



Proposta Metodológica para a Previsibilidade de  
Inundação de Lagoas em Planícies (Província de Buenos Aires, Argentina)  
Methodologic Proposal for Shallow Lakes Floods  
Prediction on Plains (Buenos Aires Province, Argentina)  
Propuesta Metodológica para la Predictibilidad de las  
Inundaciones Lagunares en Llanuras (Provincia de Buenos Aires, Argentina)

Vanessa Yael Bohn<sup>1,2</sup> & María Cintia Piccolo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS),  
de octubre 1098, 4to. Piso, B8000CTV, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),  
CCT Bahía Blanca, Camino La Carrindanga km. 7, B8000CPB, Bahía Blanca, Argentina

<sup>3</sup> Instituto Argentino de Oceanografía (IADO – CONICET),  
Camino La Carrindanga Km 7 E1, B8000CPB, Bahía Blanca, Argentina

E-mails: [vanessa.bohn@uns.edu.ar](mailto:vanessa.bohn@uns.edu.ar); [ofpiccol@criba.edu.ar](mailto:ofpiccol@criba.edu.ar)

Recebido em: 03/07/2019 Aprovado em: 18/11/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2020\\_1\\_107\\_116](http://dx.doi.org/10.11137/2020_1_107_116)

#### Resumo

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um método de trabalho através da integração de dados climáticos e por satélite para a previsibilidade de inundações das lagoas nas regiões de planície.

Foram analisados dois índices climáticos: O Índice Oceânico do El Niño (ONI) e Índice de precipitação padronizada e Evapotranspiração (SPEI) em relação às extensões (km<sup>2</sup>) de água de superfície na área de estudo durante um período de 18 anos. A série de dados climáticos e por satélite foram obtidos de forma modelada e através de processamento digital, respectivamente, e foram analisadas utilizando matrizes de correlação e covariância. Como resultado obteve-se que o índice SPEI, em relação às alterações na cobertura de água, apresenta maior ajuste em uma escala de 18 meses, enquanto não houve relação significativa entre os dados do satélite e o índice de ONI. Essa determinação foi validada comparando-se as extensões de cobertura de água na área estudada durante os períodos categorizados como normais e muito úmidos (de acordo com o SPEI, aos 18 meses de escala). Como resultado, obteve-se que, de fato, a área coberta por água foi maior (~51%) durante o período úmido. Isso conclui que as variações nas áreas da lagoa, bem como o desenvolvimento de novos corpos de água intermitente, têm um tempo de resposta de 18 meses para o índice climático analisado. Essas determinações, tendo em conta que a série de dados SPEI exigem apenas a disponibilidade de dados de precipitação e temperatura e estão disponíveis globalmente (de forma modelada), constituem uma ferramenta eficaz para a previsibilidade de inundações em lagoas.

**Palavras-chave:** cobertura de água; tempo de resposta; índices climáticos

#### Abstract

This work aimed to integrate climatological and satellite data to predict floods and the areal increase of shallow lakes in a plain region (Buenos Aires province, Argentina). Two climatological indexes were analyzed: Oceanic Niño Index (ONI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in relation with areal extensions (km<sup>2</sup>) of surface water in the study area during a period of 18 years. The climatological and satellite data series were obtained from published databases and by satellite image processing, respectively. They were analyzed by correlation and covariance matrix. As a result, there was obtained that the SPEI index showed the highest correlation with the surface water, in 18 months temporal scale whereas there was not a significant relation between satellite and ONI data. This determination was validated by the comparison between the waters covers, for the same LANDSAT scene, during regular and wet periods (by SPEI, 18 months temporal scale). As a result, there was obtained that, effectively, the area covered by water was higher (~ 51 %) during the extremely wet period for all the study area. As a conclusion, we found that the areal shallow lake variations, as well as the development of new water bodies, showed a response time of 18 months concerning the climatological variables. Those determinations are a successful tool for the predictability of floods in the area, adding the advantage of the calculation of the climatological index (only we need the precipitation and temperature values).

**Keywords:** water coverage; response time; climatological index

#### Resumen

El objetivo de la presente investigación es desarrollar un método de trabajo integrando datos climáticos y satelitales para la predictibilidad de inundaciones lagunares en regiones de llanura. Se analizaron 2 índices climáticos: Índice Oceánico de El Niño (ONI) e Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) en relación a las extensiones (km<sup>2</sup>) de agua superficial del área de estudio durante un periodo de 18 años. Las series de datos climáticos y satelitales se obtuvieron de manera modelada y mediante procesamiento digital, respectivamente y fueron analizadas mediante matrices de correlación y covarianza. Como resultado se obtuvo que el índice SPEI, en relación a las variaciones de la cobertura de agua, mostró un mayor ajuste a una escala de 18 meses mientras que no se halló relación significativa entre los datos satelitales y el índice ONI. Dicha determinación fue validada mediante la comparación de las extensiones de la cobertura de agua en el área de estudio durante periodos categorizados como normal y muy húmedo (según el SPEI, a escala 18 meses). Como resultado se obtuvo que, efectivamente, el área cubierta por agua fue superior (~ 51 %) durante el periodo húmedo. De este modo se concluye en que las variaciones de las áreas de las lagunas así como el desarrollo de nuevos cuerpos de agua intermitentes presentan un tiempo de respuesta de 18 meses al índice climático analizado. Estas determinaciones, teniendo en cuenta que las series de datos de SPEI requieren sólo de la disponibilidad de datos de precipitación y temperatura y están disponibles a nivel global (de manera modelada), constituyen una herramienta eficaz para la predictibilidad de inundaciones lagunares.

**Palabras clave:** cobertura de agua; tiempo de respuesta; índices climáticos

## 1 Introducción

Los ambientes de llanura presentan mayor vulnerabilidad a los extremos hidrológicos, dada la incapacidad de sus relieves para la reserva, desagüe y amortiguación de los excedentes y los déficits. Las inundaciones y sequías en ámbitos de llanura constituyen problemáticas ambientales de gran impacto en el territorio, las cuales se ven incrementadas o mitigadas por la dinámica de los diversos usos y coberturas del suelo. Dichos eventos hidrológicos de exceso, constituyen un fenómeno extensamente estudiado a nivel mundial (Balica, 2012) y que ha ido aumentando. Una inundación es definida como una condición de agua superficial (río, lago, mar), en la cual el nivel del agua y/o la descarga exceden un determinado valor (Balica, 2012). Es la acumulación de agua que puede producirse como consecuencia de intensas precipitaciones, aumento de la descarga de los ríos o rotura de embalses y/o reservorios (Douben & Ratnayake, 2005). Están asociadas con factores tales como la intensidad del uso del suelo de las cuencas hidrográficas, con la climatología y/o con la geomorfología de la cuenca. De acuerdo a los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos recogidos en el último informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), éste producirá cambios en los patrones de inundación, por lo que resulta importante tener acceso a la información sobre su posible influencia y sus potenciales consecuencias, así como gestionar los riesgos que se puedan derivar (Döll *et al.*, 2015). Por lo tanto, la variabilidad climática es un tema que requiere de nuevos conocimientos y estudios, tanto de posibles impactos como de estrategias de adaptación que mitiguen sus efectos.

En Argentina, las inundaciones en relación a ciclos húmedos y secos han sido estudiadas mediante la aplicación de diversos índices climáticos tales como el índice de Palmer (Carbone *et al.*, 2005), modelos estadísticos de regionalización del clima (Labraga *et al.*, 2011) así como también mediante modelos hidrológicos que incluyen información meteorológica (Cazenave *et al.*, 2010).

Debido a su naturaleza probabilística, el ONI, el SPI y el SPEI se han convertido en los índices

ideales para hacer análisis de riesgo de condiciones hídricas extremas a nivel mundial (Steinemann, 2003) e informar la probable evolución futura de la situación hídrica (Cancelliere *et al.*, 2007). En la Argentina, el SPI ha sido utilizado para analizar extremos hídricos en el sudoeste de la región pampeana (Scian, 1997), en la provincia de Córdoba (Seiler *et al.*, 2002) y en la ciudad de Buenos Aires (Núñez *et al.*, 2005). El SPEI ha sido aplicado con éxito en la determinación de ciclos secos y húmedos en la Patagonia andina y extrandina (Scordo *et al.*, 2018) así como también en el estudio del efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en cuencas de clima templado (Brendel *et al.*, 2017).

El área de estudio se localiza en la llanura pampeana argentina, fue delimitada de acuerdo al path/row de la escena LANDSAT 225/087 (~34 000 km<sup>2</sup>) y se localiza en el sector centro-sur de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). La pendiente topográfica es del 0.4 % aproximadamente aumentando hacia el sector NO donde se desarrolla el sistema serrano de Ventania (Figura 1B). Como principal característica del ambiente se cita, en relación a sus balances hídricos, el predominio de los movimientos verticales de agua sobre los horizontales (Kruse & Laurencena, 2005). El sistema de drenaje predominante es el dendrítico y de vertiente atlántica y presenta una moderada densidad. Se destaca la presencia de numerosos cuerpos de agua de carácter intermitente los cuales, durante períodos húmedos, suelen encadenarse como consecuencia de la presencia de paleocauces (Bohn *et al.*, 2011). Desde un punto de vista climático, el área de estudio se desarrolla en un clima templado (Scarpati & Capriolo, 2013), con valores de precipitación anual que oscilan entre los 800-600 mm/año y temperaturas medias entre 14-20 °C. En esta área, la vulnerabilidad a los eventos extremos se incrementa debido al uso del suelo predominante, el agrícola-ganadero (Marini & Piccolo, 2005). Existen acciones gubernamentales para la respuesta a la emergencia siendo, mayormente, posteriores al evento o catástrofe. Se citan, por ejemplo, la declaración de estados de emergencia por medio de los cuales se otorga un beneficio a los productores que han sido afectados por los efectos de las inundaciones o sequías. No obstante, resulta relevante to-

mar medidas preventivas y de mitigación orientadas a evitar los daños que afectan, fundamentalmente, a los productores rurales. El presente trabajo procura ofrecer herramientas que permitan la elaboración de acciones de prevención y/o mitigación.

Es por ello, que el objetivo de este trabajo es explorar la utilización de índices climáticos en relación a las variaciones de la cobertura de agua en la región para la predictibilidad de inundaciones y tiempos de respuesta a los eventos extremos de los cuerpos de agua localizados en esta área.

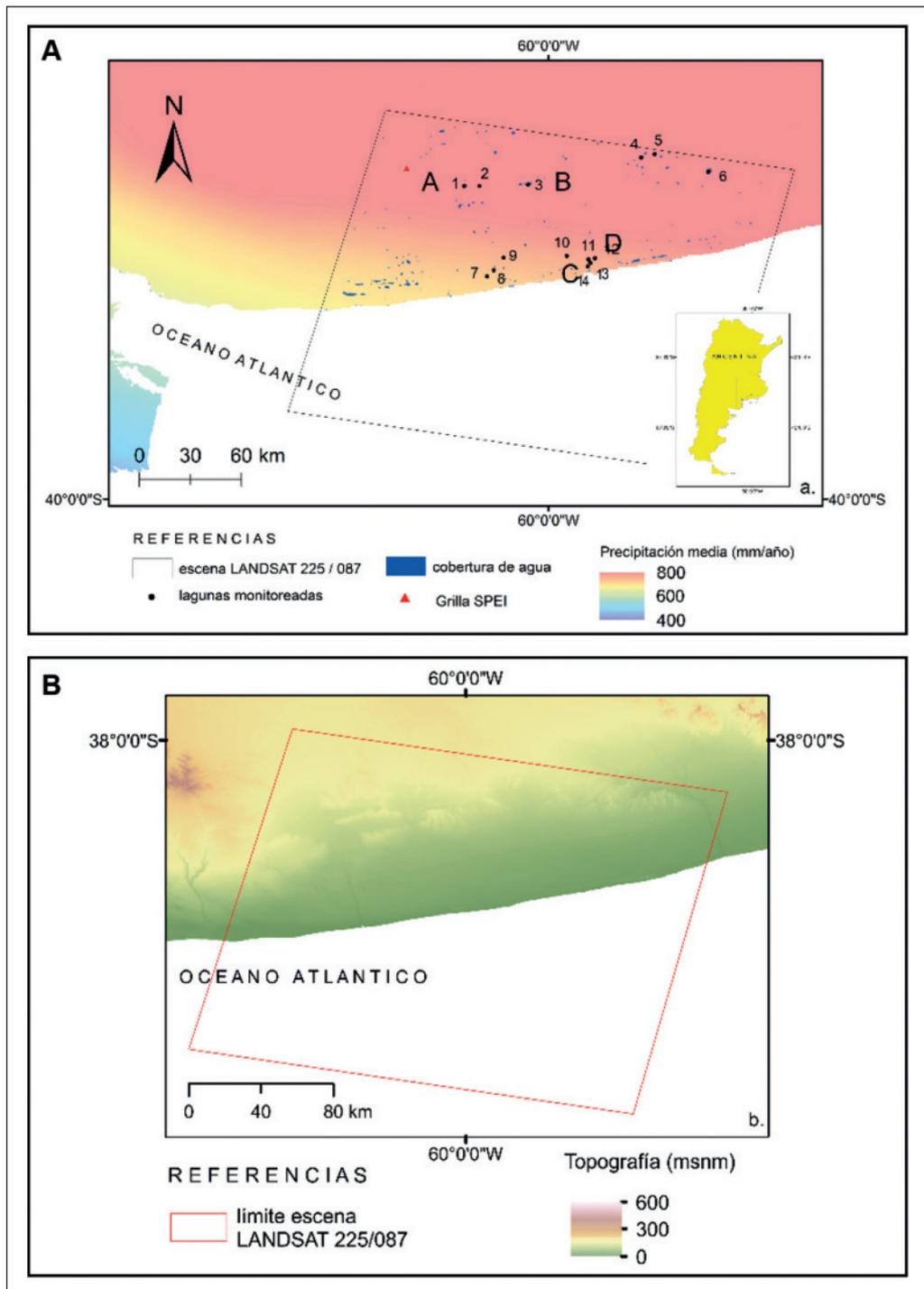


Figura 1 Localización y características físicas del área de estudio en la provincia de Buenos Aires (Argentina): A. Precipitación media anual (Cravero *et al.*, 2017), localización de las lagunas estudiadas (1 a 14), límites de la escena LANDSAT 225/087 y localización de las transectas A-B y C-D (Figura 8) y B. topografía sobre el DEM SRTM (USGS, 2004).

## 2 Materiales y Métodos

El área de estudio fue seleccionada de acuerdo a estudios preliminares en los que se demuestra su vulnerabilidad a los eventos extremos, fundamentalmente a las inundaciones (Dalponte *et al.*, 2007; Bohn *et al.*, 2011). La metodología desarrollada en el presente trabajo se divide en dos instancias: desarrollo de la propuesta metodológica (Figura 2) y su validación (Figura 3). En relación a la primera de ellas, se exploraron 2 índices climáticos con el objetivo de obtener una herramienta de trabajo que los relacione con la cobertura de agua de la región. Los índices analizados fueron: el Índice Oceánico de El Niño (ONI) (NOAA) y el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). El índice ONI es el indicador primario de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) para el monitoreo de El Niño y La Niña, las cuales son fases opuestas del patrón climático llamado “ENSO” (El Niño Oscilación del Sur). Se basa en el promedio de 3 meses de anomalías en la temperatura superficial del mar (TSM). Cuando la anomalía es positiva indica la ocurrencia de un evento El Niño y cuando es negativa, corresponde a un evento La Niña (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>). El cálculo del SPEI (Vicente Serrano *et al.*, 2010) incluye a la precipitación y a la evapotranspiración potencial (ETP). El mismo permite un análisis efectivo de períodos húmedos y secos y fue diseñado para cuantificar el déficit de precipitación para escalas de tiempo múltiples. Estas escalas de tiempo reflejan el impacto de las sequías sobre la disponibilidad de recursos de agua. La humedad del suelo responde a anomalías de precipitación en un corto período. Los niveles freáticos, ríos y almacenamiento en reservorios se reflejan en escala de tiempo más largas. Los valores positivos (Tabla 1) indican mayor precipitación que la media mientras que los valores negativos indican un registro menor a la normal.

Rangos SPEI	Categorías
>= 2	Extremadamente húmedo (XH)
1.5 a 1.99	Muy húmedo (YH)
1 a 1.49	Moderadamente húmedo (MH)
0.99 a -0.99	Normal (N)
-1.49 a -1	Moderadamente seco (MS)
-1.99 a -1.5	Muy seco (YS)
<= -2	Extremadamente seco (XS)

Tabla 1 Rangos y categorías para el índice SPEI (Vicente Serrano *et al.*, 2010)

En cuanto a la obtención de los datos climáticos (Figura 2), la serie de SPEI se obtuvo, en forma modelada, de la página web del índice (<http://spei.csic.es/database.html>), a una escala espacial de 0,5°, para la coordenada 38.25S / 60.75O. Dicha localización fue seleccionada como grilla representativa entre todas las disponibles (un total de 14) para el área de estudio. La selección de la grilla fue realizada mediante análisis estadístico y comprobación de la similitud entre estaciones. Para el cálculo del SPEI se utilizan (<http://spei.csic.es/database.html>) valores de precipitación y temperatura obtenidos de la base de datos CRU TS v3.23 generada por la University of East Anglia (Harris *et al.*, 2014). Paralelamente, se obtuvieron los datos satelitales para el estudio multitemporal de las áreas cubiertas por agua de acuerdo al procedimiento detallado en la Figura 2. En referencia al protocolo que se muestra en la mencionada figura, es importante mencionar que para los datos satelitales se utilizaron imágenes LANDSAT, las mismas correspondieron al producto de reflectancia superficial, LANDSAT 5 TM y 7 ETM+, nivel 2 y fueron obtenidos mediante demanda, libres de costo, del sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos (en inglés, USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov>). El procesamiento digital incluyó la extracción de los píxeles de agua mediante el cálculo del Índice Normalizado de Diferencia de Agua (Ec. 1) (en inglés, NDWI), desarrollado por McFeeters (1996) para resaltar los rasgos relacionados al agua mientras elimina la presencia de suelo o rasgos de la vegetación terrestre. Es un índice derivado de datos satelitales, específicamente la banda visible del verde y el canal de infrarrojo cercano (NIR). Los valores del NDWI varían entre -1 y 1. Generalmente, los cuerpos de agua presentan valores de NDWI mayores a 0.5. Para la segmentación de las imágenes en clases “agua” y “no agua” se aplicó una clasificación no supervisada sobre la imagen de valores de NDWI (Figura 2). El resultado de dicha clasificación fue vectorizada para la obtención de las áreas correspondientes a los cuerpos de agua, para cada fecha.

$$NDWI = \frac{(Verde - NIR)}{(Verde + NIR)} \quad (1)$$

donde, verde: banda espectral 2 de LANDSAT 5 TM y 7 ETM+ y NIR: banda espectral 4 de LANDSAT 5 TM y 7 ETM+.

La relación entre los datos satelitales y climáticos se realizó mediante el cálculo de matrices de correlación y covarianza, coeficiente de Pearson y un nivel de significancia del 5 %, tal como se indica en la Figura 2. Para la instancia de validación de la metodología propuesta se analizaron, también, datos climáticos y satelitales según se detalla en la Figura 3. La misma se obtuvo mediante la comprobación del aumento de extensiones areales de lagunas y cobertura de agua total en el área de estudio durante un

período húmedo con respecto a uno normal (definidos según el índice climático elegido y su correspondiente escala temporal) (Figura 3). Las lagunas que se analizaron no poseen nombre en la cartografía, por lo que fueron denominadas con números, del 1 al 14. El período de datos (tanto climáticos como satelitales) utilizados en esta instancia correspondieron a un período anterior (1980-2000) al analizado para la instancia de desarrollo de la metodología.

Figura 2 Esquema de desarrollo de la metodología propuesta para la predictibilidad de inundaciones lagunares a partir de índices climáticos.

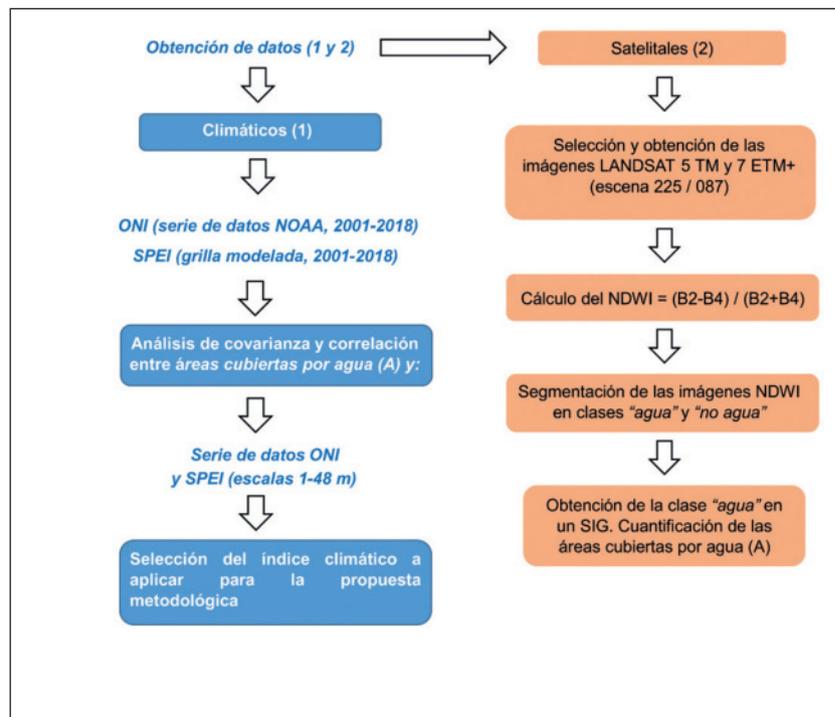
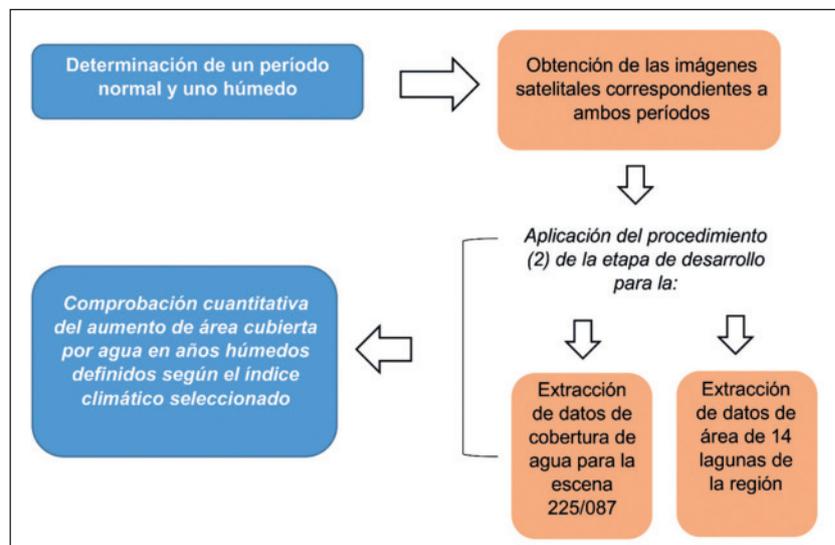


Figura 3 Esquema de validación de la metodología propuesta para cada uno de los índices climáticos.



### 3 Resultados y Discusión

#### 3.1 Desarrollo de la Propuesta Metodológica

Como resultado del procesamiento digital de todas las escenas LANDSAT 225/087 disponibles (libres de nubes) para el período (2001-2018), se obtuvo un valor medio de área cubierta por agua de 63.49 km<sup>2</sup> ( $\pm 45.32$ ), con un mínimo de 17.31 km<sup>2</sup> en enero de 2019. En cuanto a las máximas coberturas de agua, se estimaron 195.53 km<sup>2</sup> en mayo de 2001, 133.67 km<sup>2</sup> en diciembre de 2014, 130.47 km<sup>2</sup> en noviembre de 2015 y 168.20 en noviembre de 2017 (Figura 4). Dicha cobertura de agua se distribuyó en un número promedio de 135 cuerpos de agua cuya extensión areal media fue de 0.55 km<sup>2</sup>. La presencia de numerosos cuerpos de agua de carácter intermitente (Figura 1) fue observada para la región por Marini & Piccolo (2005).

Tal como se describió anteriormente (Figura 2), los datos correspondientes a cobertura de agua (Figura 4) fueron analizados estadísticamente en relación a las series de datos de los 2 índices climáticos. Tras la aplicación del análisis estadístico, se determinó que la relación entre el índice ONI y la cobertura de agua no fue significativa, obteniéndose una correlación de sólo 0.044. Dicha correlación, tal como fue expresado en el apartado de metodología, se realizó sobre un período reciente de 18 años (2001-2018) durante el cual se registraron sólo dos eventos fuertes de La Niña (2007/2008 y 2010/2011) y un evento muy fuerte de El Niño (2015/2016). Sobre la base de la mencionada serie de datos, en el presente trabajo no se detectó una influencia de los eventos del Niño y La Niña a una escala decadal.

Sin embargo, al analizar la respuesta de las áreas cubiertas de agua a los eventos extremos de categoría fuerte y muy fuerte, la asociación del índice ONI a escala de variabilidad de año a año (Figura 4), es relevante. Estos resultados muestran la situación inversa a la hallada para la laguna Melincué (Guerra *et al.*, 2012), para la cual se hallaron correlaciones positivas con el índice ONI para un período de tiempo extenso mientras que, eventos El Niño intensos no fueron seguidos inmediatamente por un aumento del área del lago. Esto podría atribuirse, en principio, a la diferencia en la longitud del período estudiado ya que, para el lago Melincué, el período de estudio alcanzó los 60 años de datos.

Por el contrario, como resultado de la correlación establecida entre la cobertura de agua y el índice SPEI, las escalas 9, 10 y 16 a 25 meses mostraron una correlación  $> 0.60$  (Figura 5) siendo la escala de 18 meses la que mayor relación obtuvo (0.68). Por este motivo, dicho lapso, fue considerado como la cantidad de meses necesarios para observar la respuesta de la cobertura de agua superficial a los eventos extremos de precipitación y, posteriormente, para su validación. Sin dudas, la posibilidad de ser calculados a diferentes escalas temporales que estos dos últimos índices ofrecen, constituye su principal ventaja frente a otros índices, tales como el ONI. Dicha ventaja también ha sido destacada por Vicente Serrano *et al.* (2012) en su estudio comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas y agrícolas a nivel global. Además de haberse obtenido una correlación aceptable, se considera que el SPEI posee suficiente robustez para el análisis estadístico sobre la base de datos globales referencia-

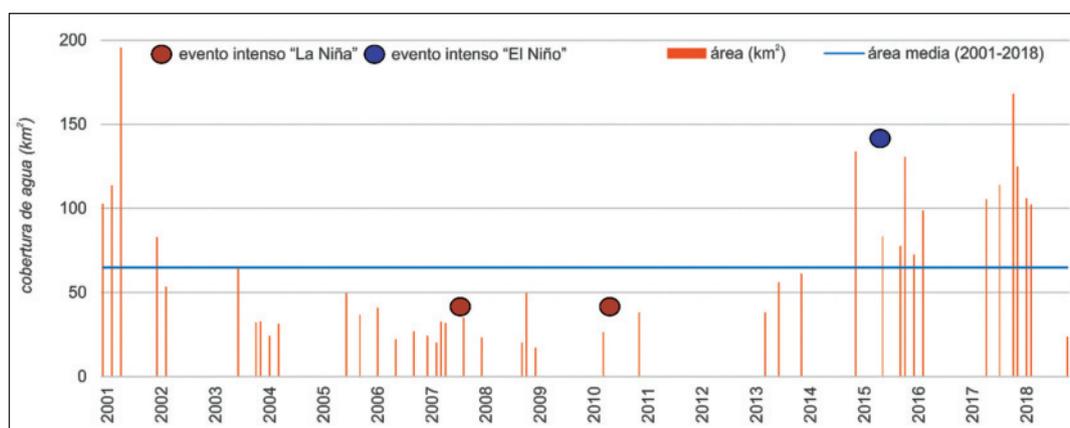


Figura 4 Área cubierta por agua (km<sup>2</sup>) estimada mediante el procesamiento digital de imágenes LANDSAT para el período 2001-2018, escena 225/087.

das y que incluyen las variables de evapotranspiración y precipitación. Además, el análisis incluyó una base de datos extensa (2001-2018) y la obtención de dichos datos es libre de costo y se encuentran disponibles a nivel global. Este hecho es de relevancia teniendo en cuenta la propuesta de su futura extrapolación a otras regiones.

### 3.2 Validación de la Propuesta Metodológica

Con el objetivo de validar la propuesta metodológica, una vez definido el SPEI como el índice climático más apropiado para la predictibilidad de inundaciones lagunares en la región, se analizó la serie de datos correspondiente al mismo (a escala temporal 18 meses). El período analizado fue 1985-2000. El motivo de su elección fue la disponibilidad

de datos satelitales y porque dichos años no fueron tenidos en cuenta en la etapa de desarrollo de la propuesta metodológica (Figura 2). Como resultado del análisis de dicha serie de datos se seleccionaron los períodos octubre 1994 – agosto 1996 como años normales y noviembre 1997 – octubre 1998, como años húmedos (Figura 6). Este último presentó una duración de 12 meses y un valor medio de SPEI de 1.54 (categoría muy húmedo). La selección de los mencionados períodos se realizó, también, sobre la base de los datos del SPEI y los umbrales descriptos por Vicente Serrano et al. (2010) para la determinación de años húmedos, normales y secos.

Para el análisis de la respuesta del agua superficial en ambos lapsos de tiempo, se seleccionaron las imágenes satelitales Landsat (225/087) correspondientes al 9 de agosto de 1995 y al 17 de agosto

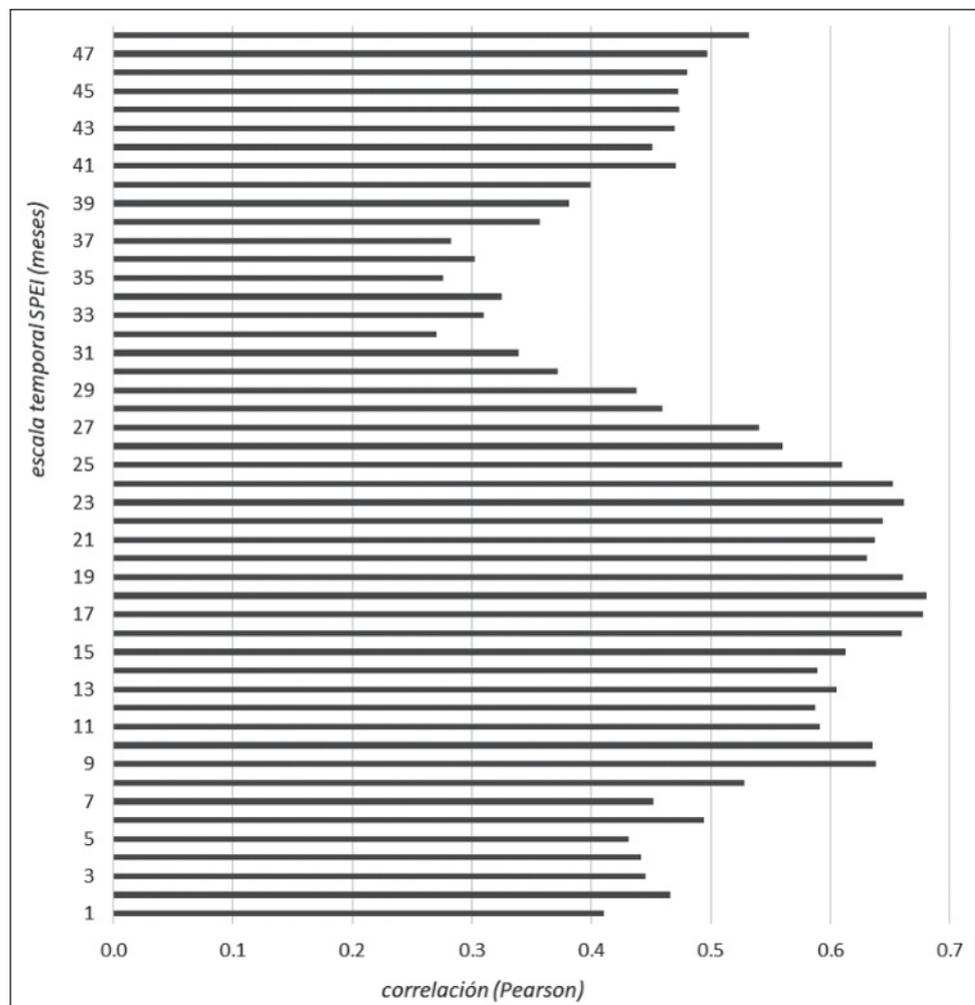


Figura 5 Valores de correlación (Pearson) entre la cobertura de agua y el SPEI (período 2001-2018) (escalas 1 a 48 meses).

de 1998. Como resultado del procesamiento de ambas escenas se obtuvo una cobertura total de agua de 39.3 km<sup>2</sup> y 81.9 km<sup>2</sup> para los años normal y húmedo, respectivamente.

Posteriormente, se analizaron 14 casos representativos de lagunas (sin nombre) de la región (Figuras 1A y 7) para los cuales se validó, también, el aumento de la superficie de agua durante el período húmedo, a escala 18 meses, con respecto al área correspondiente al año normal (1995). No obstante, el porcentaje de aumento de las áreas de las lagunas fue variable, se halló un valor mínimo de 3.2 % de incremento y un máximo de 40 % (Figura 7). Con el objetivo de explicar este fenómeno, se analizaron algunos de los aspectos más destacados de la hidrografía de la región tales como, la pendiente topográfica, la interconexión entre lagunas y su tamaño. En cuanto al primero de los aspectos analizados, la topografía, se realizaron perfiles (Figura 8). Mediante ello, se determinó que las lagunas localizadas en áreas de mayor pendiente topográfica, presentaron mayor incremento en sus áreas (ej.; lagunas 1 y 2 (Figura 8A), 13 y 12 (Figura 8B)). Por su parte, el tamaño de las lagunas y su disposición de “lagunas en rosario” (Bohn *et al.*, 2011) no fueron considerados elementos clave en relación al porcentaje de variación de área ya que, a lagunas de tamaños similares, los porcentajes correspondientes mostraron diferencias entre sí (Figura 7) y la disposición interconectada fue observada en todos los casos. En cuanto a su tamaño, la totalidad de las lagunas seleccionadas como ejemplos representativos mostró extensiones areales (durante el periodo normal) inferiores a 5 km<sup>2</sup>, lo cual también es un rasgo destacado en la hidrografía de la región (Marini & Piccolo, 2005; Bohn *et al.*, 2011).

En resumen, se infiere que las diferencias de incremento areal (entre el 3 y 40 %) entre lagunas han sido dadas fundamentalmente por las escasas variaciones topográficas de la región y por fenómenos estrictamente locales dentro de los cuales se podría incluir la intervención del hombre, aspecto que no ha sido evaluado en el presente trabajo. Sin embargo, es importante destacar un aspecto relevante para la presente investigación y que se presentó para la totalidad de las lagunas: todas ellas mostraron una respuesta positiva (de incremento de área) ante eventos extremos de precipitación, definidos a una escala temporal de 18 meses.

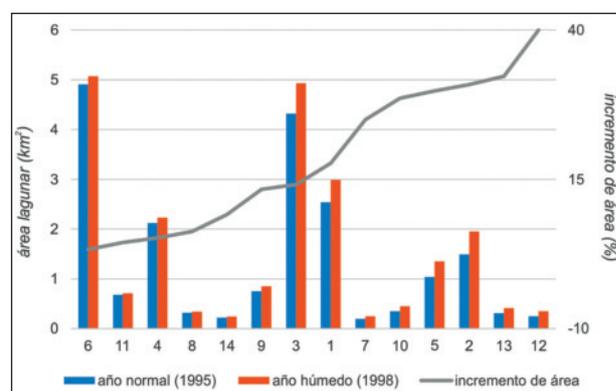


Figura 7 Variación de lagunas (sin nombre, 1-14) (localización en Figura 1) de la región durante el año húmedo (definido según el SPEI a escala 18 meses) con respecto a un año normal. Los ejemplos de lagunas se presentan ordenados de acuerdo a su porcentaje de incremento de área, para una mejor visualización.

#### 4 Conclusiones

La exploración de índices climáticos en relación a la evolución de la cobertura de agua en la región permitió establecer tiempos de respuesta promedio entre ambas variables. Se definió la ventaja que ofre-

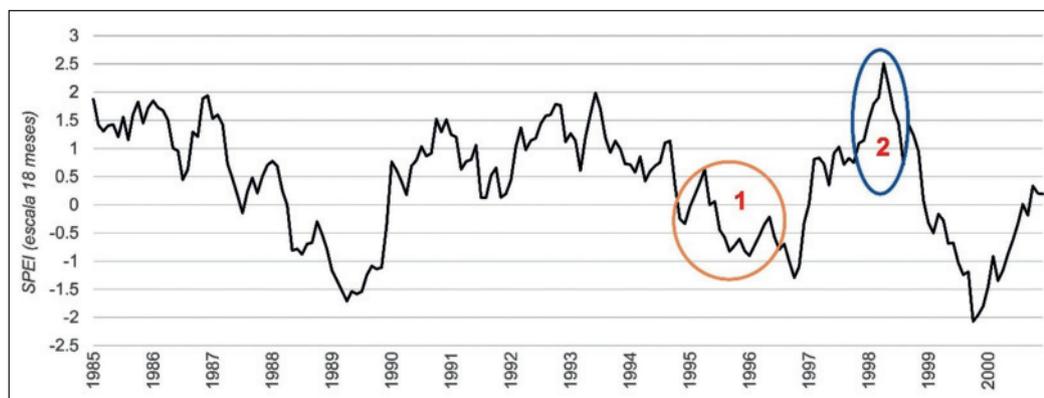


Figura 6 Análisis de la evolución del SPEI, a escala 18 meses en la región de estudio (período 1985-2000) para la determinación de un período normal (1) y uno húmedo (2), para la instancia de validación.

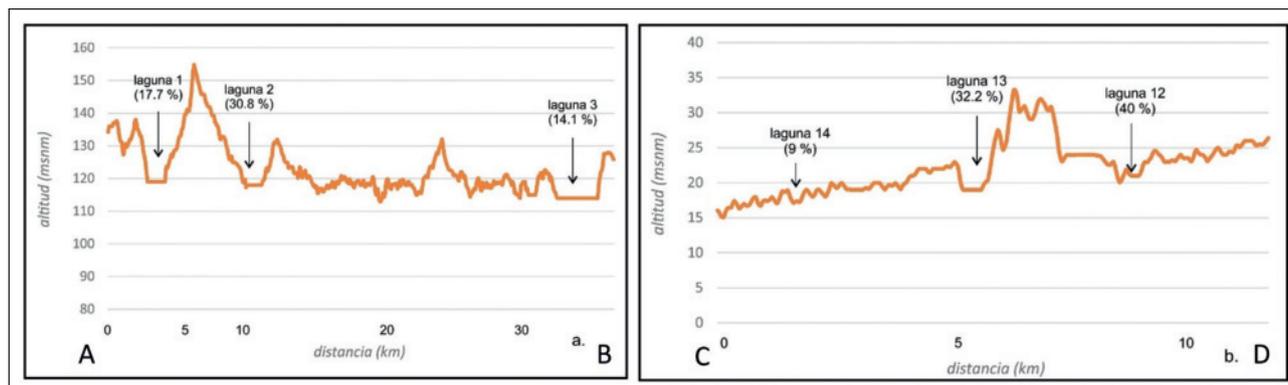


Figura 8 Perfiles topográficos del área de lagunas de la región, tomadas como ejemplos representativos para el análisis de variación areal: A. lagunas 1, 2 y 3 (NO del área de estudio); B. lagunas 12, 13 y 14 (SE del área de estudio). Coordenadas geográficas de los perfiles: A (38.34 S; 60.45 O); B (38.33 S; 60.08 O); C (38.77 S, 59.80 O); D (38.72 S, 59.74 O). La localización de las transectas A-B y C-D se presenta en la Figura 1A.

ce el índice SPEI frente al ONI para la estimación de tiempos de respuesta entre la precipitación y las aguas superficiales, durante el período estudiado. Dicha ventaja fue dada por el carácter multiescalar del primero. En cuanto al ONI, sin embargo, debido a que el período de análisis fue de sólo 18 años, no se descarta una influencia positiva de los eventos El Niño o La Niña a un nivel multidecadal, lo cual podría analizarse sobre la base de una serie de datos más extensa. Una de las principales ventajas de establecer una correlación de este tipo de índices con variables hidrológicas de la región, reside en que se trata de índices cuya obtención es posible en forma modelada y a una escala global. De este modo, en el presente trabajo, se generó un método de trabajo e información que podrá ser utilizada por los tomadores de decisión e incorporada a futuros planes de mitigación.

## 5 Agradecimientos

Los autores agradecen a la DPOH, SIH, Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos, a los Dres. S. Beguería, B. Latorre, F. Reig y S.M. Vicente-Serrano, United States Geological Survey (USGS), Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), al CONICET y a los Proyectos de Grupos de Investigación “Estudio Integrado de Lagunas pampeanas” y “Vulnerabilidad hidrológica y problemas ambientales en cuencas hidrográficas

de llanura (región pampeana, Argentina)”, subsidiados por la Universidad Nacional del Sur (UNS).

## 6 Referencias

- Balica, S.F. 2012. *Applying the flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment*. Tesis Master of Science in Hydraulic Engineering and River Basin, Management, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 152p.
- Bohn, V.Y.; Perillo, G.M.E. & Piccolo, M.C. 2011. Distribution and morphometry of shallow lakes in a temperate zone (Buenos Aires Province, Argentina). *Limnetica*, 30(1): 89-102.
- Brendel, A.; Bohn, V.Y. & Piccolo, M.C. 2017. Efecto de la variabilidad climática sobre el estado de la vegetación y la cobertura de agua en una cuenca de clima templado (Argentina). *Anuario do Instituto de Geociências*, 40(2): 5-16.
- Cancelliere, A.; Di Mauro, G., Bonaccorso, B. & Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *Water Resources Management*, 21: 801-819.
- Carbone, M.E.; Piccolo, M.C. & Scian, B.V. 2005. Análisis de los periodos secos y húmedos en la cuenca del arroyo Claromecó. *Papeles de Geografía*, 40(12): 25-35.
- Cazenave, G.; Villanueva, A., Scioli, C., Gil, F. & Pelizardi, F. 2010. Evaluación del riesgo de inundación en áreas de llanura. Resultados preliminares en Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina. In: I CONGRESO INTERNACIONAL DE HIDROLOGÍA DE LLANURAS, Azul, Argentina, p. 473-480.
- Cravero, S.A.; Bianchi, C.L., Elena, H.J. & Bianchi, A.R. 2017. *Clima de la Argentina Mapas digitales mensuales de precipitaciones y precipitación menos evapotranspiración potencial: adenda del Atlas Climático digital de la República Argentina*. Salta, Argentina. Ed. INTA, 55p.
- Dalponte, D.; Rinaldi, P.; Cazenave, G.; Usunoff, E.; Vives, L.; Varni, M.; Vénere, M. & Clausse, A. 2007. A validated fast algorithm for simulation of flooding events in

- plains, *Hydrological Processes*, 21(8): 1115-1124.
- Döll, P.; Jiménez-Cisneros B.; Oki T.; Arnell, N.W.; Cogley, J.G.; Benito, G.; Kundzewicz, Z.W.; Mwakalila, S. & Jiang, T. 2015. Integrating risks of climate change into water management. *Hydrological Sciences Journal*, 60(1): 4-13.
- Douben, N. & Ratnayake, M.W. 2005. Characteristic data on river floods; facts and figures. In: VAN ALPHEN, J.; VAN BEEK, E. & TAAL, M. (eds.). *Floods, from defense to Management*. Taylor & Francis Group: London, UK. p. 11-27.
- Guerra, L.; Martini, M.A.; Córdoba, F.E.; Ariztegui, D. & Piovano, E.L. 2012. Multi-annual response of a Pampean shallow lake from central Argentina to regional and large-scale climate forcings. *Climate Dynamics*, 52(11): 6847-6861.
- Harris, I.; Jones, P.D.; Osborn, T.J. & Lister, D.H. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623-642. doi: 10.1002/joc.3711
- Kruse, E. & Laurencena, P. 2005. Aguas superficiales: Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento. In: XVI CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO - GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. La Plata, Argentina, p. 313 – 326.
- Labraga, J.C.; Brandizi, L.D. & Lopez, M.A. 2011. Avances en el pronóstico climático de las anomalías de lluvia en la Región Pampeana. *Meteorológica*, 36(2): 59-71.
- Marini, M.F. & Piccolo, M.C. 2005. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 37: 59-71.
- 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.
- Núñez, S.; Núñez, L., Podestá, G. & Skansi, M. 2005. El Índice de Precipitación Estandarizado como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto. In: IX CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGÍA. Publicado en CD-ROM por el Centro Argentino de Meteorólogos, Buenos Aires, Argentina.
- Scarpati O. & Capriolo A. 2013. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 82: 38-51.
- Scian, B. 1997. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana. *Meteorologica*, 22: 37-47.
- Scordo, F.; Piccolo, M.C. & Perillo, G.M.E. 2018. Aplicación del índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) para identificar períodos húmedos y secos en la Patagonia Andina y Extrandina Argentina. *Geociencias*, 37(2): 423 – 436.
- Seiler, R.A.; Hayes, M. & Bressan, L. 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology*, 22: 1365-1376.
- Steinemann, A. 2003. Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Research Association*, 39: 1217-1233.
- Vicente Serrano, S.; Beguería S. & López Moreno, J. 2010. Multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.
- Vicente Serrano, S.M.; Beguería, S.; Lorenzo La Cruz, J.; Camarero, J.J.; López Moreno, J.I.; Azorín Molina, C.; Revuelto, J.; Morán Tejada, E. & Sánchez Lorenzo, A. 2012. Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas. Cambio climático. Extremos e impactos. In: 8º CONGRESO INTERNACIONAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CLIMATOLOGÍA (AEC). Asociación Española de Climatología, Salamanca, España, p. 679-689.