

Análisis Satelital Multitemporal de la Laguna Fea, Provincia de Neuquén

Miguel Angel Giraut¹ - Sebastián Gabriel Ludueña²

Resumen

En el mes de marzo de 2017, con la participación de profesionales de reparticiones nacionales y provinciales, se llevó a cabo el reconocimiento de un área remota y de difícil acceso en el norte de la provincia de Neuquén, colindante con la provincia de Mendoza y la República de Chile, donde se localiza la laguna Fea. El cuerpo de agua se encuentra alojado en una artesa glacial a una altura de 2.300 m, en un área volcánica y tectónicamente activa, en las cabeceras del río Barrancas, uno de los principales afluentes del río Colorado. El desborde natural del cuenco afectaría a las poblaciones situadas aguas abajo, y con la posibilidad de poner en riesgo la estabilidad del Embalse Casa de Piedra, ha llevado a la realización de estudios de diversa índole, complementarios a las mediciones periódicas del nivel de la laguna. La disminución de los niveles hidrométricos de la laguna, llevó a la necesidad de identificar el grado de vinculación que pudiera existir entre la mencionada reducción del cuerpo de agua y el desarrollo de vertientes naturales en el sudeste del cordón montañoso denominado Infiernillo, donde una mayor disponibilidad de humedad posibilita la proliferación de mallines. Con el objeto de establecer el grado de vinculación entre el desarrollo de mallines con el escurrimiento de la laguna, se ha utilizado las ventajas que ofrece la percepción remota a través del mapeo, la cuantificación y evolución temporal de la superficie de la laguna y del área de mallines, para el período 1975-2020.

Palabras Clave: procesamiento satelital; evolución temporal; laguna Fea

¹Profesor Asociado, Geomorfología Estructural. Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía, UBA. Profesor Titular, Sistemas de Información. Maestría de Gestión del Agua. Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA. Argentina - ma.giraut@gmail.com - ORCID 0000-0002-9529-1095

² Profesor Adjunto, Cátedra Sistemas de Información. Maestría de Gestión del Agua. Facultad de Ciencias Veterinarias UBA. Argentina - sgluduenaa@yahoo.com.ar

Multitemporal Satellite Analysis of Laguna Fea, Province of Neuquén

Abstract

In March 2017, with the participation of professionals from national and provincial departments, a survey was carried out in a remote area with difficult access in the north of the province of Neuquén, adjacent to the province of Mendoza and the Republic of Chile, where the Fea lagoon is located. It is placed in a glacial trough at a height of 2.300 m, in a volcanic and tectonically active area, in the upper basin of the Barrancas River, one of the main tributaries of the Colorado River. The natural overflow of the basin would affect the populations located downstream, and even with the possibility of endangering the stability of the Casa de Piedra reservoir, it has led to the carrying out of studies of various kinds, complementary to the periodic measurements of the lagoon water level. The decrease in the hydrometric levels of the lagoon led to the need to identify the degree of link that could exist between the above-mentioned reduction of the body of water and the development of natural springs in the southeast of the mountain range called Infiernillo, where greater availability humidity allows the proliferation of mallines. In order to establish the degree of link between the development of mallines and the runoff from the lagoon, the advantages offered by remote sensing were use through mapping, quantification and temporal evolution of the surface of the lagoon and the area of mallines, for the period 1975-2020.

Key Words: satellite analysis; multitemporal; laguna Fea

Antecedentes

La hoya hidrográfica del río Colorado abarca 48.000 km² distribuidos entre los territorios de las provincias de Mendoza, Neuquén, La Pampa, Río Negro y Buenos Aires. Es a partir de la confluencia de los ríos Barrancas y Grande – 20 km al norte de la localidad de Buta Ranquil, en el norte de la provincia de Neuquén – que el río Colorado *Sensu stricto* inicia el escurrimiento hasta la desembocadura en el Océano Atlántico. El río Barrancas, con cabeceras en la cordillera de los Andes, recorre 130 km hasta su vinculación con el río Grande y, aguas arriba, aproximadamente a 50 km de dicha confluencia, se sitúa la laguna Carri-Lauquen, **Figura N°1**. De acuerdo a Groeber (1914), la laguna Carri-Lauquen debe su origen a un “endicamiento

natural”, producto del desmoronamiento de los flancos de los valles del río Barrancas, que causó la formación de un cuerpo estanco, y alteró el normal escurrimiento fluvial aguas abajo. En las crónicas del año 1914, se lee:

... Como resultado de la ruptura del dique natural que servía de embalse a las aguas de la laguna, el 29 de diciembre se generó un aluvión de agua, piedras y barro que arrasó los valles de los ríos Barrancas y Colorado, causando importantes pérdidas materiales y humanas...

Groeber (1914)

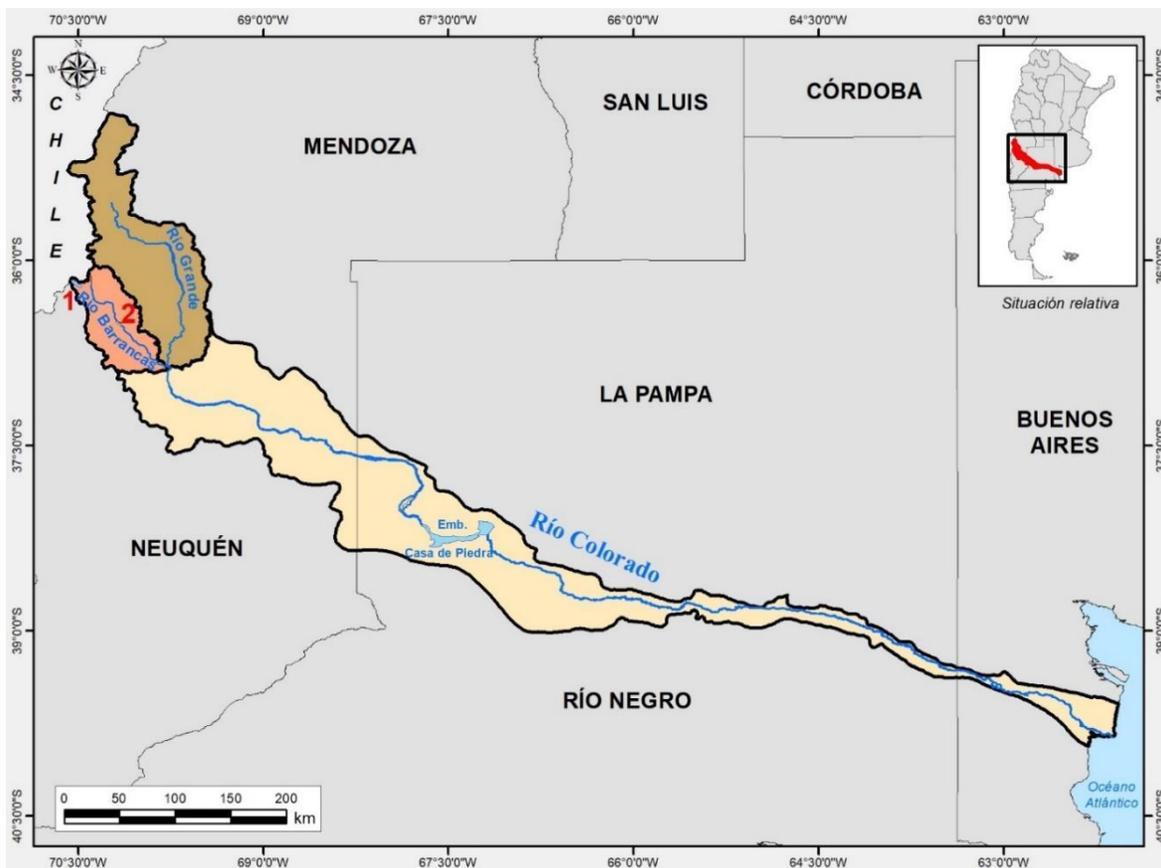


Figura N° 1 Ubicación de las lagunas Fea (1) y Carri-Lauquen (2), en el contexto de la Cuenca del Río Colorado

Situación Actual

Un evento de similares características difícilmente vuelva a suceder, ya que hoy las aguas fluyen libremente sin el impedimento que existiera en épocas pasadas. Sin embargo, la existencia de otro cuerpo lagunar, denominado *laguna Fea*, en las nacientes del río Barrancas, es motivo de

preocupación de autoridades y población local, por temor a la ocurrencia de un episodio semejante al que sucediera en el año 1914, producto del vaciamiento de la laguna Carri – Lauquen, pero a expensas de la laguna Fea. La laguna Fea está ubicada en la cuenca superior del río Barrancas, en el noroeste de la provincia de Neuquén, próxima al límite internacional con la República de Chile **Figura N° 1**. Constituye un cuerpo lacustre elongado con rumbo noroeste-sudeste, con una longitud de 11 km, un ancho promedio de 2 km, con una profundidad de 250 m y un volumen superior a los 2.000 hm³. El cuerpo de agua se encuentra emplazado en un valle glacial a 2.300 m de altitud, y su permanencia depende de la tasa de ingreso y egreso del agua a la misma, (Malagnino *et al.*, 2016). Esta última aseveración, se sustenta en la evaluación hidro-meteorológica llevada a cabo por la Comisión del Río Colorado, (COIRCO, 2016), de donde se extraen, entre otras, las siguientes conclusiones:

1. Existe una relación entre los descensos del nivel de la laguna Fea y la caída en los registros nivales cuando fueron menores al valor medio para la serie histórica.
2. Aún en períodos de nevadas, hay pérdidas de nivel de la laguna, con excepción de los días de temporal/nevadas.

Además, Malagnino (*op. cit.*) describe un sistema hidrogeológico de transferencia de agua, desde la laguna Fea al valle del arroyo Curamillo (tributario del río Barrancas), ubicado en el Filo del Infiernillo. Estas vertientes han llevado a la proliferación de un importante tapiz vegetal que denota la ubicación de los escurrimientos sobre el cordón rocoso, **Figura N° 2**.

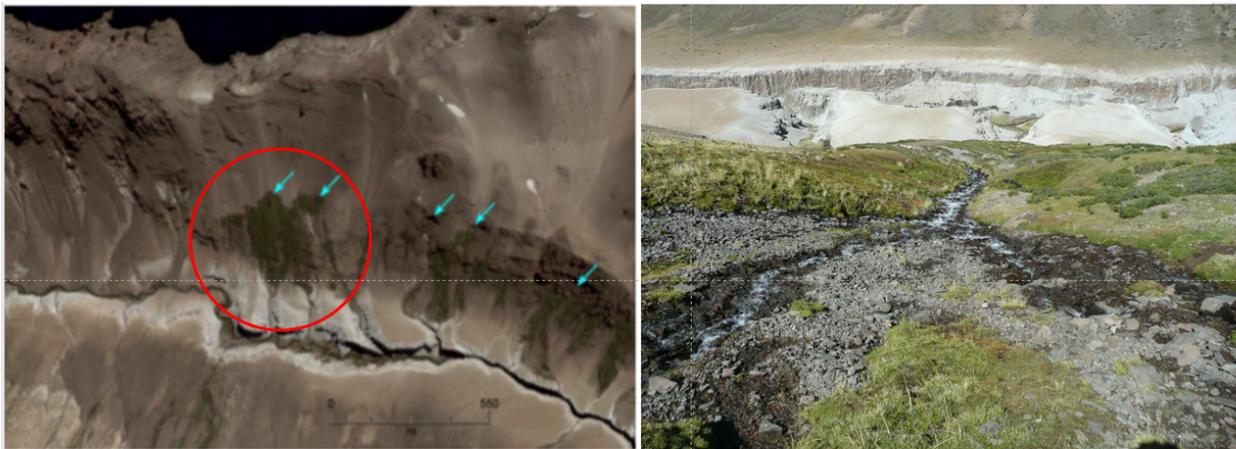


Figura N° 2 Vista aérea <https://www.google.com.ar/maps/@-36.2113033,-70.4849721,2406m/data=!3m1!1e3>

Detalle del área de mallines sobre el Filo del Infiernillo (Campaña 2017)

La carencia de registros de caudales de los manantiales, originados por el aporte hídrico de la laguna, dificulta poder establecer con certeza, el grado de vinculación existente entre el flujo subterráneo con la aparición de mallines, y que esto supusiera una mayor peligrosidad para la estabilidad del interfluvio. Por lo antedicho, y en base a las investigaciones impulsadas por COIRCO, esta iniciativa ha pretendido ampliar el diagnóstico de la problemática a cuestiones estrictamente geológicas e hidro-meteorológicas. La incorporación del análisis multiespectral y multitemporal de imágenes de satélite, posibilitó, establecer como objetivo primario de la investigación, el grado de vinculación que pudiera existir entre las variaciones de área de la superficie del espejo de agua de la laguna con el desarrollo de áreas de mallines, presentes en la pendiente sur del Filo del Infiernillo, entre las fechas: 08/04/1975 y 19/01/2020, a través del monitoreo remoto.

Metodología

La investigación se desarrolló a partir del procesamiento digital de imágenes de satélite basada en las ventajas que brinda la observación espacial. Específicamente, se ha recurrido a las propiedades referidas a la Resolución Temporal y Resolución Espectral de las escenas satelitales. Para una ordenada y mejor descripción, se ha considerado pertinente presentar el desarrollo a través de tres acápites, a saber: *Marco Teórico*, *Naturaleza de los Datos* y *Procesamiento Digital*.

Marco Teórico

Las características orbitales de un satélite permiten obtener imágenes de manera periódica y en condiciones similares de observación, favoreciendo a los estudios que requieran una dimensión temporal. Además, como el registro del sensor es casi instantáneo, es posible extrapolar valores de parámetros físicos como humedad o índices de área foliar de la vegetación (Chuvienco, 2006).

La Resolución Temporal (o tiempo de revisita) refiere a la periodicidad con la que el sensor registra una escena de la misma porción de la superficie terrestre. Esta característica habilita el análisis de fenómenos dinámicos, tales como inundaciones, sequías, incendios etc. Este rasgo ha posibilitado analizar el área bajo análisis, en un período pasado y prolongado en el tiempo, por

haber quedada registrada en las misiones satelitales. Otra cualidad, propia de la teleobservación y que animó al presente análisis, es la que refiere a que, en una escena satelital, los rangos de energía son, en función del instrumental, almacenados de acuerdo a específicos rangos de longitudes de onda, denominados bandas o canales. La información es registrada por el sensor en un arreglo matricial tridimensional, donde, dos de ellas son utilizadas para la identificación de las coordenadas geográficas, en tanto que la tercera, está reservada para la Resolución Espectral. La Resolución Espectral, señala la cantidad y ancho de banda que puede discriminar un instrumento. A mayor número de bandas y menor rango del espectro electromagnético que cada una de éstas comprenda, mayor será la posibilidad de caracterizar espectralmente las entidades que se requiera identificar. Esta propiedad, fue utilizada para aislar y cuantificar a las Entidades: Agua y Mallín², independizándolas de la Roca o Suelo Desnudo circundante, fundada en la respuesta espectral diferencial y propia de cada una de ellas **Figura N° 3**. Al espejo de agua de la laguna Fea, se lo ha asociado a la Clase Agua, en tanto que la Clase identificada como Mallín, se la ha relacionado con la línea de drenaje reconocida en la ladera Sur del Filo del Infiernillo, donde el escurrimiento hídrico aflorante, ha llevado a la proliferación de una vegetación distintiva respecto al ambiente que la rodea. En la Figura N° 3 se presenta la respuesta espectral para las clases Agua y Vegetación (Lilesland & Kieffer, 2000). Sobre la izquierda se visualizan los bajos valores de reflectancia, a lo largo del espectro electromagnético para la firma espectral correspondiente al Agua. Sobre el gráfico de la derecha, se señala entre otras características, los altos valores (picos) de la curva en el sector del infrarrojo cercano, como producto de la clorofila asociada a la Vegetación.

²**Mallín**, es una palabra de origen mapuche, que refiere a ecosistemas en áreas muy localizadas y relativamente aisladas, que pueden formar un complejo de humedales más o menos continuos o encadenados ocupando líneas de drenaje en sierras y mesetas (Ovando, 2016).

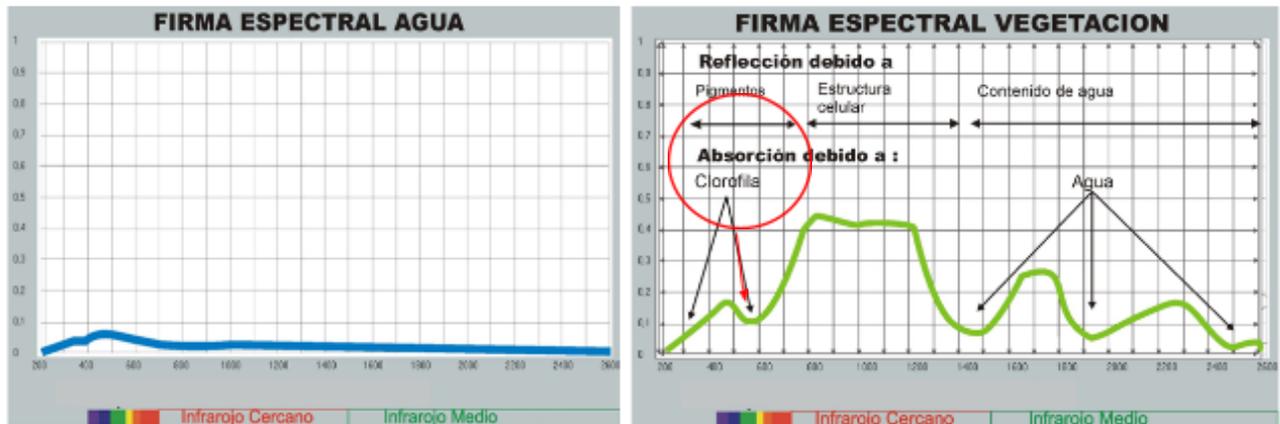


Figura N° 3 Firmas Espectrales. (Fuente: Lillesand y Kieffer (2000) modificada)

La particular respuesta electromagnética de cada una de las entidades del medio físico, Agua y Mallín (vegetación), seleccionadas garantizaban poder llevar adelante el análisis sugerido.

Naturaleza de los datos

Desde el lanzamiento del satélite Landsat llevado a cabo en el año 1975, los sensores de abordaje adquirieron distinta denominación a medida que las resoluciones eran ampliadas, identificándose por la sigla: MSS (Multispectral Scanner System), TM (Thematic Mapper), ETM⁺ (Enhanced Thematic Mapper) y OLI (Operational Land Imager). En la Tabla N° 1 se listan las 11 (once) escenas satelitales seleccionadas y procesadas, ordenadas por fecha de toma y caracterizadas por la identificación del satélite, denominación del sensor, número de bandas disponibles y tamaño de pixel.

#	Satélite	Sensor	N° de Bandas	Píxel	Fecha de toma
1	Landsat 4	MSS	4	80 m	08/04/1975
2	Landsat 5	TM	7	30 m	29/01/1989
3	Landsat 5	TM	7	30 m	24/01/1990
4	Landsat 7	ETM	8	30 m	07/02/2001
5	Landsat 5	TM	7	30 m	25/01/2005
6	Landsat 7	ETM	8	30 m	15/01/2010
7	Landsat 8	OLI	11	30 m	21/01/2015
8	Landsat 8	OLI	11	30 m	25/01/2017
9	Landsat 8	OLI	11	30 m	29/01/2018
10	Landsat 8	OLI	11	30 m	16/01/2019
11	Landsat 8	OLI	11	30 m	19/01/2020

Tabla N° 1 Identificación de escenas de satélite Procesadas

Las imágenes fueron seleccionadas a partir de la ausencia de nubes dentro del rango temporal elegido (mediados de los meses de enero a febrero), para una mejor identificación de las clases espectrales mencionadas, y fueron obtenidas del Sitio del Servicio Geológico de Estados Unidos: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

La Figura No 4 presenta las escenas satelitales adquiridas para desarrollar el procesamiento.

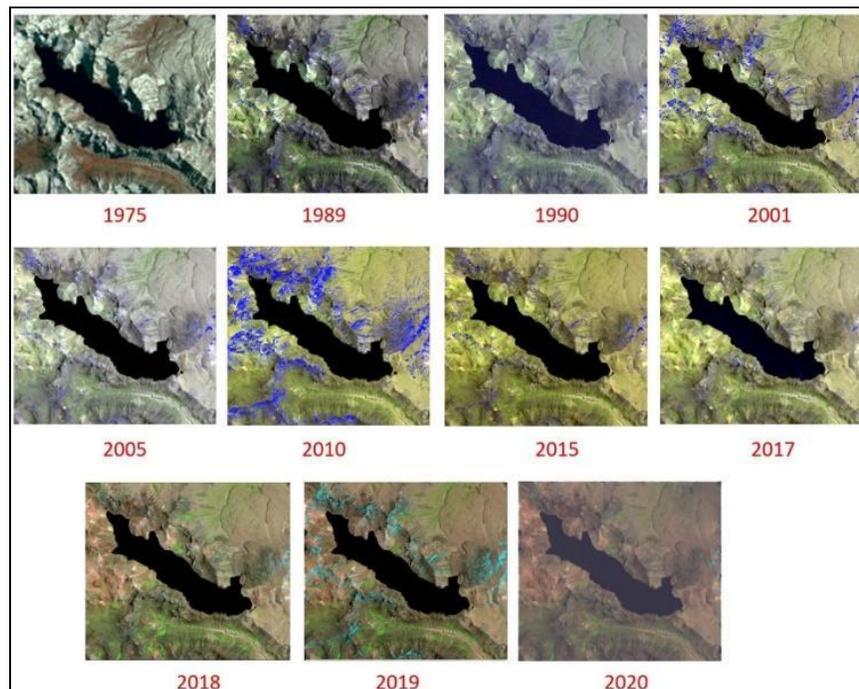


Figura N° 4 Escenas utilizadas para el procesamiento - Path 232, Row 085.

La entidad de tonalidad oscura, negra, orientada diagonalmente (dirección NO-SE) en cada una de las escenas se corresponde a la laguna Fea. Esta coloración obedece a la combinación espectral seleccionada (Infrarrojo Medio – Infrarrojo Cercano – Azul para los canales RGB, respectivamente), a fin de que la componente de absorción de la energía solar, que ocurre en los cuerpos de agua esté resaltada, y así poder observar sus límites con mayor nitidez.

Procesamiento digital

El procesamiento digital se realizó de manera sistemática sobre la totalidad de las escenas satelitales, y para ello se utilizó el módulo de análisis de imágenes del software ArcGIS, a fin de completar tres actividades:

- a) Aislar espectralmente a las clases identificadas como Agua y Mallín,
- b) Calcular su valor de área asociado a cada una de las fechas seleccionadas, y
- c) Evaluar la dinámica de las entidades seleccionadas

La primera tarea se respalda en el carácter numérico de la información satelital, pues habilita llevar a cabo combinaciones aritméticas entre bandas, mediante un procedimiento conocido como cociente de bandas. Esta técnica ha sido utilizada para discriminar las masas vegetales y la cobertura hídrica, dado el peculiar comportamiento radiométrico del agua y la vegetación. Se han aplicado una combinación de procedimientos para la validación cuantitativa de píxeles asociada a una y otra categoría. El Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) fue utilizado para identificar la presencia de clorofila. Si bien, esta combinación puede ser utilizada para la detección de humedad, ésta última característica ha sido calculada a partir de la cuantificación de píxeles agrupados a partir de la respuesta espectral del canal Infrarrojo.³

El cálculo NDVI fue realizado a través de la operación entre bandas, derivado de los valores de la reflectancia en la banda roja e infrarroja del espectro electromagnético, que describe la cantidad relativa de biomasa entre una región y otra (Lillesand y Kieffer, 2000). En la Tabla N° 2 se señalan la numeración de las bandas utilizadas, por presentar una numeración distintiva en función del sensor.

Sensor	Bandas utilizadas
MSS	2 (R) – 3 (Irc)
TM	3 (R) – 4 (Irc)
ETM	3 (R) – 4 (Irc)
OLI	4 (R) – 5 (Irc)

Tabla N° 2 Numeración de bandas utilizadas en función del Sensor

El cálculo del NDVI se ha realizado de acuerdo a la siguiente ecuación:

³ La respuesta espectral del agua en la región del infrarrojo del espectro, manifiesta una disminución en la reflectancia (mayor absorción) de la superficie a medida que el contenido de humedad aumenta. (Giraut, 1995)

$$\text{NDVI} = (\text{Irc} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R})$$

Donde,

Irc – Infrarrojo cercano

R – Banda roja

Resultados

- El objetivo final de procesamiento digital ha sido de aislar las coberturas relacionadas con cuerpo de agua de la laguna Fea y del área de Mallines para el periodo 1975 – 2020.
- El procesamiento digital ha permitido la identificación, aislamiento y cuantificación de las entidades *Agua* y *Mallines*, en función de la respuesta espectral, **Figura N° 5**.



Figura N° 5 Entidades analizadas – Laguna y Mallines - Fecha de Toma 29/01/2018

- El cálculo de las superficies de las entidades seleccionadas, se realizó a partir de la vectorización de las clases obtenidas mediante una Clasificación No Supervisada de los NDVI elaborados para cada una de las escenas procesadas en las distintas fechas analizadas, a través de la aplicación ArcMAP.
- La Tabla N° 3 expone los cálculos de áreas para las fechas seleccionadas.

#	Fecha de toma	Laguna Fea km ²	Área mallines km ²
1	08/04/1975	17,60	0,19
2	29/01/1989	18,26	0,49
3	24/01/1990	18,20	0,41
4	07/02/2001	17,69	0,37
5	25/01/2005	18,13	0,56
6	15/01/2010	17,59	0,45
7	21/01/2015	17,53	0,61
8	25/01/2017	17,42	0,53
9	29/01/2018	17,12	0,40
10	16/01/2019	17,02	0,46
11	19/01/2020	17,03	0,38

Tabla N° 3 Cálculo de área de la laguna y de los mallines

1. Si bien se presentan los valores de los 45 años procesados, se ha optado por interpretar la evolución a partir del año 2005.

- La máxima superficie de la laguna ha sido en el año 1989, con 18,26km², en tanto que la mínima se ha manifestado en el año 2019, con 17,02 km².
- A partir del año 2005 es manifiesta la disminución continua del espejo lagunar.
- La superficie de los mallines presenta un comportamiento particular. En ocasiones ésta se manifiesta de manera similar al espejo de agua, y en otras no (años 2015 y 2019).

2. De los valores de altura (disponibles) de la laguna Fea se identifican, incrementos y disminuciones de comportamiento regular en el tiempo, sin evidencia de cambios bruscos. Se observa una fluctuación de descensos y ascensos periódicos del espejo de agua, **Figura N° 6.**



Figura N° 6 Promedio mensuales de alturas de laguna Fea

Consideraciones Finales

La utilización de la percepción remota ha posibilitado:

- ✓ Analizar un área de difícil acceso y de la cual se carece de suficiente información, pero de vital importancia para la gestión de la Cuenca del Río Colorado.
- ✓ Visualizar y reconstruir de manera objetiva la evolución temporal de lo acontecido en el espejo de la laguna Fea y en el área de mallines sobre el Filo del Infiernillo, a lo largo de un período de 45 años.
- ✓ Revelar que existe una oscilación natural de aumento y descenso de la superficie del espejo de agua, en correspondencia con lo expuesto en el Informe Hidro-meteorológico de COIRCO (*op. cit.*).
- ✓ Identificar que la tendencia no ha quedado registrada de manera manifiesta en los valores de altura registrados en la estación de la laguna Fea.
- ✓ Suministrar la metodología presentada a las autoridades de COIRCO, a fin de continuar con el monitoreo remoto del cuerpo lagunar para complementar a las mediciones *in situ*, del comportamiento de la laguna Fea.

Bibliografía

CHUVIECO, Emilio. (2006). Teledetección ambiental. 2da edición. Editorial Ariel. Barcelona, España. 586 pp.

COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RÍO COLORADO. (2016). Evaluación hidrológica preliminar y Balance Hidrológico a partir de los registros nivales en la Estación Puelches y derrame del río Barrancas. Anexo VI. <https://www.coirco.gov.ar/informes/carrilauquen>

GIRAUT, Miguel Ángel. (1995). Riesgo Hídrico. Aporte metodológico para la definición de la distribución espacial de la cobertura hídrica para áreas de baja pendiente. VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. Puerto Vallarta, México.

GROEBER, Pablo. (1914). Informe sobre las causas que han producido las crecientes del río Colorado. Territorio del Neuquén y La Pampa (Boletín N°11 Serie B, Geología). Comité Interjurisdiccional del Río Colorado - Centro de Documentación. <https://www.coirco.gov.ar/informes/carrilauquen>

LILLESAND, Thomas y KIEFER, Ralph. (2000). Remote Sensing and Image Interpretation. Wiley & Sons. 4th. Edition New York. USA. 736 pp.

MALAGNINO, Eduardo; TUNSTALL, Cynthia; SALMINCI, José y MEDINA, Víctor. (2016). Estudio de factibilidad de riesgo geológico Laguna Fea correspondiente al Programa Multisectorial de Pre-inversión. IV Préstamo BID 2851/OC-AR. Estudio 1.EE. 0614. Comité Interjurisdiccional del Río Colorado - Centro de Documentación. <https://www.coirco.gov.ar/informes/carrilauquen>

OVANDO, Norberto. (2016). Mallín de los Humedales Patagónicos. Honorable Senado de La Nación. Convocatoria Comisiones de Ambiente y Desarrollo Sustentable y de Agricultura, Ganadería y Pesca. <https://www.senado.gob.ar/upload/18577.pdf>