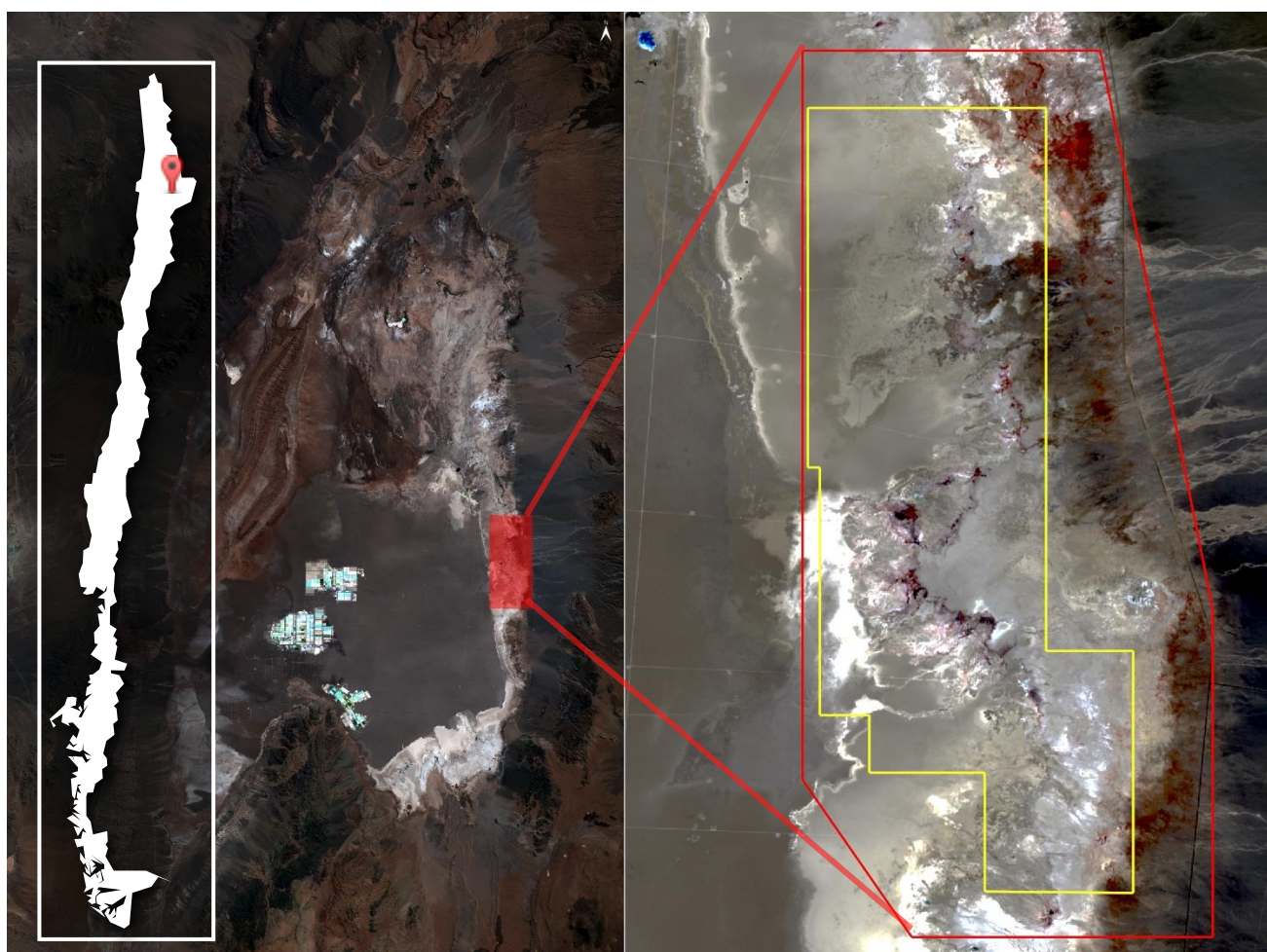


Figura 1: Ubicación del Área de Estudio, Aguas de Quelana. Elaboración Propia.

: Área de Estudio : Reserva Nacional Los Flamencos

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

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

3.2 MATERIALES Y SOFTWARE

Para este estudio se cuenta con una imagen satelital de alta resolución espacial WorldView-2 capturada el 11 de abril de 2026. El resumen de las características de esta imagen puede verse en la Tabla 2:

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

RANGO ESPECTRAL	BANDA	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Visible	Costera	2 m
Visible	Azul	2 m
Visible	Verde	2 m
Visible	Amarillo	2 m
Visible	Rojo	2 m
Visible	Borde Rojo	2 m
Infrarrojo Cercano 1	Infrarrojo Cercano	2 m
Infrarrojo Cercano 2	Infrarrojo Cercano	2 m
Visible + Infrarrojo Cercano	Pancromática	0,5 m

El procesamiento se realizó utilizando ENVI 6.2, software especializado en procesamiento de imágenes aéreas y satelitales. Todas las imágenes satelitales se trabajaron en el sistema de referencia de coordenadas UTM WGS84 Zona 19 Sur.

3.3 METODOLOGÍA

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

1. Pre-procesamiento de la imagen satelital
2. Corrección geométrica

3. Cálculo de índices espectrales (NDWI, NDWI_R y SAVI) y consideración de características espectrales
4. Clasificación binaria
5. Fusión imagen (Pan Sharpening)
6. Control de Terreno
7. Aplicación de Máscara de Lagunas

3.3.1 Pre-procesamiento de la Imagen Satelital

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

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

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

La radiancia espectral se calcula a partir de los parámetros específicos entregados por el proveedor y que se encuentran en los metadatos de los archivos de la imagen satelital:

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

Donde:

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

Gain : es el factor de ganancia para la banda en λ

ND : es el valor del píxel en Niveles Digitales

Offset : es el factor de pérdida para la banda en λ

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

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

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

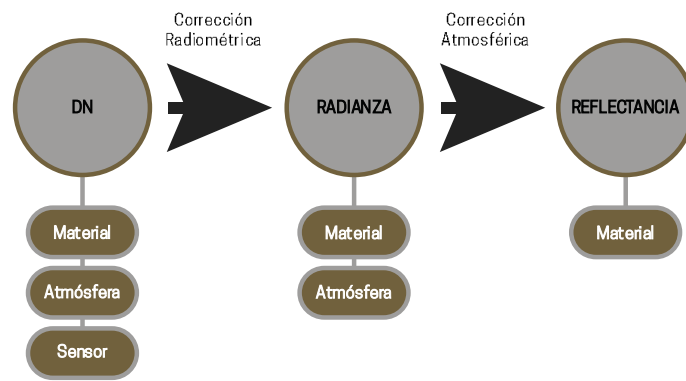


Figura 2: Formato de datos en imágenes satelitales y sus correcciones. Elaboración propia.

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

3.3.2 Corrección geométrica (Ortorectificación y Georeferencia)

La ortorectificación consiste en corregir la imagen de distorsiones provocadas principalmente por la topografía, para ello se utiliza un modelo digital de elevación (DEM) y los parámetros internos de la imagen satelital (RPC). Por otro lado, la georeferencia es indicar las coordenadas precisas de algunos pixeles de la imagen para ajustarla a su posición real, en caso de que el proceso de ortorectificación genere algún desfase de posición, se utilizan datos de intersección de caminos conocidos e identificados en la imagen para ajustar la georeferencia (Figura 3).

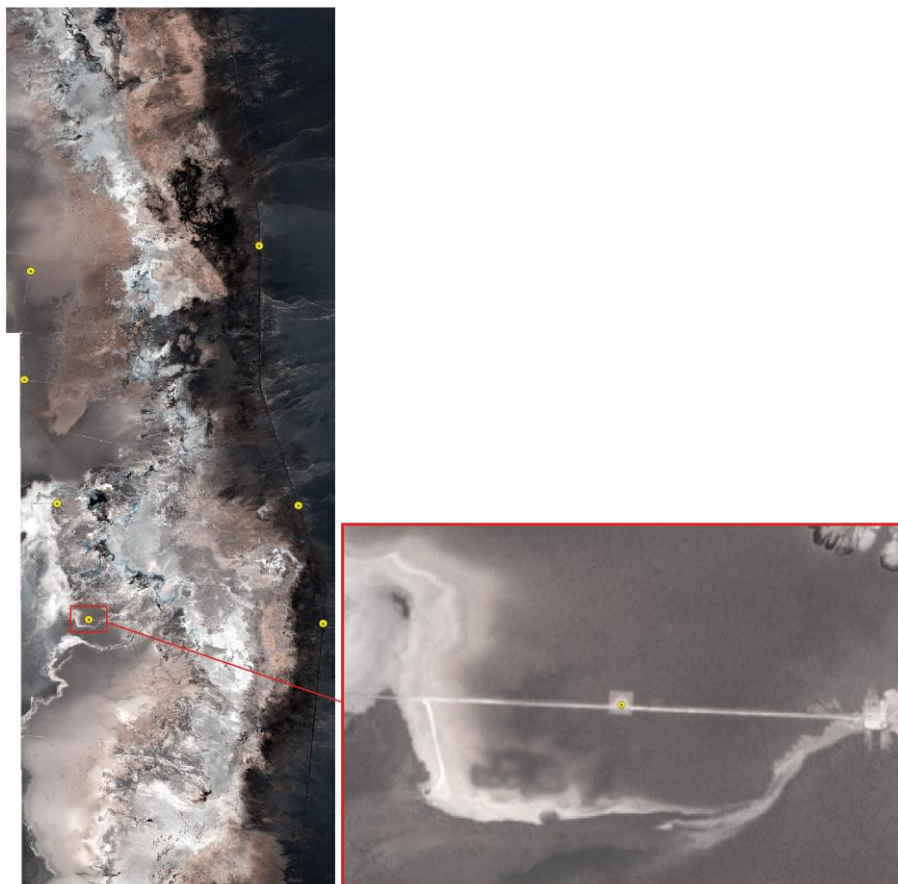


Figura 3: Puntos de amarre disponibles en Aguas de Quelana. Elaboración Propia.

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

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

a. Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

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

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

Donde:

VERDE : Reflectancia de la imagen en el rango espectral verde

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

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

b. Índice de Agua de Diferencia Normalizada en Rojo (NDWI_R)

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

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

Donde:

ROJO : Reflectancia de la imagen en el rango espectral rojo

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

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

c. Índice de Vegetación Ajustada al Suelo (SAVI)

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

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

Donde:

ROJO : es la reflectancia en el rango espectral del rojo

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

d. Consideraciones de características espectrales

Todos los materiales en la superficie tienen una curva espectral única, con ciertas características particulares en ciertos rangos espectrales del espectro electromagnético. En el caso del agua, esta tiene su máxima reflectancia dentro del rango espectral del color verde, esta reflectancia baja considerablemente (tendiendo a cero) en el rango del infrarrojo cercano. La Figura 4 muestra las curvas espectrales de los principales elementos en la superficie en el rango del espectro solar.

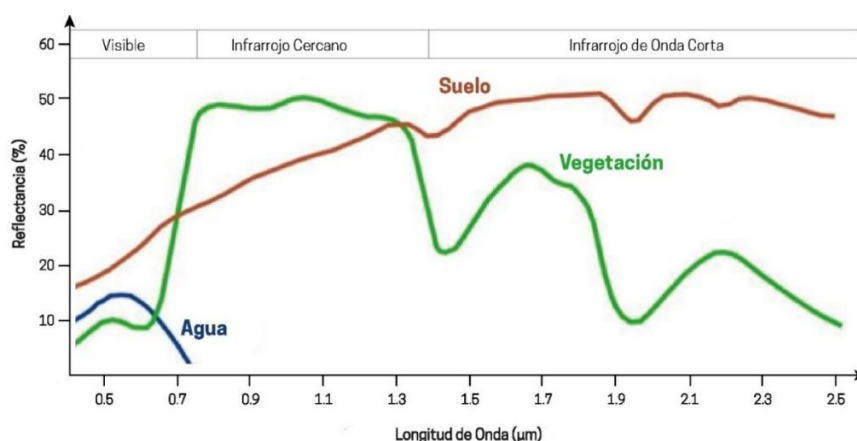


Figura 4: Curvas espectrales del agua, suelo y vegetación en el espectro solar. Modificado de RSAC Ltd.

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

3.3.4 Clasificación Binaria

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

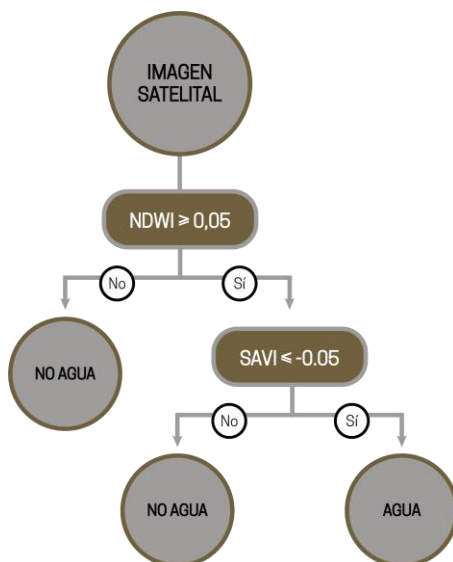


Figura 5: Ejemplo de Clasificación Binaria (umbrales referenciales). Elaboración Propia.

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

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

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

3.3.6 Generación de Máscara de procesamiento

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

3.3.7 Resumen de la metodología para el mapeo de las lagunas

Utilizando los índices espectrales, las características de las curvas espectrales y la imagen índice de la clasificación supervisada se procedió al mapeo de los cuerpos de agua visibles en la superficie. La Figura 6

muestra el esquema de procesamiento para el mapeo de los cuerpos lagunares utilizando todas las variables consideradas en este estudio.

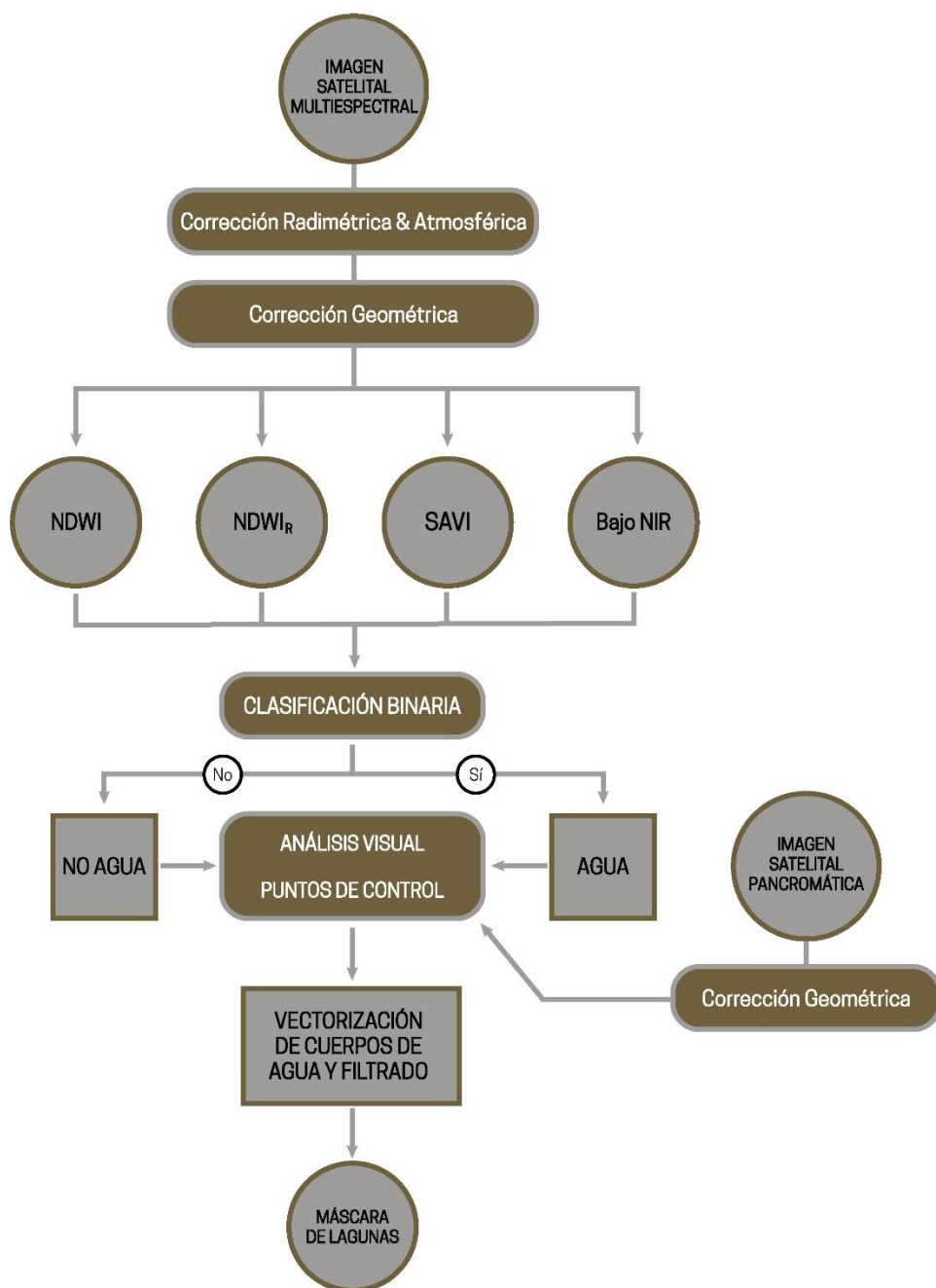


Figura 6: Metodología de mapeo de cuerpos de Agua. Elaboración propia.

4. PUNTOS DE CONTROL

Para la campaña de abril 2026, se realizó una campaña de puntos de control de terreno donde se definieron puntos de borde de agua (Figura 7), en cada punto se indica la coordenada específica del punto de control, la cota y observaciones sobre la presencia y espesor de cuerpos de agua; se adjunta también una fotografía orientada y videos el 360° para tener un respaldo de la situación en terreno y poder mejorar el análisis de la imagen satelital; este trabajo fue realizado por la consultora ATyGeo los días 31 de marzo y 1 de abril de 2026.

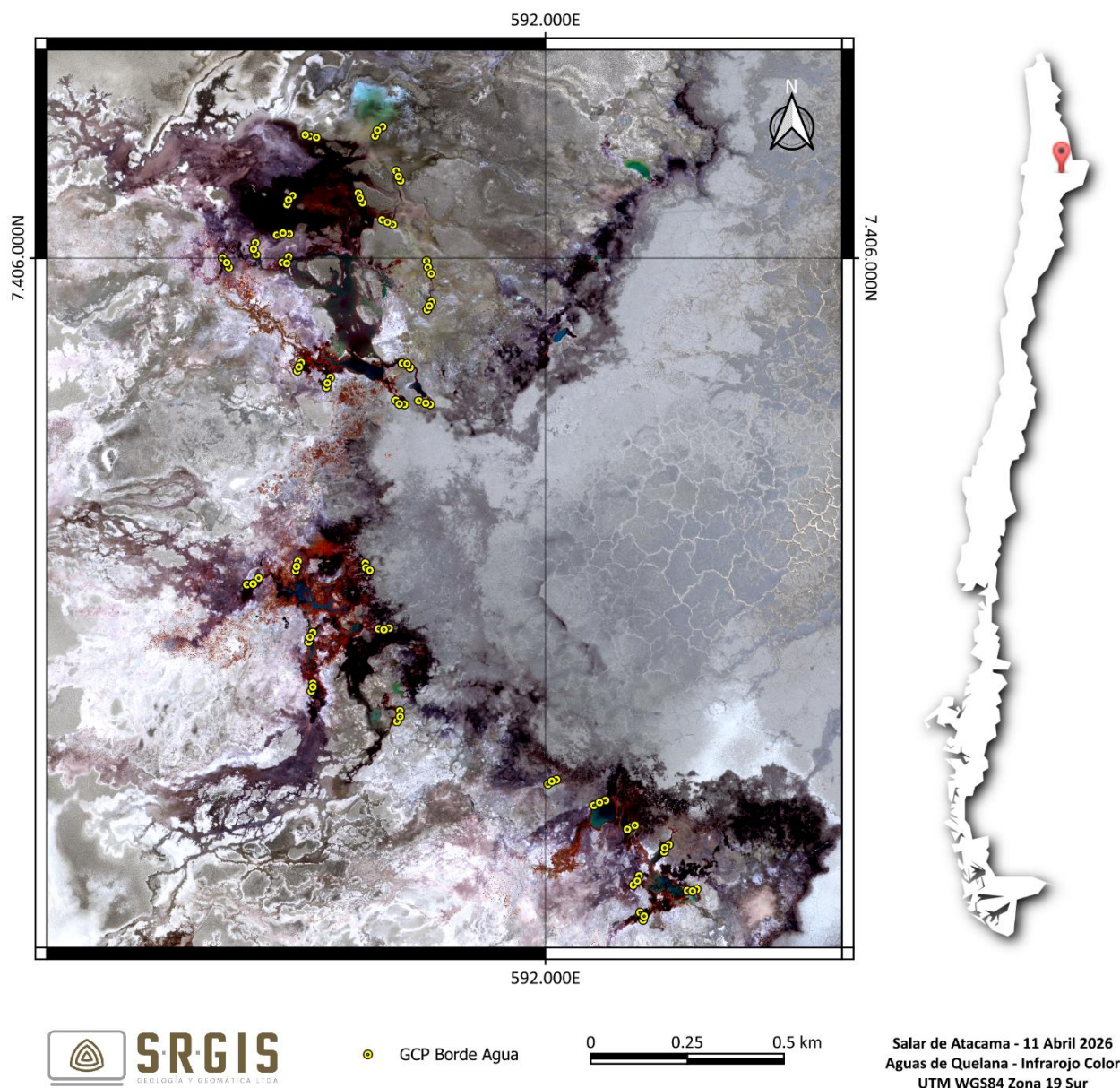


Figura 7: Puntos de Control en Aguas de Quelana

5. RESULTADOS

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

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



Figura 8: Post proceso de edición de resultados

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

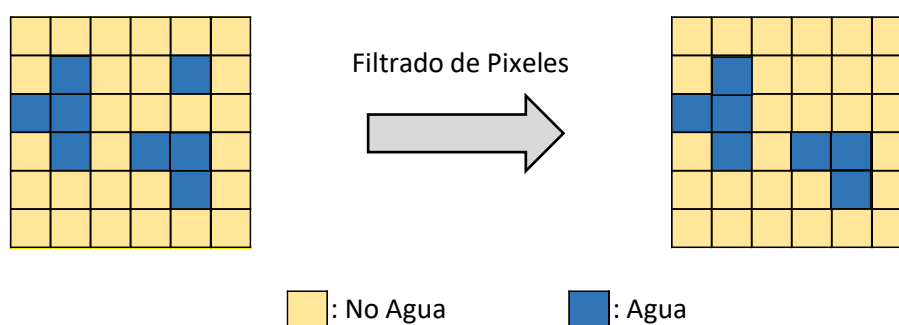


Figura 9: Ejemplo de eliminación de píxeles aislados, se consideró como criterio eliminar píxeles aislados (1 píxel).
Elaboración Propia.

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

Tabla 3: parámetros de clasificación de cuerpos de agua

SISTEMA	NDWI	NDWI _R	SAVI	NIR
AGUAS DE QUELANA	$\geq 0,050$	$\geq 0,025$	$\leq -0,050$	$< 1,000$

El área mapeada para la imagen de abril 2026 puede verse en la Tabla 4.

Tabla 4: Superficie de cuerpos de agua mapeada el mes de abril de 2026. Elaboración Propia.

Fecha	Mapeo Inicial (m ²)	Mapeo Editado (m ²)	Mapeo Final (m ²)
11 de abril de 2026	68.696	244.993	244.892

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

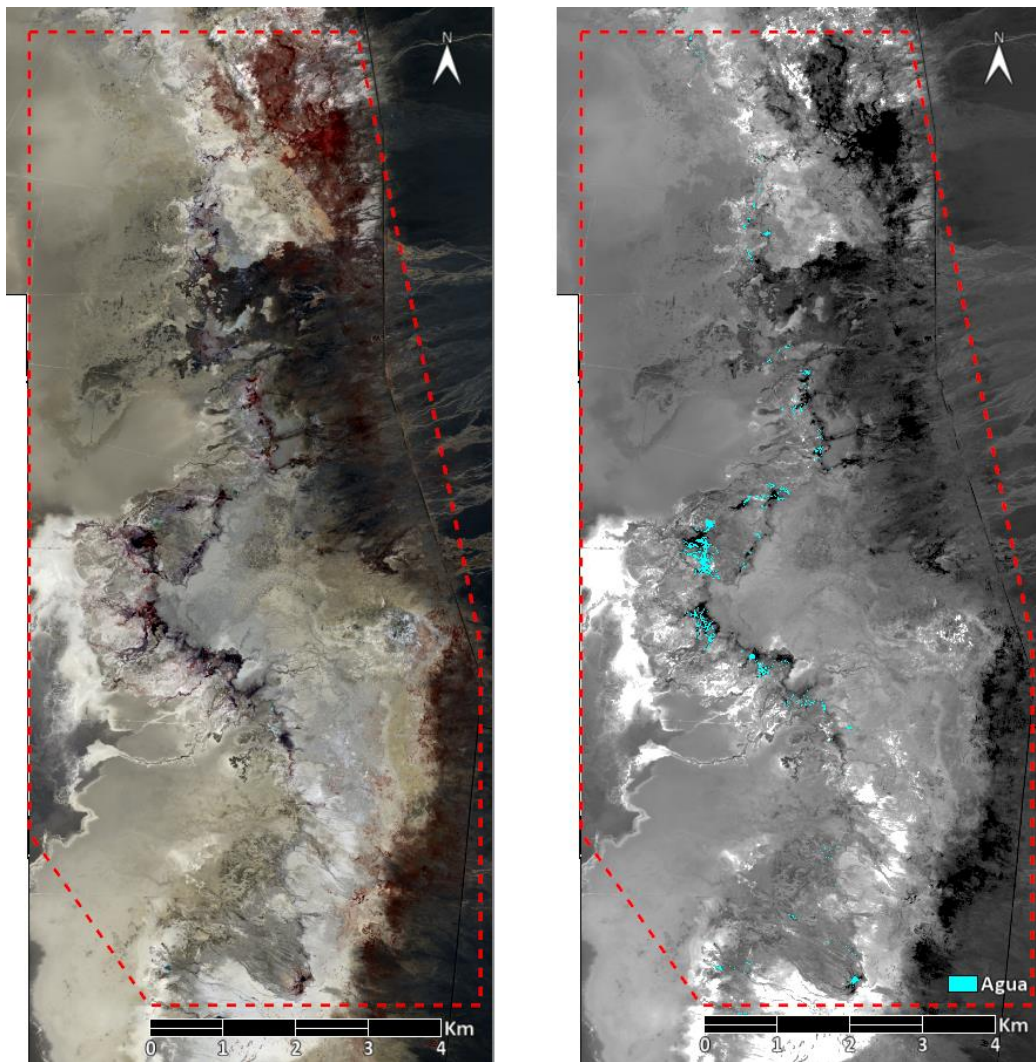


Figura 10: Imagen Infrarrojo Color (izquierda) y Mapeo de Cuerpos de Agua (derecha). Elaboración Propia.

6. DISCUSIÓN

Hay una importante diferencia entre el mapeo semiautomático (mapeo inicial) con el mapeo final. Esto se debe a que se prioriza el mapeo de cuerpos efectivos de agua al inicio. Si bien al ajustar los umbrales de los índices es posible detectar un mayor número de cuerpos de agua, también se incrementa la presencia de falsos positivos. Por esta razón, durante la edición manual resulta más eficiente agregar nuevos cuerpos de agua que eliminar mapeos que no corresponden a agua.

Por otra parte, se pudo contar con puntos de control de terreno para mejorar la interpretación en algunos sectores de la zona de estudio, estos fueron tomados los días 31 de marzo y 1 de abril por la consultora ATyGeo. A partir de esta información se pudo observar que muchos cuerpos de agua poseen abundante vegetación por lo que los índices no los logran resaltarlos como tales. Es por lo anterior que esos cuerpos se agregan de manera semi-automática, ya sea en las inmediaciones de los puntos de control, como en otras zonas sin puntos de control, pero con características espectrales y tonales similares.

Una observación importante se generó en la zona del punto de control N°4 donde en la imagen la observación del agua es muy poco precisa dada una zona que se ve en tonos muy oscuros tanto en la imagen como en las fotografías de terreno, por lo que la separación del límite de agua se estimó basándose en las fotografías de terreno más que en la propia imagen satelital (Figura 11).

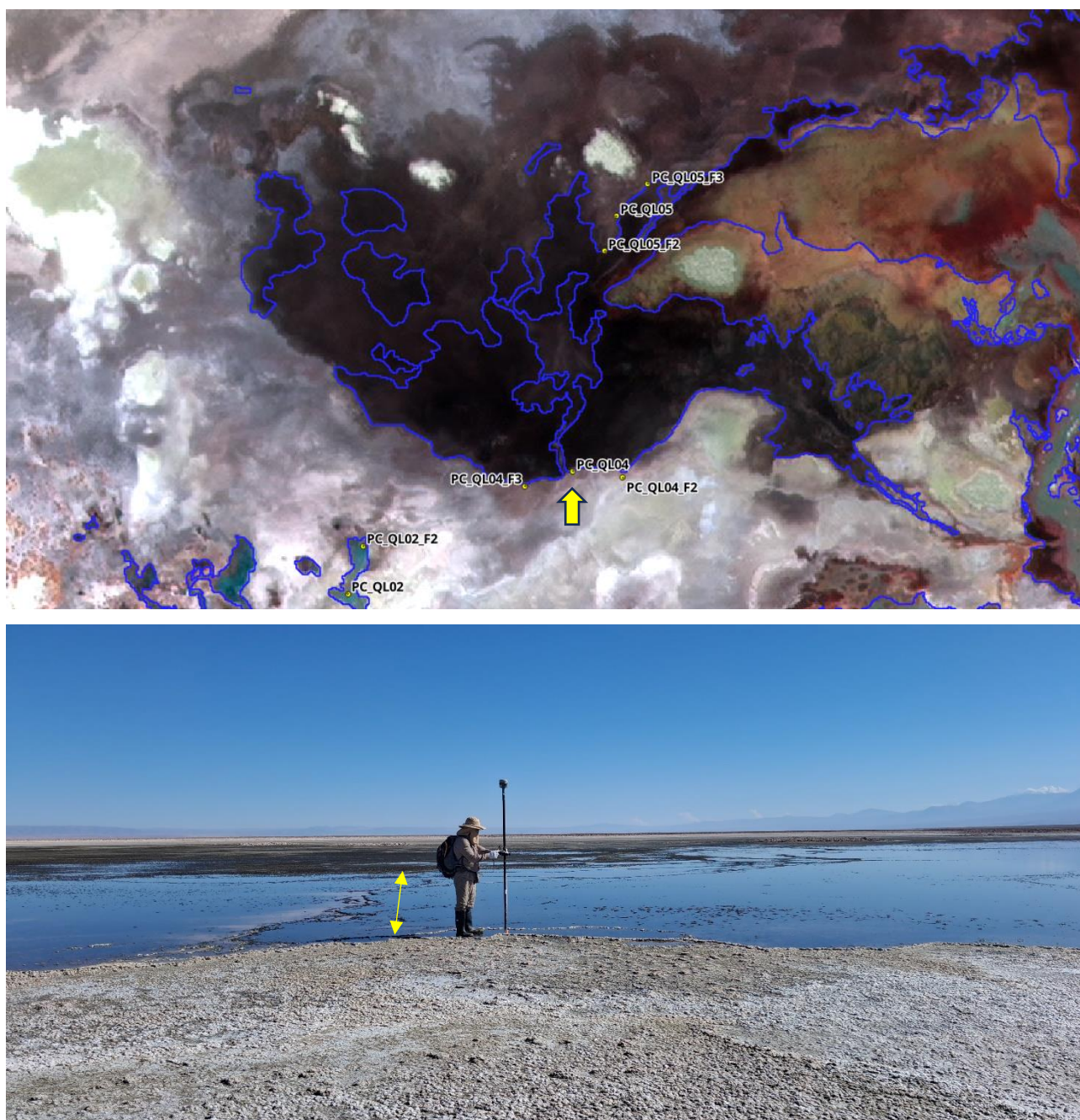


Figura 11: Foto del punto de control N°4 donde se evidencia la cobertura negra que dificulta el trazo del límite en la imagen satelital.

7. CONCLUSIONES

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

El mapeo de la cobertura total de agua está relacionado al tamaño y profundidad de los cuerpos de agua. Los posibles errores en la clasificación de los materiales (“Agua” y “No Agua”) están condicionado a la validación realizada mediante interpretación visual la cual se depura de mejor manera con la presencia de puntos de control. Por medio del procesamiento de imágenes en fechas anteriores y sus respectivos puntos de control, se ha generado un aprendizaje para poder incorporar cuerpos de agua que no se detectan con los índices debido a mezclas espectrales (agua y vegetación). La captura de puntos de terreno con la información

correspondiente en una fecha lo más cercana a la captura de la imagen satelital, mejora sustancialmente la delimitación de cuerpos de agua en la zona de estudio y ya se han identificado zonas específicas donde esta información se vuelve más importante por zonas de cuerpos de agua someros, algas en cuerpos de agua y otras zonas donde la imagen no revela con total certeza la existencia de cuerpos de agua. Para esta captura de puntos de control de terreno hay de 10 a 11 días de diferencia con la captura de la imagen que fue el día 11 de abril. Es importante poder alinear los esfuerzos para intentar que los puntos de control estén más cercanos a la fecha de la imagen con el objetivo de una mejor comprensión del comportamiento de cuerpos lagunares en Aguas de Quelana.

8. REFERENCIAS

- Gossn, J. I., Ruddick, K. G., & Dogliotti, A. I. (2019). Atmospheric correction of OLCI imagery over extremely turbid waters based on the red, NIR and 1016 nm bands and a new baseline residual technique. *Remote Sensing*, 11(3), 220.
- Harris Geospatial. (2022). *ENVI 5.6 Help*.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.
- Moore, T. S., Dowell, M. D., Bradt, S., & Verdu, A. R. (2014). An optical water type framework for selecting and blending retrievals from bio-optical algorithms in lakes and coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 143, 97–111.
- Ngoc, D. D., Loisel, H., Vantrepotte, V., Chu Xuan, H., Nguyen Minh, N., Verpoorter, C., Meriaux, X., Pham Thi Minh, H., Le Thi, H., & Le Vu Hong, H. (2020). A simple empirical band-ratio algorithm to assess suspended particulate matter from remote sensing over coastal and inland waters of vietnam: Application to the VNREDSat-1/NAOMI sensor. *Water*, 12(9), 2636.
- Ogashawara, I., Li, L., & Moreno-Madriñán, M. J. (2017). Slope algorithm to map algal blooms in inland waters for Landsat 8/Operational Land Imager images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(1), 12005.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.
- Sun, W., Chen, B., & Messinger, D. W. (2014). Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering*, 53(1), 13107.
- Teshaev, N., Mamadaliyev, B., Ibragimov, A., & Khasanov, S. (2020). The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan. *ICIGIS*, 26, 324–333.

José Manuel Lattus

SRGIS Geología & Geomática Ltda.



srgis



info@srgis.cl



srgisltda



+56 993 498 303



www.srgis.net