



PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL SALAR DE ATACAMA

**Superficies lacustres medidas mediante
topografía e imagen satelital.
Campaña 2009**

**Proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera
en el Salar de Atacama**

Pramar ambiental consultores - Diciembre 2009



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	METODOLOGÍA	2
3.	RESULTADOS.....	5
4	VENTAJAS DEL TRABAJO CON IMAGEN SATELITAL.....	16
5-	CONCLUSIONES.....	17
6	ANEXOS	

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene por objeto analizar los resultados del seguimiento ambiental de los cuerpos lacustres del Bordo Este del Salar de Atacama, el que se realiza anualmente como parte de las actividades del 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 Comisión Regional del Medio Ambiente II Región (RCA N° 226/06).

Conforme a lo indicado en los considerando 10.2.2 Tabla 5 y 10.2.4 Tablas de la RCA N°226/06, el PSA considera efectuar una medición anual de la superficie lacustre de las principales lagunas del sistema lacustre Soncor y sistema lacustre Peine mediante levantamiento topográfico y análisis de imágenes satelitales de alta resolución.

A petición de SQM Salar S.A., se revisaron ambas metodologías, específicamente, la delimitación y cálculo de superficies de las lagunas Puillar, Chaxas, Barros Negros, Salada, Saladita e Interna efectuados en 2009.

El levantamiento topográfico fue realizado por la empresa *JRC Ltda.* en abril de 2009. El análisis de la imagen satelital fue realizado por *Pramar Ambiental Consultores* como parte del Informe de monitoreo de componentes bióticos y físicos correspondientes a las campañas de abril de 2009. Las imágenes satelitales fueron tomadas durante el mes de abril del presente año.

2 METODOLOGÍA

El análisis efectuado consistió en la revisión de las superficies obtenidas mediante topografía y análisis de imagen satelital, a partir de la sobreposición de las coberturas digitales, análisis y corrección de los límites empleados y finalmente el cálculo de superficies. El procedimiento se realizó con la ayuda de un Sistema de Información Geográfico (SIG) de tipo vectorial.

Se detallan a continuación los alcances técnicos de la metodología empleada para realizar este análisis.

2.1 Sobreposición de coberturas digitales. En una primera etapa se revisó la proyección de las coberturas digitales y el calce espacial. Para el conjunto de coberturas digitales estudiadas (topografía e imagen satelital) se utilizó el sistema de proyección UTM, Datum PSAD56, Huso 19S.

2.2 Levantamiento topográfico. Se realizó un levantamiento topográfico tradicional, por el método de radiación. Lo primero que se realizó por parte del profesional a cargo fue el chequeo de la estación total, para asegurar el correcto funcionamiento de esta y por ello la calidad del servicio entregado. Posteriormente se instaló la estación total, en un P. R. (punto de referencia topográfico) ya establecido, se orientó (calaje) a otro P. R., enmarcado en el mismo sistema de coordenadas (PSAD 56). Para la determinación de la superficie, se procedió a levantar todo el perímetro de la laguna (Contacto del agua con el terreno), cada 6 m.

aproximadamente como mínimo, ya que en su gran mayoría, esta distancia fue menor debido a la irregularidad del terreno.

2.3 Definición de los límites de cada laguna según criterio CONAF. Las lagunas del Salar de Atacama están unidas entre si por un sistema de canales y además presentan un conjunto de pequeñas lagunas laterales que se multiplican por cientos en algunas casos. Por tal razón, y para efectos de evaluar variaciones de superficie en el tiempo, se estableció como límite para las lagunas aquellos definidos históricamente por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Para la laguna Interna, que no presenta límite CONAF, se estableció en conjunto con SQM un límite de corte el que será utilizado de aquí en adelante.

2.4 Digitalización de contornos de lagunas en imágenes satelitales.

Se trabajó con una imagen satelital tomada el día 16 de abril de 2009. Se utilizó el sistema de proyección UTM, Datum PSAD 56, huso 19S, posteriormente se realizó un ajuste espacial con 13 puntos de control identificados en terreno correspondientes a elementos del paisaje de fácil identificación en la imagen o a marcas especialmente instaladas en terreno¹.

Para identificar los límites de los cuerpos lacustre se analizaron los niveles digitales de la imagen Multiespectral. Dicho análisis se funda en el cálculo de un índice NDVI (Ecuación (1)) el cual permite discriminar zonas con presencia de agua.

$$NDVI_{i,j} = \frac{(ND_{i,j,IR} - ND_{i,j,R})}{(ND_{i,j,IR} + ND_{i,j,R})} \quad (1)$$

En forma adicional, y como información de apoyo, se utilizó la imagen Multiespectral con una transformación de bandas llamada IHS. La aplicación de esta técnica implica la elección de una combinación RVA (rojo-verde-azul) determinada, que para este caso fue el falso color convencional (TABLA 2.1) las cual son transformadas en sus propiedades IHS.

TABLA 2.1
COMBINACIÓN DE BANDAS

COMBINACIÓN DE COLORES	CANAL		
	Azul (a)	Verde (v)	Rojo (r)
Falso color convencional	Verde	Rojo	Infrarrojo

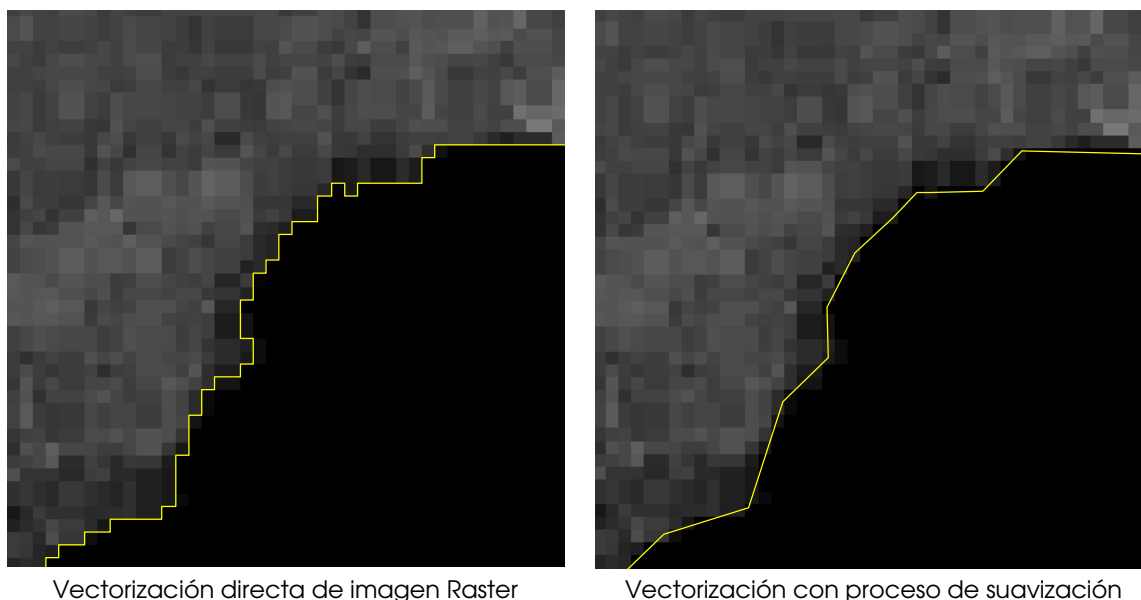
Este procedimiento corresponde a una forma alternativa de representar el color, haciendo referencia no en sus componentes sino en sus propiedades. Este procesamiento corresponde a la transformación de los colores en imágenes de Intensidad, tono y saturación IHS (*Intensity, hue, saturation*).

¹ Este análisis se realiza como parte del Plan de Seguimiento Ambiental de los componentes bióticos y físicos del Salar de Atacama.

Posteriormente, la digitalización de cada laguna se realizó en formato vectorial (de polígonos) a través de un Sistema de Información Geográfico.

2.5 Construcción de polígonos y cálculo de superficie. Los levantamientos topográficos efectuados en 2009 fueron entregados como información digital vectorial (polilíneas). Por otra parte, producto del análisis realizado en la imagen satelital en abril de 2009 se obtuvo información digital raster (píxeles de resolución 2,4x2,4 metros) de la superficie cubierta con agua de todo el Borde Este del Salar de Atacama. Para efectos de comparar ambas metodologías la cobertura raster se sometió a un proceso de vectorización y suavización de sus contornos, tal como se muestra en la Figura 2.1.

FIGURA 2.1
POLÍGONOS DE LAGUNAS LUEGO DEL PROCESO DE VECTORIZACIÓN SOBRE IMAGEN SATELITAL



Los polígonos resultantes tanto de levantamiento topográfico como de imagen satelital fueron cortados de acuerdo con los límites establecidos por CONAF. Completada esta etapa, se procedió a calcular su superficie con la ayuda de un SIG vectorial.

Adicionalmente se realizó un análisis estadístico que indicara si las diferencias de superficies entre metodologías eran significativas. Este análisis fue realizado mediante el [método no paramétrico de Wilcoxon](#) el que compara los resultados obtenidos por ambas metodologías (Anexo I).

Finalmente, se elaboraron figuras y tablas resumen de cada laguna en donde se señalan las superficies obtenidas por topografía y análisis de imagen satelital.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis General

Para todas las lagunas analizadas, de los sistemas Soncor y Peine, se observa que los límites establecidos por CONAF son adecuadamente cubiertos por ambas metodologías (topografía e imagen satelital) y en ambos casos los límites se ajustan adecuadamente en casi todo el perímetro de las lagunas.

En el sistema Soncor, la laguna Barros Negros presentó una diferencia entre la superficie medida por topografía e imagen satelital del 2% (tabla 3.1). En efecto, la superficie obtenida por imagen satelital presentó 22.590 m² más que la superficie calculada por topografía, en la Figura 3.1 se puede apreciar que estas diferencias se ubican principalmente en el límite este de la laguna, en menor medida en el límite oeste y en un polígono en particular en el sector sur. Las diferencias observadas podrían explicarse por varias razones, la primera de ellas tiene relación con la ventaja que presenta la imagen satelital sobre el levantamiento topográfico al momento de detectar “islas” al interior de la laguna, estas situaciones no pueden ser detectadas en terreno por lo que el método topográfico asume que la laguna constituye un polígono completo de agua, una segunda razón que podría explicar las diferencias en superficie se relaciona con la dificultad en terreno de detectar los límites en zonas con bordes difusos, en muchos casos estos bordes constituyen zonas con una lámina muy fina de agua con sedimento, material acumulado, numerosas entradas de agua y además presencia de afloramientos de sedimento al interior de la laguna que corresponden a nidos de flamencos utilizados en la época de reproducción de esta especie, en este sentido, la delimitación lacustre por parte de la imagen satelital constituyen una ventaja por sobre la topografía ya que de acuerdo a mediciones realizadas en terreno, este método (imagen satelital) permite discriminar zonas que presentan muy pocos milímetros de agua libre lo que sumado a la visión global del cuerpo lacustre permite una mejor delimitación de contornos. En cuanto al polígono detectado por topografía en la zona sur de la laguna de acuerdo al análisis realizado con imagen satelital este no estaría completamente adherido al cuerpo principal de la laguna existiendo una zona seca entre ambos.

Para la laguna Chaxa se observa una diferencia entre la superficie medida por topografía e imagen satelital del 8%. En efecto, se verificó una diferencia de 25.905 m². Como se aprecia en la figura 3.2 las diferencias de superficies se concentran en el límite noreste de la laguna, de acuerdo a observaciones realizadas en terreno este sector presenta un límite muy difuso que corresponde a sedimento de tipo arenoso anegado de agua y que en algunos sectores presenta una lámina de agua milimétrica. El análisis realizado con la imagen satelital es capaz de detectar pocos milímetros de agua libre por lo que este sector lo considera como parte de la laguna. Con la topografía realizada en terreno los operarios fijaron el límite en donde el agua libre tenía algunos centímetros de profundidad dejando fuera de la laguna esta zona difusa. Para poder aclarar esta situación se trabajó con la imagen satelital Multiespectral y se realizaron combinaciones de bandas que permitieran obtener mayor claridad de lo que ocurre en esta zona. La figura 3.3 muestra los resultados obtenidos de este análisis, en ella es posible apreciar claramente en donde la laguna presenta mayor profundidad de agua y el sector que se presenta difuso. Para poder resolver esta situación se propone definir uno de los dos límites como oficiales de la laguna y así poder realizar comparaciones en años futuros.

En la laguna Puilar existe una diferencia de superficies entre metodologías del 17%, en efecto, la superficie obtenida por topografía presenta 11.418 m² más que la obtenida mediante el análisis de la imagen satelital. Como se puede observar en la figura 3.4 las mayores diferencias se dan en el sector Sur de la laguna y en menor medida en el sector Este. En ambos sectores se aprecia (figura 3.4) que la imagen NDVI muestra colores cercanos al gris y blanco lo que indica que no existe presencia de agua libre, esta información es corroborada por el análisis realizado con la imagen Multiespectral (figura 3.5) en donde se aprecia que en estos sectores confusos el trabajo realizado por levantamiento topográfico sobreestimó superficie.

En el sistema Peine, la laguna Salada presentó diferencia en superficie del 1% entre ambas metodologías, esta diferencia corresponde a 2.778 m². En la figura 3.6 se puede observar que ambas metodologías definen de manera muy similar los contornos de la laguna llegando a una similitud del 99%. Las diferencias en superficie se dan principalmente por la ventaja que representa la imagen satelital con respecto a la topografía en el momento de identificar “islas” al interior del cuerpo de agua principal, lo que con topografía no se puede lograr.

En la laguna Saladita existe una diferencia en superficie del 5%, en efecto, el resultado de topografía es 5.228 m² mayor que el resultado del análisis de la imagen satelital. En la figura 3.7 se puede apreciar que las mayores diferencias se dan en el límite sur de la laguna, en este sector se observa que en la imagen NDVI se distinguen claramente los sectores cubiertos por agua (color negro) por lo que los límites entregados por topografía estarían sobreestimados, esta situación puede deberse a la dificultad en terreno para definir el límite o por problemas de acceso hacia el contorno de la laguna.

Tal como se observa en la Figura 3.6 la laguna Interna no conforma un cuerpo lacustre de superficie continua como el resto de las lagunas analizadas. En efecto, no es posible distinguir un cuerpo de agua principal que se mantenga estable en el tiempo. Del análisis de la Figura 3.6, es posible observar un canal que une los sectores Sur y Norte, los cuales muestran cierto grado de agrupamiento.

La laguna Interna está constituida por un conjunto de cientos de cuerpos de agua someros, variables en el tiempo, lo que hace muy difícil calcular su superficie mediante levantamiento topográfico perimetral, los resultados obtenidos no son satisfactorios debido a que los polígonos elaborados encierran gran cantidad de pequeñas áreas sin agua, y por otra, no consideran una gran superficie de cuerpos de agua someros. En la práctica para un operario de terreno es imposible encontrar el perímetro de la laguna, o aproximarse a un perímetro del conjunto de pequeños cuerpos de agua.

En consecuencia, las superficies obtenidas mediante topografía para esta laguna no permiten efectuar una evaluación periódica de su superficie en el tiempo. Se recomienda descartar la topografía como herramienta de seguimiento ambiental para esta laguna y continuar su medición mediante análisis de imagen satelital, por cuanto esta metodología permite cuantificar superficies lacustres discontinuas, como es el caso de la laguna Interna.

Debido a lo anteriormente expuesto es que las diferencias en las superficies obtenidas presentan las mayores variaciones del presente estudio (23%), en efecto, los resultados de topografía son 46.327 m² mayores a los obtenidos mediante análisis de la imagen satelital.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el año 2008 (ver Anexo II) todas las lagunas analizadas presentan diferencias entre metodologías similares a las calculadas el presente año (2009), estos valores representan diferencias muy pequeñas que validan ambos métodos en cuanto a medición de superficies lacustres.

Estadísticamente las diferencias entre superficies existentes entre ambas metodologías para el presente año (2009) no son significativas lo que estaría indicando que ambos métodos permiten calcular de manera correcta las superficies de estas lagunas, sin embargo, la imagen satelital presenta mayores ventajas con respecto a la topografía las que serán expuestas en la sección 4 del presente documento.

La siguiente tabla resume las superficies obtenidas en le presenta año (2009) para ambas metodologías y las diferencias existentes entre éstas.

TABLA 3.1
SUPERFICIES LACUSTRES MEDIDAS EN ABRIL DE 2009 MEDIANTE
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y ANÁLISIS DE IMAGEN SATELITAL

SISTEMA LACUSTRE	LAGUNA	SUPERFICIE (M ²) TOPOGRAFÍA	SUPERFICIE (M ²) IMAGEN SATELITAL	DIFERENCIA SUPERFICIE (%)
Soncor	Barros Negros	1.130.213	1.152.803	2
	Chaxa	310.739	336.644	8
	Pullar	76.857	65.439	17
Peine	Salada	199.394	196.616	2
	Saladita	110.502	105.274	5
	Interna	246.295	199.968	23

En la sección 3.2 a continuación, se muestra en detalle Figuras y Tablas de superficies de las lagunas analizadas

3.2 Figuras

FIGURA 3.1
LAGUNA BARROS NEGROS

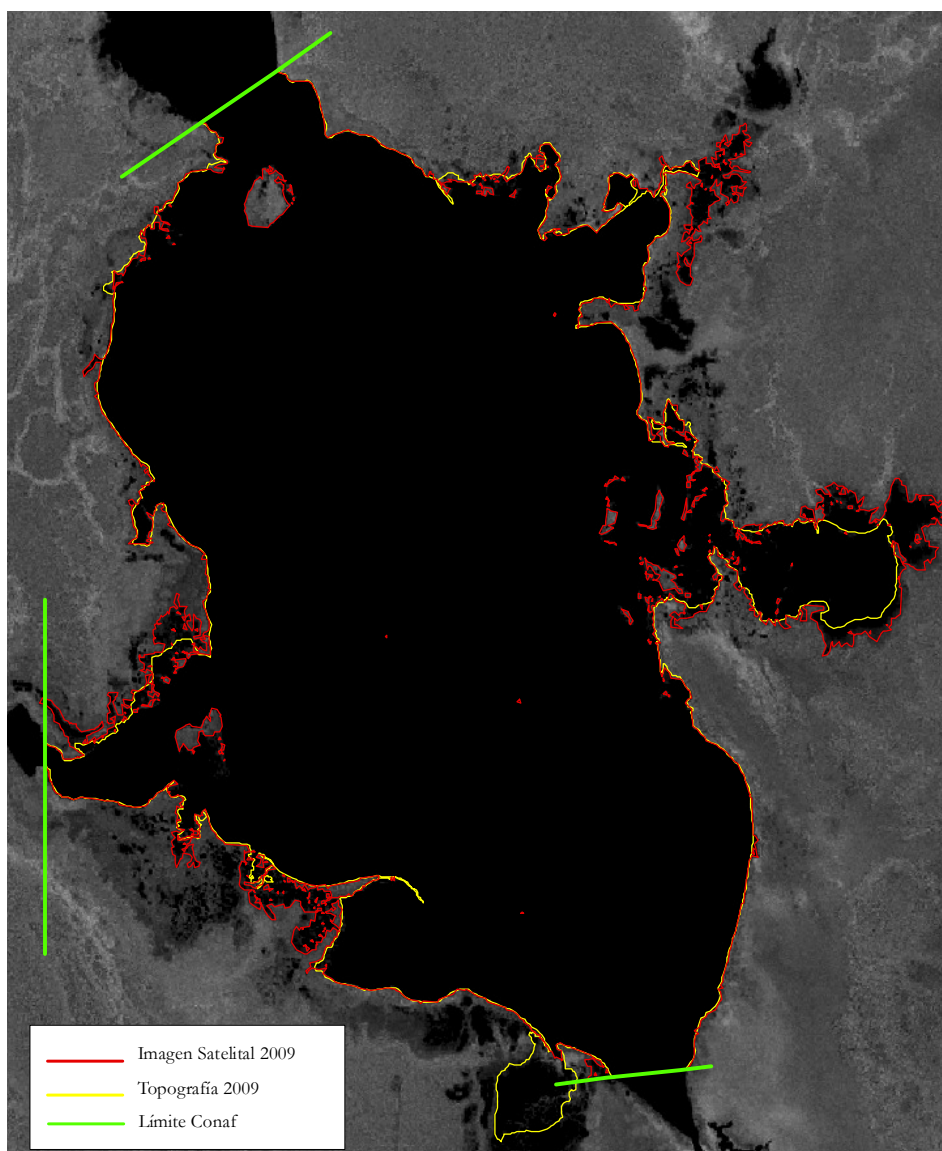


TABLA 3.2
SUPERFICIE LAGUNA BARROS NEGROS

Imagen Satelital		Topografía	
Fecha	Superficie (m²)	Fecha	Superficie (m²)
16 de abril de 2009	1.152.803	10 al 13 de abril de 2009	1.130.213

FIGURA 3.2
LAGUNA CHAXAS

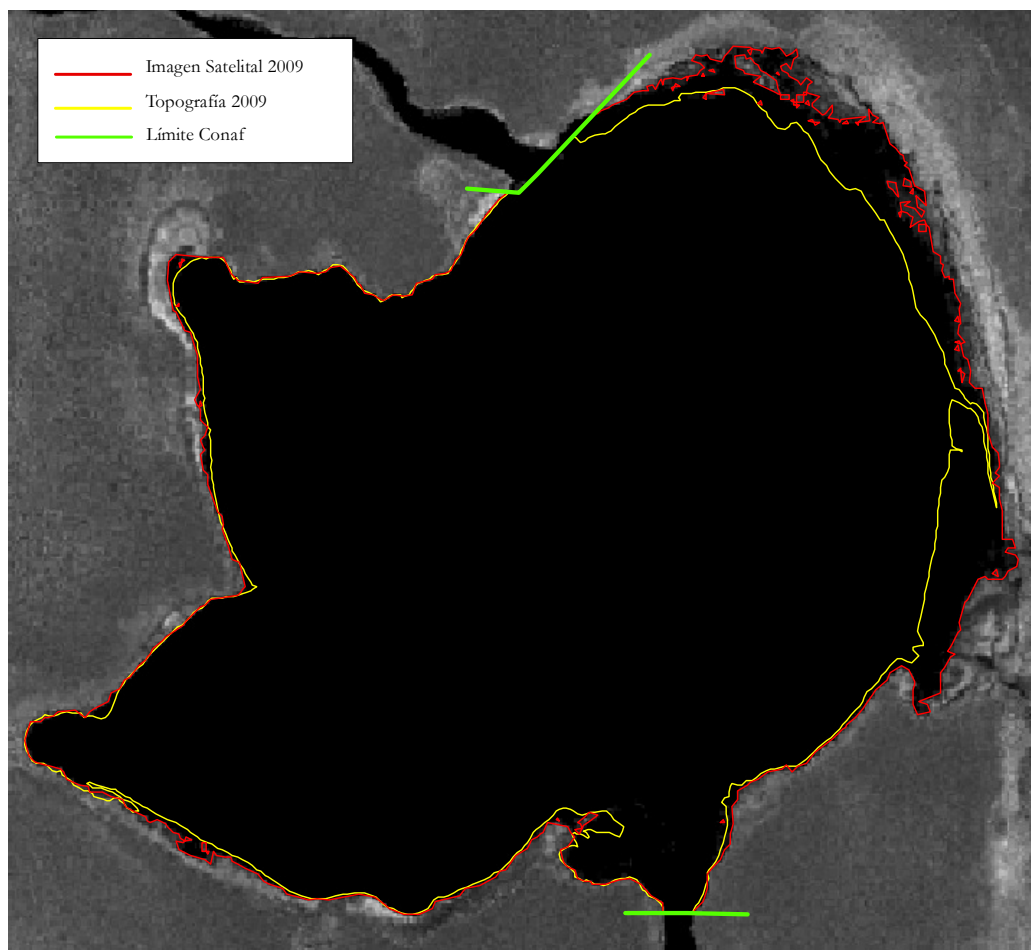


FIGURA 3.3
LAGUNA CHAXAS. INDICE IHS

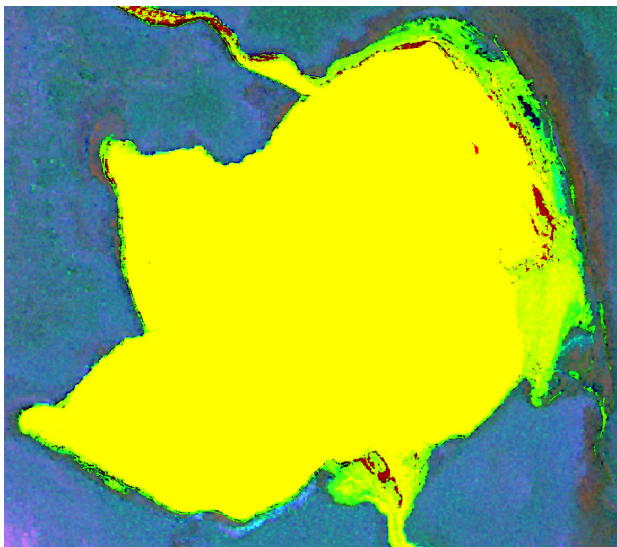


TABLA 3.3
SUPERFICIE LAGUNA CHAXAS

Año	Imagen Satelital		Topografía	
	Fecha	Superficie (m²)	Fecha	Superficie (m²)
2009	16 de abril de 2009	336.644	10 al 13 de abril de 2009	310.739

FIGURA 3.4
LAGUNA PUILAR

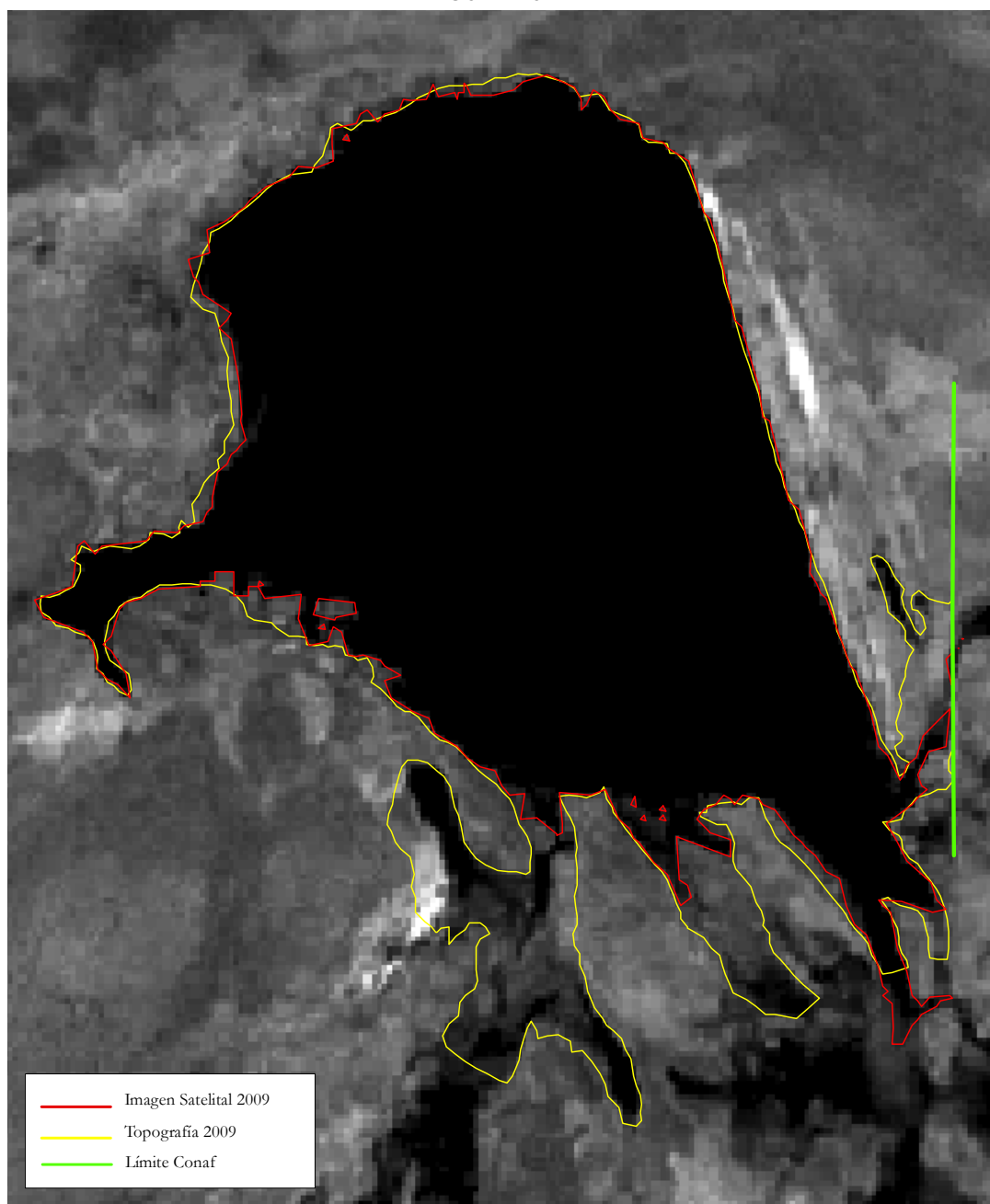


FIGURA 3.5
LAGUNA PUILAR. INDICE IHS

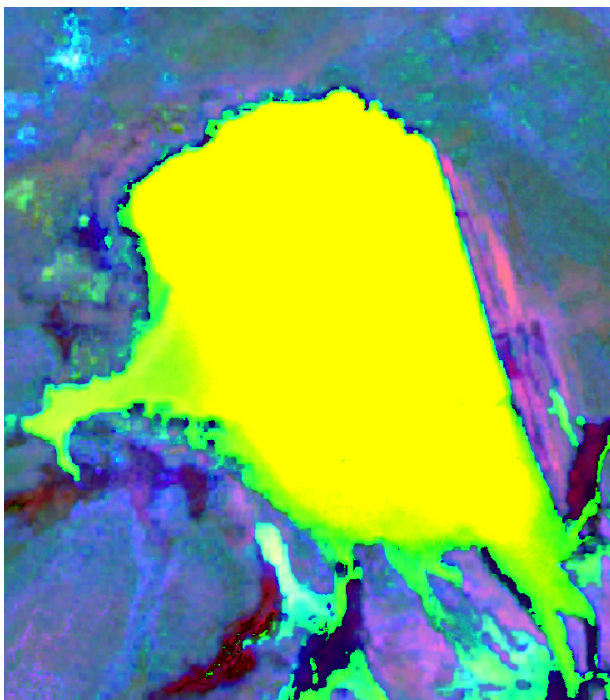


TABLA 3.4
SUPERFICIE LAGUNA PUILAR

Año	Imagen Satelital		Topografía	
	Fecha	Superficie (m ²)	Fecha	Superficie (m ²)
2009	16 de abril de 2009	65.439	10 al 13 de abril de 2009	76.857

FIGURA 3.6
LAGUNA SALADA

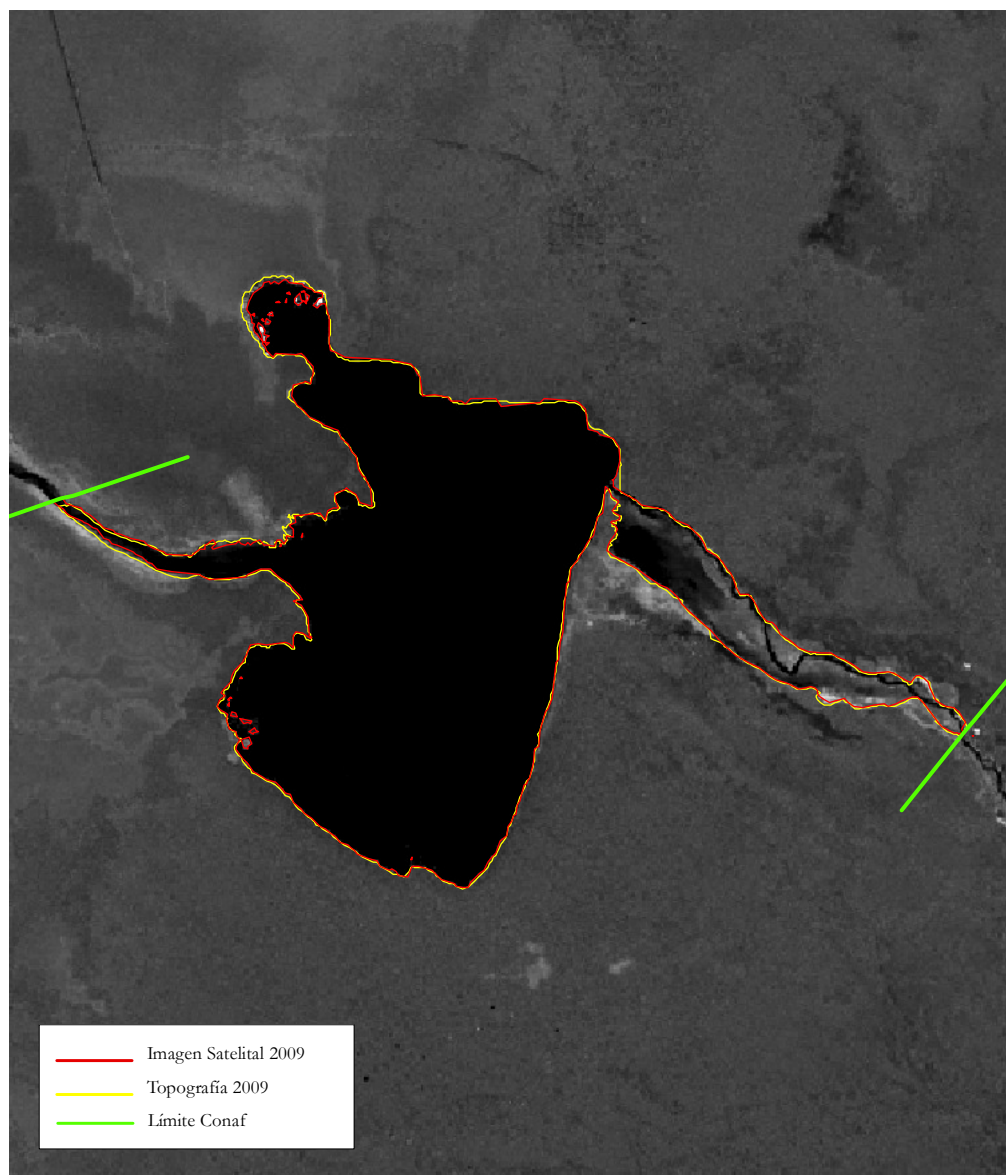


TABLA 3.5
SUPERFICIE LAGUNA SALADA

Año	Imagen Satelital		Topografía	
	Fecha	Superficie (m²)	Fecha	Superficie (m²)
2009	16 de abril de 2009	196.616	7 al 9 de abril de 2009	199.394

FIGURA 3.7
LAGUNA SALADITA

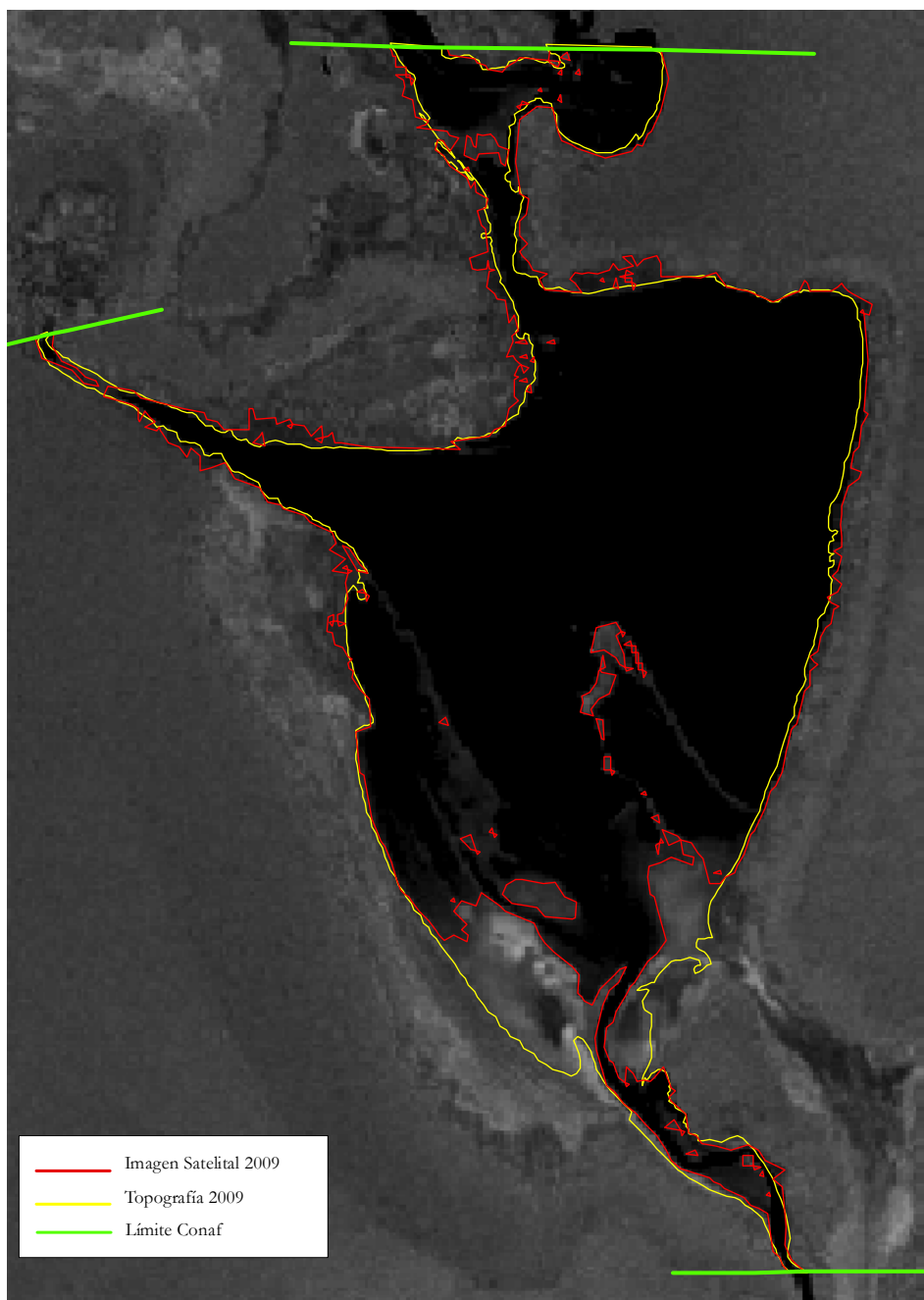


TABLA 3.6
SUPERFICIE LAGUNA SALADITA

Año	Imagen Satelital		Topografía	
	Fecha	Superficie (m²)	Fecha	Superficie (m²)
2009	16 de abril de 2009	105.274	7 al 9 de abril de 2009	110.502

FIGURA 3.8
LAGUNA INTERNA

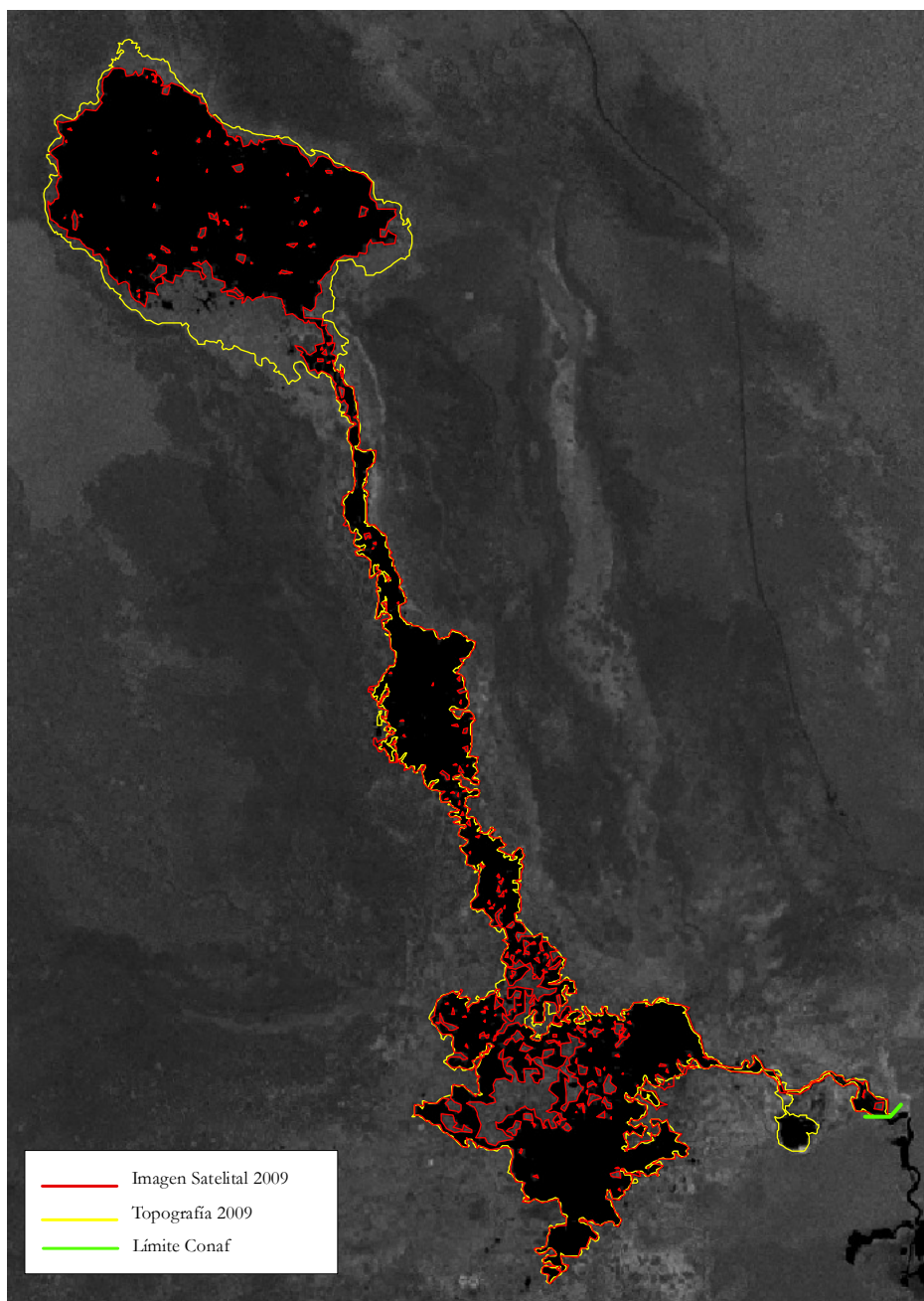


TABLA 3.7
SUPERFICIE LAGUNA INTERNA

Año	Imagen Satelital		Topografía	
	Fecha	Superficie (m²)	Fecha	Superficie (m²)
2009	16 de abril de 2009	199.968	7 al 9 de abril de 2009	246.295

4 VENTAJAS DEL TRABAJO CON IMAGEN SATELITAL

En la presente sección se exponen las ventajas de realizar cálculos de superficies lacustres con imágenes satelitales con el fin de utilizar esta metodología en años posteriores y ocuparla como única herramienta de medición de los sistemas lacustres analizados.

De acuerdo a la sección 3 resultados es posible identificar una serie de ventajas de esta metodología (imagen satelital) con respecto a los levantamientos topográfico, estas ventajas son las siguientes:

- 1) Mejor delimitación de contornos. El trabajo realizado con la imagen satelital permite delimitar de manera mucho más efectiva los contornos de las lagunas que la delimitación realizada con topografía, esto se debe a que a través de la imagen satelital es posible identificar bordes difusos que presentan muchos afloramientos someros y que con el trabajo de topografía resulta de gran complejidad por las características del terreno, además, la imagen satelital permite tener vistas a distintas escalas permitiendo una visión global del comportamiento de las lagunas.
- 2) Identificación de Islas. A través del análisis con la imagen satelital es posible identificar islas que se encuentran al interior de las lagunas, esto es imposible realizarlo mediante topografía debido a que los operarios sólo recorren el perímetro de las lagunas, con la imagen es posible saber el comportamiento al interior de cada laguna y en el caso de existir islas restárselas a la superficie total obteniendo resultados más exactos.
- 3) Uniformidad de criterios. Al trabajar con la imagen satelital (NDVI) se analizan los valores de píxeles que representan agua y estos son clasificados hasta poder delimitar los cuerpos lacustres, esta metodología es mucho más precisa y objetiva que el trabajo topográfico que depende exclusivamente del operario que realice el trabajo de terreno, siendo el criterio de este el que delimita los cuerpos lacustres.
- 4) Posibilidad de hacer análisis interanuales. Al tener las imágenes satelitales de respaldo es posible realizar comparaciones entre años e identificar determinados comportamientos de los sistemas lacustres, además, es posible realizar otros análisis que permitan discriminar nuevas zonas con presencia de agua o zonas saturadas.
- 5) Apoyo con otras imágenes. El trabajo con las imágenes satelitales (NDVI) para la delimitación de contornos de cuerpos lacustres permite la comparación y apoyo con las imágenes pancromáticas y multiespectrales que son de gran ayuda al momento de definir zonas difusas. Por otro lado el uso de las imágenes permite la utilización de diversos índices como por ejemplo NDVI IHS que ayudan a la definición de áreas complejas.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis efectuado es posible concluir lo siguiente:

- En general los contornos de las lagunas medidas mediante levantamiento topográfico e imagen satelital se ajustan adecuadamente entre sí.
- La comparación entre metodologías arrojó diferencias de superficie lacustre de entre 1% (laguna Barros Negros) y 23% (laguna Interna). Las diferencias observadas se deberían principalmente a que el levantamiento topográfico no sustrae del cálculo final porciones de terreno seco o “islas” ubicadas al interior del cuerpo de agua principal y a que el levantamiento topográfico en algunos casos (laguna Puilar y Saladita) sobreestima la superficie de las lagunas ya sea por razones de acceso, dificultad de identificar el límite en zonas de aguas someras o discontinuas, etc.
- La laguna Interna está constituida por un conjunto de cientos de cuerpos de agua someros, variables en el tiempo, lo que hace muy difícil calcular su superficie mediante levantamiento topográfico perimetral.
- Estadísticamente ambas metodologías representarían métodos correctos en el cálculo de superficies, ya que las diferencias entre sus resultados no son significativas, sin embargo, con la imagen satelital se pueden obtener mejores resultados en cuanto a perímetros ya que se evitan problemas de acceso y de criterio al momento de encontrarse con bordes difusos o gran cantidad de cuerpos someros. Además las imágenes permite realizar seguimiento y comparaciones entre años para poder determinar el comportamiento de los sistemas lacustres, quedando además éstas de respaldo para su verificación y reprocesamiento.
- De acuerdo a los antecedentes presentados es posible afirmar que la metodología de imagen satelital tiene mejores resultados que el trabajo de levantamiento topográfico, en consecuencia, es factible realizar el seguimiento de superficies lacustres mediante análisis de imágenes satelitales y descartar el levantamiento topográfico en campañas posteriores.
- En virtud de lo anterior, se recomienda que a futuro el seguimiento anual de superficies lacustres se realice sólo en base a imágenes satelitales dejándose de efectuar levantamientos topográficos, los cuales resultan redundantes y menos precisos.

ANEXO I ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENTRE METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE SUPERFICIES LACUSTRES DEL SALAR DE ATACAMA

1. Introducción

El presente análisis estadístico tiene por objeto comparar las superficies lacustres de 6 lagunas del Salar de Atacama medidas mediante imagen satelital y levantamiento topográfico. Las lagunas consideradas son Barros Negros, Chaxas, Puillar, Salada, Saladita e Interna.

Se considera como la variable X el resultado de la medición del levantamiento topográficos e Y el resultado de la imagen satelital, el par (X,Y) corresponde a observaciones pareadas, que no son independientes por ser efectuadas sobre una misma laguna.

2. Metodología

La comparación de las mediciones X e Y se puede efectuar usando el método no paramétrico de Wilcoxon, que no requiere del conocimiento de las distribuciones de dichas variables.

Este método consiste en lo siguiente:

- Cálculo del valor Z el que se obtiene a partir de $Z = X - Y$.
- El valor Z indica las diferencias entre metodologías (X e Y). Este valor Z puede ser positivo o negativo.
- Se debe asignar a cada diferencia, en valor absoluto, su respectivo rango, que es su número de orden. El rango 1 se asigna al par (X, Y) cuya diferencia en valor absoluto sea la más pequeña. El rango 2 se asigna al par (X, Y) con la segunda diferencia más pequeña y así sucesivamente, por último se asigna a cada rango el signo que tiene la diferencia Z.
- Este método permite decidir si la segunda variable Y tiene el mismo valor promedio que la variable X. La regla de decisión está basada en la suma de todos los rangos positivos (V_s) de las diferencias, que tiene una distribución dada por Wilcoxon.
- Si V_s es la suma de las diferencias positivas y se cumple que la probabilidad que dicha suma sea menor a un valor crítico dado en la tabla, se rechaza la hipótesis que las variables X e Y tengan igual promedio.
- Un rango positivo de la diferencia indica que la superficie medida por la imagen satelital excede a la medida topográfica.

3. Resultados

TABLA I-1
SUPERFICIES LACUSTRES, DIFERENCIAS Y RANGOS DE LAS LAGUNAS DEL SALAR DE ATACAMA

Laguna	Superficie (m2)		Diferencia	Rangos
	Topografía	Imagen satelital		
Barros Negros	1.130.213	1.152.803	22.590	4
Chaxa	310.739	336.644	25.905	5
Puilar	76.857	65.439	-11.418	-3
Salada	199.394	196.616	-2.778	-1
Saladita	110.502	105.274	-5.228	-2
Interna	246.295	199.968	-46.327	-6

$$V_s = 4 + 5 = 9$$

De acuerdo a la tabla la probabilidad $P(V_s < 9) = 0.1250$. Conforme a lo anterior, este valor puede ocurrir por azar (12.50%) y no hay evidencia para rechazar el supuesto que ambos métodos de medición producen distintas valores para los promedios de las superficies.

4. Referencias

Lehmann, E. L., 1975. Nonparametrics Statistical Methods based on Ranks. Holden-Day

Conover, W. J., 1999. Practical Nonparametric Statistics, J. Wiley