

DESARROLLO DE UN ÍNDICE REGIONAL DE BALANCE HÍDRICO INFERIDO A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE LA LAGUNA DE LLANCANELO, MENDOZA

Lucas Bianchi¹, Facundo Rojas¹, Juan Antonio Rivera¹, Mauro Britos Navarro², Ricardo Villalba¹

irivera@mendoza-conicet.gob.ar

¹Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA)

²Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC)

RESUMEN

En el presente trabajo se estimó la evolución temporal de la superficie de la laguna de Llanquanelo, ubicada al sur de la provincia de Mendoza, a partir del uso de imágenes satelitales Landsat. En función de la comparación de esta serie temporal con las fluctuaciones de los caudales y las precipitaciones en diversas escalas temporales se obtuvo que la misma sirve como un índice regional de disponibilidad hídrica. Las variaciones en la superficie de la laguna integran aportes nivales asociados a las escorrentías superficiales de los ríos de Cuyo, aportes de las precipitaciones asociadas a masas de aire de origen Pacífico y Atlántico y el rol de las tasas de evaporación y de la escorrentía sub-superficial. Esto permitió documentar la evolución regional de las condiciones hídricas mensuales durante los últimos 30 años en un área con escasa información hidrometeorológica y de vital importancia ecológica.

ABSTRACT

In this study, the temporal evolution of the surface of the Llanquanelo lagoon, located south of the province of Mendoza, was estimated from the use of Landsat satellite images. Based on the comparison of this time series with the fluctuations in the streamflow and precipitation at different time scales, we obtained that is useful as a regional index of water availability. Temporal variations in the surface of the lagoon can integrate snow-melt contributions associated with surface runoff from the rivers of Cuyo, contributions of rainfall associated with air masses from the Atlantic and Pacific oceans and the role of evaporation rates and groundwater flow. This enabled to document the regional evolution of monthly water conditions over the past 30 years in an area with few hydrometeorological information and ecological relevance.

Palabras clave: imágenes satelitales, balance hídrico, laguna de Llanquanelo.

1) INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es un elemento clave para la subsistencia y el desarrollo de las sociedades así, como para sostener la diversidad de la flora y de la fauna. En su informe más reciente, el IPCC (2013) identifica una mayor frecuencia de eventos extremos de inundaciones y de sequías asociados al cambio climático. Estos eventos tienen efectos marcados sobre la disponibilidad de agua potable y la producción agrícola abastecedora de alimentos. En el centro-oeste de Argentina, al sur de la provincia de Mendoza, se encuentra la laguna de Llanquanelo. Este cuerpo de agua forma parte de una cuenca endorreica que se caracteriza por una amplia diversidad biológica, manifestada especialmente en una gran cantidad de especies de aves acuáticas que utilizan los bañados y las costas de la laguna para

nidificación, alimentación y migración. Pueden encontrarse poblaciones de hasta 150.000 aves acuáticas durante el verano y 54.000 en invierno (Sosa, 1995). La laguna junto con sus alrededores constituye uno de los humedales de mayor importancia de Sudamérica. Fue declarada Reserva Natural por el gobierno de la provincia de Mendoza en el año 1980 y designada como sitio Ramsar en 1995. A pesar de su importancia ecológica, es un sitio donde se desarrolla la actividad hidrocarburífera, lo que ha generado diversos conflictos ambientales (D'Amico, 2013). También existen estudios arqueológicos que destacan el pretérito uso social de esta laguna desde los inicios del Holoceno tardío (Giardina et al., 2012). La superficie de la Laguna de Llanquanelo presenta amplias fluctuaciones a lo largo del tiempo, alcanzando un área de 80 km² durante períodos secos y cuadruplicando su valor durante años lluviosos (Isla et al., 2005).

Dada la importancia ecológica y social de esta laguna, resulta de interés conocer la dinámica temporal de las fluctuaciones en su superficie y su relación con el estado hidrológico de la cuenca en la que se encuentra. Para ello, el uso de datos satelitales puede complementar la falta de información hidrometeorológica, aunque no sean un sustituto de las mediciones in situ (Vuille et al., 2008). Los sensores remotos se han incorporado como una herramienta sencilla, rápida y económica para el monitoreo de sequías y estudios hidrológicos a nivel regional (Awange et al., 2013; Adams y Sada, 2014). En Argentina, por ejemplo, Pagot (2003) cuantificó la extensión de las superficies de agua en los Bañados del río Dulce en la provincia de Córdoba; Chen et al. (2010) utilizaron datos satelitales de gravimetría para el análisis de la evolución temporal del almacenaje de agua en el suelo en la Cuenca del Plata durante el período 2002-2009 y Carilla et al. (2013) utilizaron imágenes Landsat para estimar las variaciones interanuales de aridez entre los años 1985 y 2009 a través de la medición de las fluctuaciones de lagunas de altura en cuencas endorreicas en los Andes secos subtropicales.

En el presente trabajo se desarrolló un índice regional de disponibilidad hídrica, inferido a partir de la medición de la superficie de la laguna de Llanquanelo mediante imágenes satelitales Landsat. Esto permitió documentar la evolución regional de las condiciones hídricas mensuales durante los últimos 30 años en un área con escasa información hidrometeorológica y de vital importancia ecológica.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

2.1) ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca de la Laguna de Llanquanelo se encuentra al sur de la provincia de Mendoza, Argentina, entre los 35° 30' y los 36° de latitud sur y 69° 00' y 69° 15' de longitud oeste a 1330 m de altura, 70 km al este de la Cordillera de los Andes y rodeada de cadenas montañosas de mediana altura (aproximadamente 3.000 m, Figura 1). Es una cuenca endorreica que abarca una superficie de aproximadamente 10.602 km² conteniendo a la ciudad de Malargüe y a población dispersa en puestos, establecimientos rurales y explotaciones petroleras y de otros minerales (Chiodi, 2014). Este ambiente constituye un ecosistema acuático formado por bañados, ciénagas, estuarios y salinas, y en el área predominan arbustos xerófilos y espinosos (Cabrera, 1976). Las precipitaciones totales anuales en la región oscilan entre 250 y 400 mm, con un marcado gradiente NE-SW, mientras que los valores de temperaturas medias oscilan entre 17 y 19°C. Las fuentes de humedad atmosféricas pueden provenir del Océano Pacífico o del Atlántico. Las primeras se caracterizan por tener máximos de precipitación en el semestre invernal. Esta característica está asociada a la interacción de los flujos de humedad del anticiclón semi-permanente del Pacífico y la Cordillera de los Andes (Masiokas et al., 2006); a la ocurrencia de bajas segregadas durante el semestre frío (Garreaud y Fuenzalida, 2007) y al pasaje frecuente de frentes fríos (Seluchi et al., 2006). Mientras que las masas de aire continentales favorecidas por el anticiclón semi-permanente del Atlántico (Compagnucci et al., 2002) presenta un ciclo anual con máximos de precipitación en el semestre cálido.

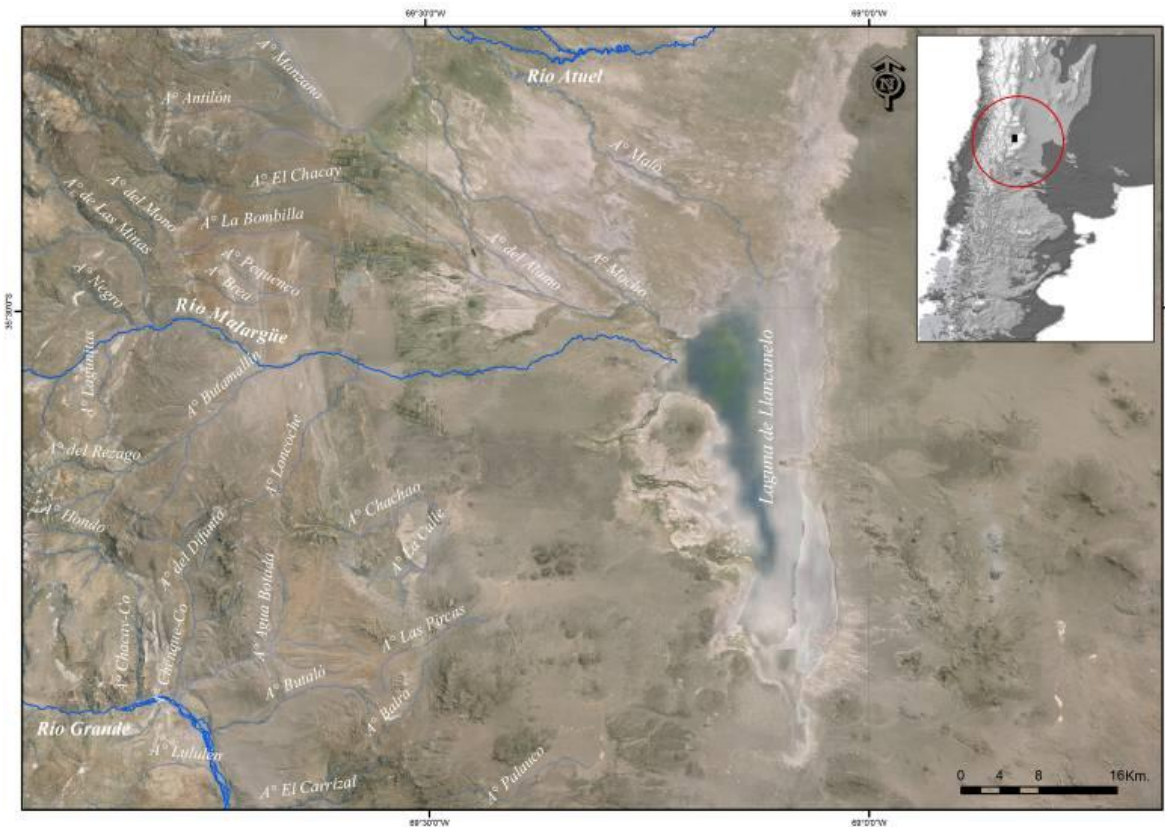


Figura 1. Área de estudio y principales cursos de agua.

Al ser una laguna poco profunda, que nunca supera los 3 metros (Isla et al., 2005), su superficie es sumamente variable en función de las precipitaciones, los aportes nivales y la tasa de evaporación. El principal tributario de la laguna Llanquanelo es el río Malargüe. Este río nace al sudoeste de la cuenca, en la laguna Malargüe (~2.500 m). El caudal medio de este río es de 7.7 m³.s⁻¹ (período 1987-2014) concentrándose desde octubre hasta diciembre y comienza a decrecer a mediados de enero. Además, la laguna recibe por su margen norte el aporte de los arroyos Malo y Mocho, que fluyen en sentido noroeste-sudeste (Figura 1). Estos arroyos nacen muy cerca del río Salado, afluente del Río Atuel y es posible que en el pasado hayan estado conectados al cauce del mismo.

2.2) DATOS SATELITALES Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5-TM, Landsat 7-ETM+ y Landsat 8-OLI-TIRS (30 metros de resolución espacial), las cuales fueron obtenidas del U.S. Geological Survey (<http://glovis.usgs.gov/>). Se trabajó con todas las imágenes disponibles en el período 1984-2013, con el propósito de obtener al menos una imagen por mes. Para clasificar las imágenes y estimar el tamaño de la laguna, se compararon distintos índices, como por ejemplo el Normalized Difference Water Index – NDWI– (Gao, 1996), el Modified NDWI –MNDWI– (Xu, 2006) y el Automated Water Extraction Index –AWEI– (Feyisa et al., 2014), cada uno con distintos valores límites para clasificar el agua. A fin de realizar una comparación, se utilizaron dos imágenes SPOT-5 de 5 metros de resolución espacial, una correspondiente al verano y otra al invierno del año 2013. En ambas imágenes la laguna fue identificada aplicando una clasificación manual. Esta clasificación se tomó como referencia para evaluar las superficies obtenidas mediante la clasificación automática utilizando los distintos índices (Ji et al., 2009). El mejor resultado se obtuvo utilizando el MNDWI con un valor límite de 0.35, con un error menor al 6% respecto de la clasificación manual en ambas imágenes. De acuerdo a Xu (2006) el

MNDWI se calcula como:

$$MNDWI = \frac{(G-MIR)}{(G+MIR)} \quad (1)$$

donde G corresponde a la banda verde y MIR corresponde a la Middle Infrared band. A partir de este índice se obtuvieron 259 valores de superficie cubierta por agua para el período 1984-2013.

2.3) DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS E ÍNDICES

Los datos de precipitación, de evaporación y de caudales en escala diaria y mensual fueron obtenidos de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Argentina (http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso_bd.php) para 19 estaciones hidrometeorológicas cercanas a la laguna (Tabla 1). Las series de precipitación se dividieron en dos grupos representativos de la variabilidad temporal en la cuenca y sus alrededores. Uno de ellos corresponde a las estaciones ubicadas sobre el pedemonte, al oeste de la laguna, y que registran la influencia de los sistemas atmosféricos provenientes del océano Pacífico. El otro grupo constituye las estaciones meteorológicas que son influenciadas por las masas de aire continentales favorecidas por el anticiclón semi-permanente del Atlántico, ubicadas en su mayoría al este-noreste de la laguna. Estos grupos se denominaron P y A, respectivamente, en función de la influencia de los océanos Pacífico y Atlántico. Se observan marcadas diferencias en el ciclo anual de ambos grupos (Figura 2a), con máximos en invierno (verano) para la serie de precipitación de la región P (A). Los acumulados de precipitación son superiores en las estaciones de la región P respecto a la región A (Figura 2b), destacándose una gran variabilidad interanual en las series temporales de precipitación. Se considera a ambas regiones como independientes desde el punto de vista del comportamiento temporal de la precipitación, lo cual se verifica además mediante la correlación entre las series de la Figura 2b (resultado no mostrado).

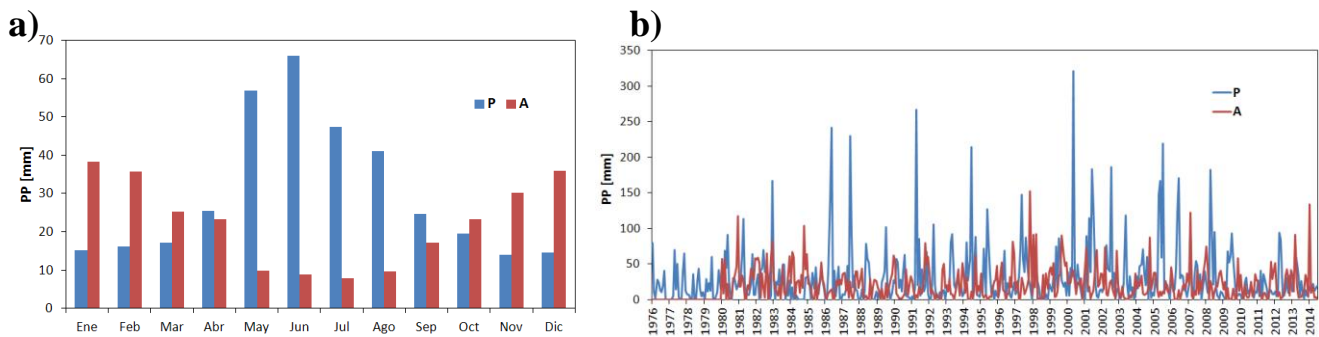


Figura 2. (a) Ciclo anual de precipitación de los dos grupos de estaciones utilizados (barras azules para la región P y barras rojas para la región A). (b) Evolución temporal de las series de precipitación mensual en las regiones P (línea azul) y A (línea roja).

En base a las series regionales de precipitación y las series de caudales en las estaciones de aforo indicadas en la Tabla I se calcularon el índice de precipitación estandarizado –IPE– (McKee et al., 1993) y el índice de caudal estandarizado –ICE– (Shukla y Wood, 2008). Ambos índices pueden calcularse en múltiples escalas de tiempo, es decir, pueden acumularse los valores de precipitaciones y caudales durante una determinada cantidad de meses para generar nuevas series de datos. En este trabajo el IPE fue calculado en escalas de 1, 3, 6, 12, 18 y 24 meses, mientras que la acumulación de los caudales se calculó en escalas de 1, 3, 6 y 12 meses. Se estudió la relación entre las fluctuaciones de tamaño de la laguna y las variaciones de las precipitaciones y los caudales utilizando como medida de

similitud el coeficiente de correlación de Pearson.

Nombre	Río	Variable	Período
El Nihuil	Atuel	Precipitación / Evaporación ^A	1981-2014
Dique	Malargüe	Precipitación / Evaporación ^P	1992-2014
Los Mayines	Grande	Precipitación / Evaporación ^P	1986-2014
Las Salinas	Atuel	Precipitación ^A	1983-2014
Las Malvinas	Atuel	Precipitación ^A	1980-2014
Puesto Marfil	–	Precipitación ^A	2004-2014
Bardas Blancas	Grande	Precipitación ^P	1986-2014
Arroyo La Vaina	Poti Malal	Precipitación ^P	1985-2014
La Angostura	Atuel	Precipitación / Caudal ^A	1906-2013
Loma Negra	Atuel	Precipitación / Caudal ^P	1981-2013
Pincheira	Pincheira	Precipitación / Caudal ^P	1974-2013
El Sosneado	Atuel	Caudal	1972-2013
Cañada Ancha	Salado	Caudal	1940-2013
La Estrechura	Grande	Caudal	1978-2012
Valle Noble	Valenzuela	Caudal	1981-2013
La Barda	Malargüe	Caudal	1987-2013
Las Loicas	Chico	Caudal	1992-2013
Gendarmería	Poti Malal	Caudal	1971-2013
La Gotera	Grande	Caudal	1972-2013

Tabla I. Características de las estaciones hidrometeorológicas utilizadas. El superíndice A o P en la columna “variable” indica a que región pertenece cada estación.

3) RESULTADOS

3.1) EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA DE LLANCANELO

Luego de procesar y clasificar las imágenes se obtuvo la serie de las fluctuaciones del tamaño de la superficie de la laguna de Llanquanelo. La Figura 3 muestra su evolución temporal durante el período 1984-2013. Se observa la existencia de datos faltantes entre los años 1984 a 1997, asociados ya sea a períodos de cobertura nubosa sobre la extensión de la laguna o a la falta de datos satelitales. Desde 1998 a 2013, la serie está casi completa (solo faltan 7 imágenes de 192). Otros trabajos han identificado

la falta de imágenes satelitales durante la década de 1980 (Adams y Sada, 2014).

A lo largo de la serie se identifican períodos de tiempo relativamente húmedos, como por ejemplo 1984-1988, 2001-2003 y 2006-2009. En esos años la superficie de la laguna superó las 20.000 ha. Asimismo, pueden identificarse períodos en los que la extensión espacial de la laguna se vio reducida, como por ejemplo los años 1989-1999 y 2010-2013. En general, durante esos períodos la superficie de la laguna fue inferior a las 15.000 ha. El análisis de la variabilidad intra-anual muestra fluctuaciones del orden estacional, con incrementos en el área de la laguna en los meses de invierno y principios de la primavera y un decrecimiento del área durante el verano-otoño (resultado no mostrado). La evolución temporal de la superficie de la laguna refleja la dinámica en la cobertura de nieve de los Andes centrales (Masiokas et al., 2012), particularmente a partir del año 2000.

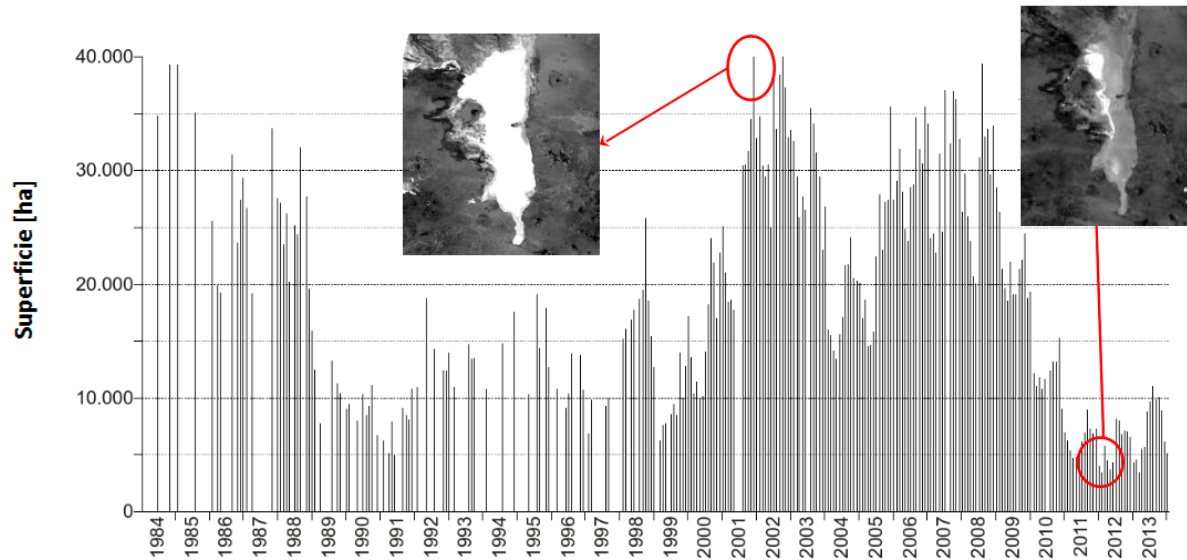


Figura 3. Serie temporal de la superficie de la laguna de Llacanelo. Se detallan las imágenes satelitales correspondientes a noviembre de 2001 (exceso) y enero de 2012 (déficit).

3.2) RELACIÓN ENTRE LAS VARIACIONES EN EL TAMAÑO DE LA LAGUNA Y LAS VARIACIONES HIDRO-CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN

La comparación entre las variaciones mensuales de los caudales del río Malargüe con la superficie de la laguna de Llacanelo sugiere una buena relación entre las variaciones del caudal asociado mayormente al derretimiento nival y las variaciones de la superficie ocupada por la laguna (Figura 4). El valor de correlación entre ambas series de datos es de $r = 0.61$, significativo al 99%. Los períodos con caudales deficitarios ($ICE \leq -1.0$) se asocian con períodos en los que la extensión de la laguna fue más reducida, mientras que los períodos de excesos en los caudales ($ICE \geq 1.0$) están asociados a períodos en los que la extensión de la laguna se incrementa (Figura 4). Del mismo modo, si se procede a calcular los coeficientes de correlación entre las series de caudales mensuales de los ríos de Cuyo se obtienen valores siempre significativos (superiores a $r = 0.5$, resultado no mostrado), lo cual responde al comportamiento homogéneo identificado para los ríos de la región por Compagnucci y Araneo (2005). El hecho de acumular los caudales mensuales genera un incremento en los valores de correlaciones, de 0.61 en escala de un mes a 0.79 en escala de 12 meses (Tabla II), lo cual responde a la mejor representación de variabilidades de baja frecuencia por parte de las series de ICE, asociado a las fluctuaciones interanuales del aporte nival.

Del mismo modo, se procedió a identificar la contribución de las precipitaciones en las variaciones de la superficie de la laguna. Las correlaciones con la serie de la región A resultaron significativas

únicamente en escala de 18 meses (Tabla II), mientras que en el caso de la región P a partir de la acumulación de las precipitaciones en escala de 3 meses se encontraron valores significativos. Esto verifica que el tamaño de la laguna se ve mayormente influenciado por la componente de precipitación invernal. El incremento en los valores de correlación con la serie de precipitaciones en la región P a medida que se incrementa la escala de tiempo podría asociarse a procesos de escorrentía sub-superficial y al efecto regulador de la variabilidad interanual en el derretimiento de la nieve. A pesar de las correlaciones no significativas entre las precipitaciones en la región A y la superficie de la laguna, se observó que incrementos repentinos durante los meses de verano se asocian a eventos de abundantes precipitaciones en dicha región (resultado no mostrado), lo cual destaca el aporte de las masas de aire de origen Atlántico en la modulación de la superficie de la laguna durante eventos extremos. En este sentido, cabe destacar que entre el 14 de enero y el 15 de febrero de 2012 el tamaño de la laguna se incrementó en un 66.19%, asociado a abundantes precipitaciones en la región A entre el 6 y el 15 de febrero de 2012 (Figura 5^a). Asimismo, la falta de precipitaciones durante el verano y las altas tasas de evaporación en la cuenca favorecen la disminución de la superficie de la laguna, como es el caso de las diferencias observadas entre octubre y noviembre de 2010, con una reducción de 41.60% (Figura 5b). En ese caso también debe considerarse que el caudal del río Malargüe se encuentra casi dos desviaciones estándar por debajo del valor normal (Figura 4).

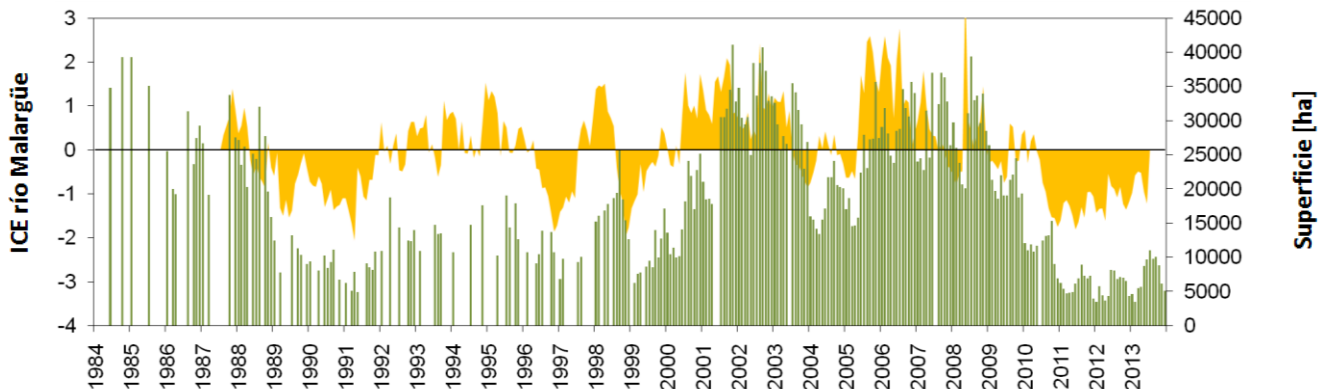


Figura 4. Comparación entre la evolución temporal de la superficie de la laguna y la serie de caudal estandarizado del río Malargüe.

Escala de tiempo (meses)	ICE Malargüe	IPE P	IPE A
1	0,61	0.06	-0.04
3	0,71	0.20	0.01
6	0,77	0.34	0.10
12	0,79	0.60	0.15
18	–	0.73	0.25
24	–	0.77	0.29

Tabla II. Coeficientes de correlación obtenidos entre la serie temporal de superficie de la laguna y las series estandarizadas de caudales y precipitaciones en distintas escalas de tiempo

4) DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la variabilidad en la extensión superficial de la laguna de Llacanelo está modulada principalmente por el derretimiento de la nieve (originada por precipitaciones asociadas a las masas de aire provenientes del Océano Pacífico) en la Cordillera de los Andes. Esto se verificó

mediante la correlación entre la serie temporal de la superficie de la laguna, las precipitaciones en la porción oeste de la cuenca y los caudales asociados a la fusión nival. En segundo lugar, se encuentra influenciada por los eventos de precipitación locales (originada por precipitaciones asociadas a las masas de aire provenientes del Océano Atlántico) como las tormentas estivales, lo cual genera incrementos rápidos en la superficie; y por último, la evaporación juega un papel importante principalmente en épocas de escasas precipitaciones. El índice utilizado, por tener un carácter integrador de estos factores moduladores, permite evaluar de mejor forma el balance hídrico de la cuenca en comparación con otros indicadores que consideran únicamente los caudales, las precipitaciones o la evaporación. Además, considera el aporte de aguas subterráneas, cuya cuantificación directa es difícil de estimar. Este índice se obtiene de forma rápida y gratuita y puede adaptarse para el monitoreo de las condiciones hídricas en otras regiones del país. Similares metodologías para estimar el tamaño de cuerpos de agua a partir de imágenes satelitales han sido aplicadas en numerosos trabajos previos con resultados satisfactorios (El-Asmar et al., 2013; Adams y Sada, 2014). En coincidencia con los resultados obtenidos en esta investigación, estudios similares para otras regiones áridas del planeta han encontrado que el índice MNDWI resulta más eficiente para identificar cuerpos de agua (Zhang et al., 2011; Campos et al., 2012). Además, este trabajo provee una ampliación de los resultados obtenidos previamente por Isla et al. (2005) para el período 1999-2002 y brinda una herramienta de monitoreo del estado hídrico en un área de relevancia ecológica.

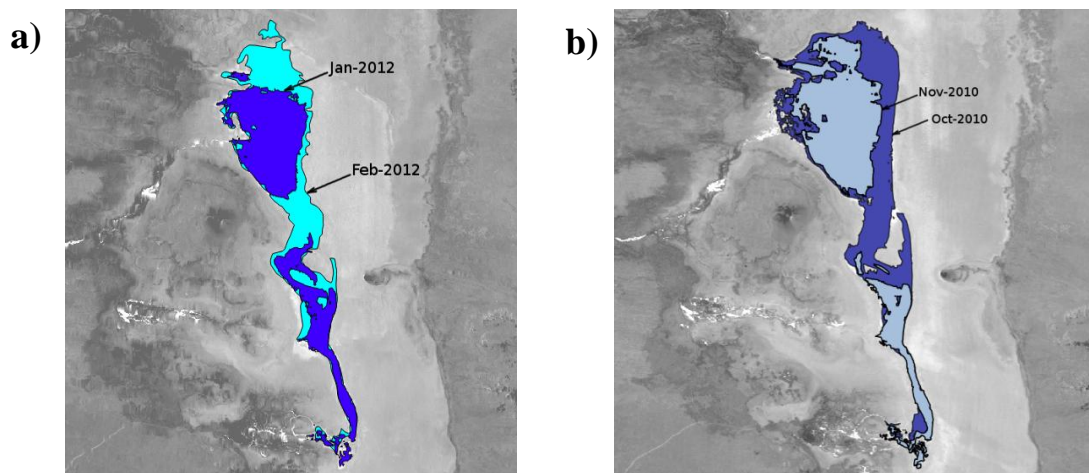


Figura 5. Diferencia entre la superficie de la laguna de Llanquanelo en casos en los que se registraron incrementos (a) o déficits (b) en las precipitaciones de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha contado con el aporte de los fondos provenientes de los proyectos PIP 2010-439 de CONICET y PICT 2013-0043 de la ANCyT. Se agradece además a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por el aporte de los datos empleados.

REFERENCIAS

Adams, D. y Sada, D.W., 2014: Surface Water Hydrology and Geomorphic Characterization of a Playa Lake System: Implications for Monitoring the Effects of Climate Change. *Journal of Hydrology*, 510, 92-102.

Awange, J. L., Forootan, E., Kusche, J., Kiema, J. B. K., Omondi, P. A., Heck, B., Fleming, K., Ohanya, S.O. y Gonçalves, R.M., 2013: Understanding the decline of water storage across the Ramsar-Lake Naivasha using satellite-based methods. *Advances in Water Resources*, 60, 7–23.

- Cabrera, A.L., 1976:** Regiones fitogeográficas argentinas. En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería - Tomo II. Buenos Aires, Argentina: ACME, 86.
- Campos, J.C., Sillero, N. y Brito, J.C., 2012:** Normalized Difference Water Indexes Have Dissimilar Performances in Detecting Seasonal and Permanent Water in the Sahara–Sahel Transition Zone. *Journal of Hydrology*, 464-465, 438–446.
- Carilla, J., Grau, H.R., Paolini, R. y Morales, M.S., 2013:** Lake fluctuations, plant productivity and long-term variability in high-elevation tropical Andean ecosystems. *Artic, Antarctic and Alpine Research*, 45 (2), 179-189.
- Chen, J.L., Wilson, C.R., Tapley, B.D., Longuevergne, L., Yang, Z.L. y Scanlon, B.R., 2010:** Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry. *Journal of Geophysical Research*, 115, D22108, doi: 10.1029/2010JD014689.
- Chiodi, V., 2014:** Análisis de vulnerabilidad ambiental del acuífero de la laguna de Llanquanelo, en el área del bloque de concesión Llanquanelo. *Práctica supervisada. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.* 131 pp.
- Compagnucci, R.H., Agosta, E.A. y Vargas, W.M., 2002:** Climatic change and quasi-oscillations in central-west Argentina summer precipitation: main features and coherent behavior with southern African region. *Climate Dynamics*, 18, 421-435.
- Compagnucci, R.H. y Araneo, D.C., 2005:** Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar. *Meteorologica*, 30 (1-2), 41-53.
- D'Amico, P., 2013:** El conflicto por la explotación petrolera en Llanquanelo: miradas desde la ecología política. En “Ecología política del extractivismo en América Latina: casos de resistencia y justicia socioambiental”, Eduardo Mondaca et. al. (eds.), CLACSO, Buenos Aires, 123-141.
- El-Asmar, H.M., Hereher, M.E. y El Kafrawy. S.B., 2013:** Surface Area Change Detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, Using Water Indices: A Remote Sensing Approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16 (1), 119–23.
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R. y Proud, S., 2014:** Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35.
- Gao, B., 1996:** NDWI: a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing Environment*, 58, 257–266.
- Garreaud, R.D. y Fuenzalida, H.A., 2007:** The influence of the Andes on cutoff lows: a modeling study. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1596-1613.
- Giardina, M., Neme, G., Corbat, M., Ugan, A., Otaola, C. y Gil, A., 2012:** Tendencias isotópicas y arqueofaunísticas en Laguna Llanquanelo (Mendoza, Argentina). Santiago de Chile: II Encuentro Latinoamericano de Zooarqueología.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Isla, F., Ruiz Barlett, E., Marquez, J. y Urrutia, A., 2005: ENSO signal recognized by NDVI images from Llacanelo shallow lake, Mendoza, Argentina. Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, 20-23 de septiembre de 2005, La Plata, Argentina.

Ji, L., Zhang, L. y Wylie, B., 2009: Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75 (11), 1307–1317.

Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Le Quesne, C. y Aravena, J.C., 2006: Snowpack variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. Journal of Climate, 19, 6334-6352.

Masiokas, M.H., Villalba, R., Christie, D.A., Betman, E., Luckman, B.H., Le Quesne, C., Prieto, M.R. y Mauget, S., 2012: Snowpack Variations since AD 1150 in the Andes of Chile and Argentina (30°-37°S) Inferred from Rainfall, Tree-Ring and Documentary Records. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117 (D05112), doi:10.1029/2011JD016748.

McKee, T.B., Doesken, N.J. y Kleist, J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. En: Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.

Pagot, M., 2003: Análisis y Simulación Hidrológica del Sistema Bañados del Río Dulce. Tesis de Maestría FCFyN, UNC. Córdoba, Argentina.

Seluchi, M.E., Garreaud, R., Norte, F.E. y Saulo, A.C., 2006: Influence of the Subtropical Andes on baroclinic disturbances: A cold-front case study. Mon. Wea. Rev., 134, 3317-3335.

Shukla, S. y Wood, A.W., 2008: Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophys. Res. Lett. 35, L02405. doi:10.1029/2007GL032487.

Sosa, H., 1995: Actualización de la Lista de Avifauna de la Reserva Provincial Laguna Llacanelo Malargüe Mendoza. Presencia estacional, Preferencia de Hábitats y Nidificación. Multequina, 4, 65-75.

Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. y Bradley, R.S., 2008: Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 89, 79-96.

Xu, H., 2006: Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27 (14), 3025–3033.

Zhang, F.-f., Zhang, B., Li, J.-S., Shen, Q., Wu, Y. y Song, Y., 2011: Comparative Analysis of Automatic Water Identification Method Based on Multispectral Remote Sensing. Procedia Environmental Sciences, 11 (C), 1482–1487.