

# Evaluación de eventos termo-pluviométricos diarios en una región semiárida de Argentina

Federico Ferrelli\*

## Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar y cuantificar la tendencia de eventos termo-pluviométricos diarios ocurridos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Para ello, se estudiaron datos meteorológicos de doce estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria para el período 1960-2017. La información meteorológica fue sometida a controles de calidad y homogeneidad y se aplicaron técnicas de rellenado para completar la información faltante y los errores de las mediciones. Posteriormente, se calcularon 25 índices climáticos que permitieron analizar la variabilidad termo-pluviométrica diaria. Las tendencias se calcularon mediante un análisis de regresión lineal junto con la aplicación del test de Mann-Kendal y se cuantificaron con el estimador de Sen. Los resultados permitieron establecer que el área de estudio presenta una heterogeneidad espacial de las precipitaciones, siendo el sur, la que está expuesta a mayores condiciones de aridez. Los índices térmicos presentaron una tendencia positiva, indicando un calentamiento de hasta 0,6 °C y su distribución espacial fue homogénea. A pesar de ello, se encontró que en el norte del área de estudio la temperatura mínima disminuyó (1,2 °C) de forma significativa. Dado que el área estudiada es una región en donde la principal actividad económica es el cultivo de secano, el conocimiento de la tendencia de estos eventos diarios resulta una herramienta indispensable para enmarcar los planes de manejo sustentable del territorio con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y preservar el ambiente.

**Palabras clave:** Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Índices climáticos diarios, Tendencia.

---

\* Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca. Ayudante de docencia en Geografía de la Población. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, Bahía Blanca. fferrelli@criba.edu.ar

## Assessment of daily temperature and rainfall events in a semi-arid region of Argentina

### Abstract

The aim of this study was to analyze and quantify the trend of daily temperature and rainfall events occurring in the southwest of Buenos Aires province (Argentina). Therefore, meteorological information from twelve stations belonging to Servicio Meteorológico Nacional and Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria for the period 1960-2017 was studied. Firstly, quality and homogeneity tests were carried out, and subsequently, filling techniques were applied to complete the missing information. Afterwards, twenty-five daily climatic indices were calculated considering maximum and minimum temperature, and rainfall data, which allowed the analysis of the short-term climate variability. The trends were calculated using a linear regression together with the Mann-Kendall test and quantified with the Sen estimator. The results helped to establish that the study area presents a spatial heterogeneity of rainfall, being the south the area exposed to higher aridity conditions. The thermal indexes presented a positive trend, up to 0.6°C and their spatial distribution was homogenous. However, it was found that in the north the minimum temperature decreased significantly (1.2 °C). Given that the studied area is a region where the main economic activity is rain-fed crops, to know the tendency of these events is essential to frame the sustainable management plans of the territory in order to improve the quality of the population's living conditions and preserve the environment.

**Key words:** Southwest of Buenos Aires province, Daily thermal and rainfall indices, Trends.

## Introducción

La variabilidad climática depende de numerosos factores, dado que es producto de varios eventos meteorológicos que ocurren a diferentes escalas espaciales y temporales (décadas, años, estaciones del año, meses y días) (Brendel, Bohn y Piccolo, 2017). Las rápidas modificaciones climáticas a escala global están siendo objeto de numerosos estudios científicos. Los cambios más significativos se observaron en la temperatura y la precipitación.

En este contexto, existe evidencia de que la temperatura global se ha incrementado hasta 0,85 °C en los últimos cien años (IPCC, 2013) y luego de la década de 1970, se ha registrado un incremento constante de 0,15 °C por década (Worku Teferi, Bantider y Dile, 2018). Junto con ello, se considera que a escala global el número de días y noches fríos se redujo considerablemente, mientras que el de los cálidos aumentó (Song, Pei y Zhou, 2014; Salman Shahid, Ismail, Chung y Al-Abadi, 2017; Worku et al., 2018; Ferrelli, Brendel, Aliaga, Piccolo y Perillo, 2019). Particularmente, la precipitación no presenta un claro patrón espacial a escala global (Chen, He, Guan y Cai, 2017). Sin embargo, la cantidad, intensidad y frecuencia de las precipitaciones muy fuertes y torrenciales tiene una tendencia positiva en la mayor parte del mundo (Westra, Alexander y Zwiers, 2013).

La relevancia del estudio de las fluctuaciones térmicas e hídricas recae en que inciden directamente sobre la rentabilidad agropecuaria debido a sus impactos sobre el desarrollo de los cultivos y sus rendimientos (Campo Bagnulo y Pacheco, 2012; Brendel et al., 2017). Los mismos, además, afectan a la población, ocasionando daños en su calidad de vida y pérdida de la biodiversidad, entre otras (IPCC, 2012; Whan et al., 2013; Shrestha, Bajracharya, Sharma, Duo y Kulkarni, 2017).

Particularmente, la variabilidad climática diaria adquiere importancia en aquellas áreas bajo estrés hídrico, como lo son las regiones semiáridas, debido a que en ellas, los eventos climáticos diarios son fenómenos típicos (Ferrelli et al., 2019). Cabe señalar que estas regiones se extienden sobre el 75 % del territorio continental de Argentina y son consideradas como las más vulnerables debido a los cambios ambientales que sufren producto de la variabilidad del clima (Salguero Gomez, Siewert, Casper y Tielbörger, 2012; Salman et al., 2017).

En el sur de la Región Pampeana existe evidencia de que los eventos termo-pluviométricos diarios afectan a la población y el ambiente. Por ejemplo, durante eventos de olas de calor y de frío, los habitantes están expuestos a condiciones de desconfort que ponen en riesgo su salud (Ferrelli y Piccolo, 2017), mientras que luego de eventos como lluvias torrenciales los espacios urbanos son afectados por anegamiento e inundaciones (Zapperi, 2014). Por otro lado, la actividad agrícola de secano es el principal motor económico de la región. Sin embargo, está demostrado que la misma está estrechamente vinculada con la variabilidad de las preci-

pitaciones debido a que cuando se genera un evento húmedo, los rendimientos son mayores y viceversa (Brendel et al., 2017)

Por lo tanto, la intensidad y la duración de los eventos termo-pluviométricos diarios tienen un impacto directo sobre la sociedad y el desarrollo de sus actividades. Por tal motivo, se destaca la necesidad de estudiar su tendencia en una región semiárida como es el sur de la Región Pampeana (Argentina). Por ello, el objetivo de este trabajo fue analizar eventos termo-pluviométricos ocurridos a escala diaria en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) para conocer su intensidad y magnitud con la finalidad de brindar la información necesaria para que los tomadores de decisiones tengan las herramientas necesarias para el diseño de un plan de manejo sustentable del territorio.

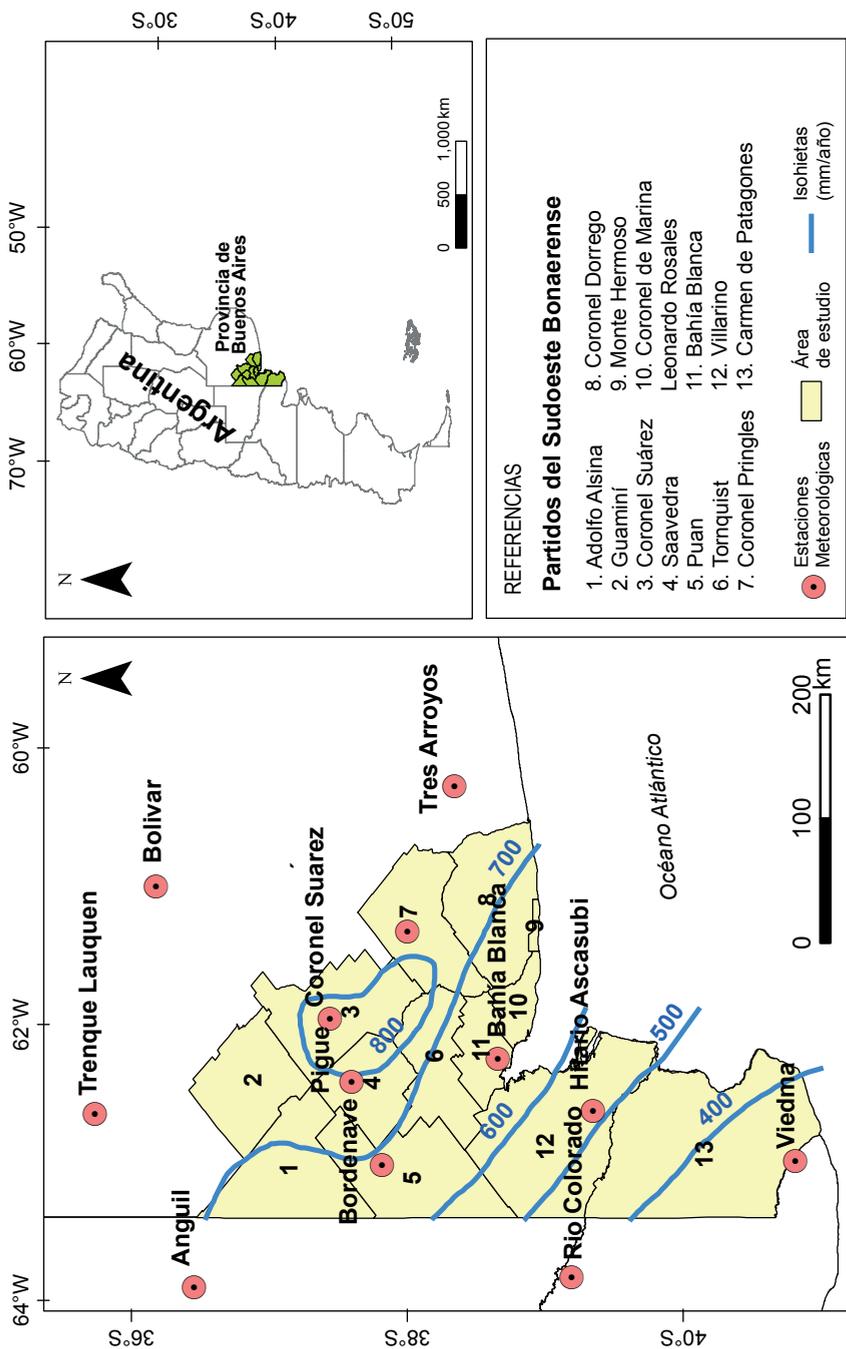
### Área de estudio

El área de estudio se localiza al sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) y se denomina Sudoeste Bonaerense según Ley provincial 13647 (Fig. 1). El principal fin de esta ley es el de promover el ordenamiento de las políticas públicas y las acciones necesarias para impulsar el desarrollo de los sistemas agrarios, considerando la sustentabilidad climática y productiva (Ferrelli, Brendel, Aliaga, Piccolo y Perillo, 2018). La región presenta una variedad de ambientes las cuales le otorgan una importancia relativa, dado que presenta una gran vulnerabilidad ante los efectos de la variabilidad climática. Es un área que engloba las ecorregiones de las Pampas y el Espinal (Viglizzo et al., 2011) y su clima es templado y semiárido (Aliaga, Ferrelli y Piccolo, 2017), con precipitaciones anuales que oscilan entre 800 (al norte) y 400 mm/año (al sur) (Aliaga, Ferrelli, Alberdi Algañaz, Bohn y Piccolo, 2016) y con una marcada estacionalidad térmica que permite diferenciar veranos de inviernos. Otros autores caracterizaron su clima como frío subhúmedo o semiárido (Diaz y Mormeneo, 2002).

Por otro lado, los suelos son aptos para la agricultura y ganadería, aunque esta aptitud decrece en relación con el gradiente de isohietas anuales (de noreste a sudoeste) (Fig. 1) (Brown, Martínez Ortiz, Acerbi, y Corcuera, 2006). El trigo es el principal cultivo de cosecha y aporta más del 12 % del total de la producción de Argentina (Coma, 2010). El mismo se desarrolla de forma extensiva bajo condiciones de secano lo que permite definir a esta área como altamente dependiente de las precipitaciones (Brendel et al., 2017).

### Metodología

La metodología aplicada en este estudio se dividió en tres apartados interrelacionados entre sí. En una primera instancia, se recabó información meteorológica diaria



**Figura 1.** Localización del área de estudio y las estaciones meteorológicas utilizadas en este trabajo. Se presentan las unidades administrativas que conforman el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Fuente: elaborado por Ferrelli.

pertenciente a distintos organismos nacionales como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina). Posteriormente, se realizó un exhaustivo control de calidad de la información, necesario para calcular los 25 índices climáticos. Finalmente, se aplicaron análisis de regresión lineal y test de Mann-Kendal para analizar las tendencias junto con el estimador de tendencia de Sen para su cuantificación (Sen, 1968). A continuación, se detallan cada uno de los pasos.

### **Control de calidad y homogeneidad de la información meteorológica**

Se recabó información meteorológica diaria de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitaciones de doce estaciones meteorológicas distribuidas sobre el área de estudio para el período 1970-2017 (Fig. 1). Los datos fueron preprocesados siguiendo la metodología propuesta por Zhou, Aizen y Aizen (2018). La misma consistió en un armado de la información en columnas, identificando los datos faltantes, las inconsistencias y los datos erróneos (Ferrelli et al., 2019). Aquellas estaciones con períodos más cortos de tiempo o que presentaron baches fueron rellenadas mediante técnicas de relleno o Gap-Filling a partir de la aplicación de un Análisis de Componentes Principales (Ferrelli et al., 2019). Este método se aplica de forma constante para realizar el relleno de series de tiempo con la finalidad de generar un nuevo set de datos derivado de la combinación original de las variables, con la ventaja de que captura la mayor parte de la varianza observada en la serie original. Este método es el más utilizado en meteorología y climatología para llevar a cabo estos procedimientos (Taylor, Losch, Wenzel y Schröter, 2013; Kondrashov, Denton, Shprits y Singer 2014; Zhou et al., 2018, entre otros).

Una vez filtradas las series de tiempo, se procedió a realizar un control de calidad y de homogeneidad de la información. Para ello, se utilizaron los *softwares* RclimDex (Zhang y Yang, 2013) y el RHtest V4 (Wang, Chen, Wu, Feng y Pu, 2010), respectivamente. Los mismos permitieron aplicar técnicas de control tales como el *test* $t$  (Wang, Wen y Wu, 2007) y el *test* $F$  (Wang, 2008). Finalmente, la información fue testeada con pruebas de homogeneización climática, con el fin de ajustar las observaciones, eliminando todos los efectos de los factores noclimáticos que hubiesen podido interferir en la información. Estos últimos se refieren a cambios en la ubicación de la estación, el entorno, la instrumentación que podrían afectar las tendencias reales en los datos (Ruml et al., 2017).

### **Cálculo de índices termo-pluviométricos**

Se calcularon 25 índices climáticos de los cuales 12 fueron térmicos y 11 pluviométricos. Los mismos fueron definidos por el *Expert Team on Climate Detection and Indices* (ETCCDI) (Peterson et al., 2001; Zhang et al., 2011) (Tabla

I). El cálculo se realizó aplicando el *software* RClimDex (Zhang y Yang, 2013). Con ellos, se identificaron los cambios diarios en la temperatura y en la precipitación. Estos índices han sido ampliamente utilizados para la caracterización climática de los eventos diarios (e. g. Zhou et al., 2018). Además de ellos, en este estudio se identificaron la temperatura máxima media diaria (Tmaxmed) y la temperatura mínima media diaria (Tminmed), contabilizando un total 25 índices (Tabla I).

Los índices se calcularon a partir de información diaria de temperatura máxima, mínima y de precipitación. Para el análisis y la presentación de la información, se consideraron tres categorías: i) índices de temperatura máxima, ii) índices de temperatura mínima y iii) índices de precipitación (Tabla I). Con esta información, se estudió la tendencia y su cuantificación con el estimador de Sen.

### **Análisis de las tendencias**

La tendencia de cada uno de los eventos climáticos se estudió aplicando una regresión lineal y un test de Mann Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) con un  $\alpha = 0,05$ . Ambos test han sido utilizados en otros trabajos a escala mundial con el fin de estudiar las tendencias y su significancia estadística (Wang, Alexander y Zwiers 2013; Chen, He, Guan y Cai, 2017). El test de Mann-Kendall para una serie de datos independientes  $n$  supone que la hipótesis nula no debe ser rechazada:  $H_0$ : no se presenta una tendencia lineal en la serie y  $H_1$ : hay una tendencia lineal en la serie. Este test utiliza el estadístico Taub de Kendall. Si el mismo es positivo, entonces la serie de datos tiene una tendencia positiva y viceversa. Se consideró que la tendencia fue significativa cuando el valor de  $p$  fue menor a 0,05.

Por otro lado, se cuantificó la tendencia mediante el estimador de pendiente de Sen (1968) de la siguiente manera:

$$f(t) = B + Q * t \quad (1)$$

donde  $Q$  es la pendiente,  $B$  es una constante y  $t$  es el tiempo. Para obtener la estimación de  $Q$ , primero se calculan todas las pendientes considerando los pares de datos aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

donde  $x_j$  y  $x_k$  son los datos en el tiempo  $j$  y  $k$  ( $j > k$ ), respectivamente. Si hay  $n$  valores en la serie de tiempo habrá tantos como pendientes estimadas  $Q_i$ . La mediana de los  $N$  valores es el estimador de la pendiente de Sen.

Índices de temperatura máxima				
ID	Nombre	Definición	Unidades	
1	Tmaxmed	Temperatura máxima	Temperatura máxima diaria	°C
2	TNx	Noches más calurosas	Valor mensual máximo de las temperaturas mínimas diarias	°C
3	TX90p	Días cálidos	Porcentaje de días cuando TX > 90mo percentil	Días
4	TN90p	Noches cálidas	Porcentaje de días cuando TN > 90mo percentil	Días
5	SU25	Días de verano	Cantidad anual de días cuando TX > 25 °C	Días
6	TR20	Noches tropicales	Cantidad anual de días cuando TN < 20 °C	Días
7	WSDI	Duración de las temperaturas elevadas	Cantidad de días con al menos 6 días consecutivos con TX > 90mo percentil	Días
Índices de temperatura mínima				
ID	Nombre	Definición	Unidades	
8	Tminmed	Temperatura mínima	Temperatura mínima diaria	°C
9	TXx	Noches más frías	Valor mensual mínimo de las temperaturas mínimas diarias	°C
10	TX10p	Días fríos	Porcentaje de las temperaturas cuando TX < 10mo percentil	Días
11	TN10p	Noches frías	Porcentaje de las temperaturas cuando TN < 10mo percentil	Días
12	FD0	Heladas	Cantidad anual de días cuando TN < 0 °C	Días
13	ID0	Días con temperaturas bajo cero	Cantidad anual cuando TX < 0 °C	Días
14	CSDI	Indicador de la duración de las temperaturas bajas	Cantidad de días con al menos 6 días consecutivos con TN < 10mo percentil	Días
Índices de precipitación				
ID	Nombre	Definición	Unidades	
15	RX1day	Cantidad de precipitación máxima caída en un día	Máximo mensual de precipitación ocurrido en un día	Mm
16	RX5day	Cantidad de precipitación caída en cinco días	Máximo mensual de precipitación ocurrido durante 5 días consecutivos	Mm

17	SDII	Índice de intensidad diaria	Monto anual de precipitación dividida por el número de días húmedos (aquellos con la pp > 1.0 mm) en un año	mm/día
18	R10	Precipitaciones fuertes	Cantidad de precipitación anual cuando pp > 10 mm	Días
19	R20	Precipitaciones torrenciales	Monto anual de precipitación cuando pp > 20 mm	Días
20	Rnn	Precipitaciones superiores a 25 mm/día	Monto anual de precipitación cuando pp > 25 mm	Días
21	CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con precipitación < 1 mm	Días
22	CWD	Días lluviosos consecutivos	Número Máximo de días consecutivos con precipitación > 1 mm	Días
23	R95p	Días muy lluviosos	Cantidad anual de pp cuando pp < al percentil 95	Mm
24	R99p	Días extremadamente lluviosos	Pp anual cuando pp > al percentil 99	mm
25	PRCP-TOT	Precipitación total anual caída en los días húmedos	Monto anual de precipitación caída en días húmedos (pp > 1 mm)	mm

**Tabla I.** Índices climáticos para definir eventos termo-pluviométricos diarios. Fuente: modificado de Peterson et al. (2001), Ruml et al. (2017) y Ferrelli et al. (2019).

## Resultados

En esta sección, se presentan los resultados para cada uno de los índices analizados divididos en temperatura máxima, mínima y precipitación. Particularmente, los índices ID0 y TR20 no fueron considerados en el análisis debido a que no presentaron modificaciones espacio-temporales en sus tendencias.

### Índices de temperatura máxima

La temperatura máxima media (TmaxMed) presentó tendencia creciente en toda el área de estudio (con valores entre 0,1 °C y 0,8 °C durante el período 1970-2017). Sin embargo, solo fue estadísticamente significativa en el 41 % del área (Fig. 2). La temperatura máxima absoluta (TXx) registró tendencias negativas en un área

que se extendió desde el centro hacia el norte y noroeste de la región, pero sin ser estadísticamente significativa (oscilando entre 0,5 y 1,3 °C durante los 48 años considerados). Sin embargo, desde el este y hacia el sudoeste se presentaron tendencias positivas (desde 0,2 hasta 0,5 °C/48 años).

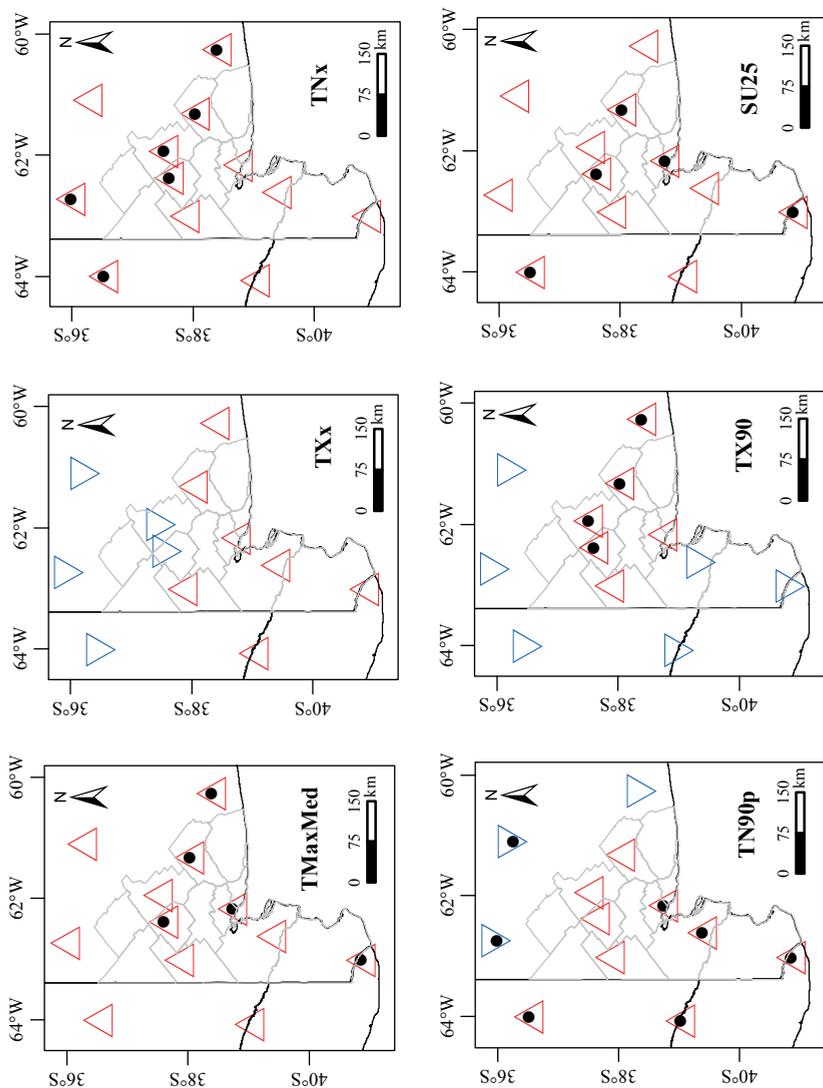
Por otra parte, toda el área de estudio registró tendencia positiva en los valores máximos de las temperaturas mínimas diarias (TNx) ( $\cong 1,1$  °C) y en los días de verano (SU25) ( $\cong 11$  días), pero solo fue estadísticamente significativa en el 50 y 41 % del total de las estaciones analizadas, respectivamente (Fig. 2). Las noches frías (TN90p) presentaron tendencias negativas en el norte y este de la región ( $\cong 4$  días) y positivas en el centro y sur ( $\cong 3$  días). Finalmente, los días cálidos (TX90p) marcaron un área central con pendientes positivas en donde los cambios fueron, en su mayoría, estadísticamente significativos (2,3-10,2 días/48 años). El resto de la región presentó tendencias negativas ( $\cong 2$  días/48 años) (Fig. 2).

### Índices de temperatura mínima

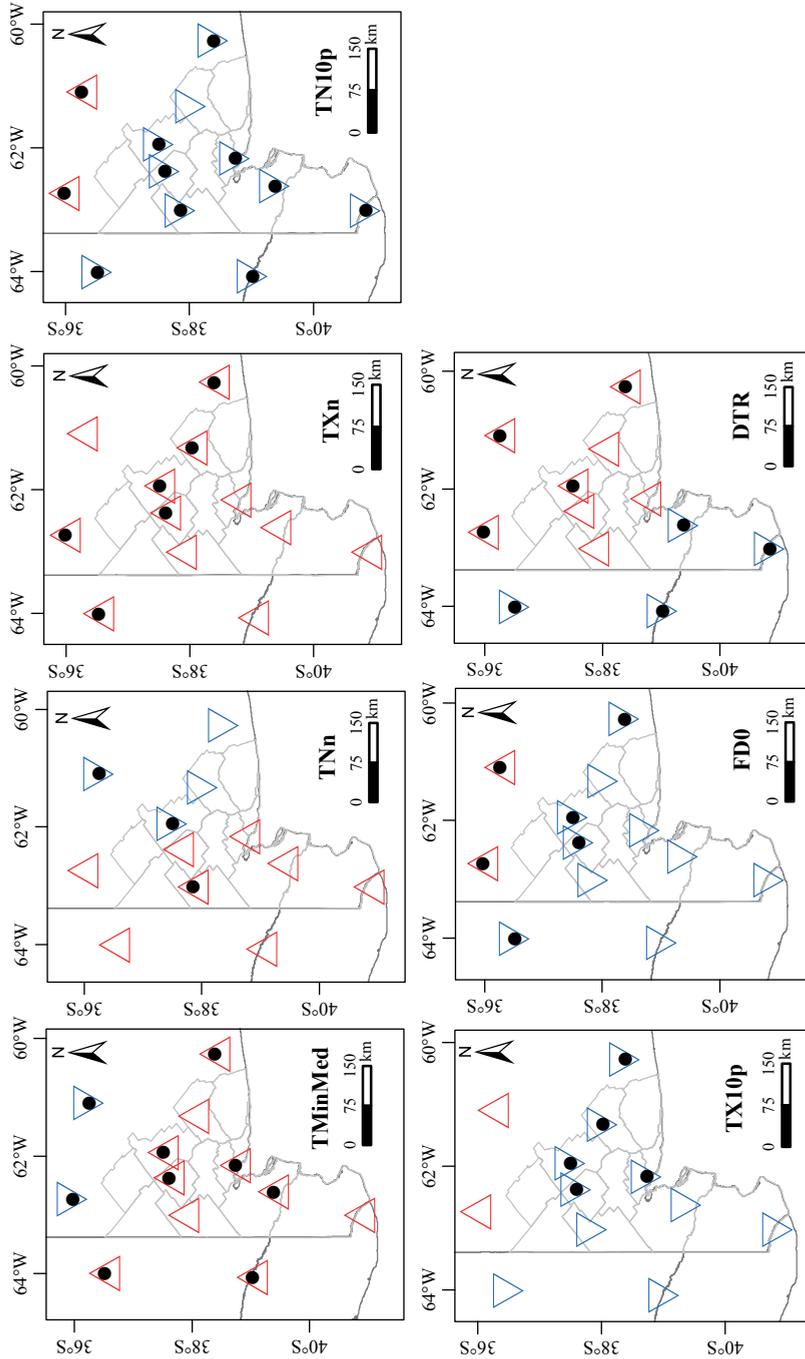
Las tendencias que presentaron los índices climáticos de temperaturas mínimas se graficaron en la Fig. 3. Al igual que lo analizado en la temperatura máxima, se observó una tendencia general al aumento de la temperatura mínima en la mayor parte de la región (0,4-0,8 °C durante los 48 años estudiados) (TminMed), exceptuando el norte, en donde la misma fue negativa y estadísticamente significativa (1,2 °C/48 años) (Fig. 3). Una situación opuesta se presentó al estudiar los días fríos (TX10p). Los valores mínimos de las temperaturas mínimas diarias (TNn) tuvieron una tendencia negativa al este (1,9 °C) y positiva al oeste (0,8 °C), mientras que los valores mínimos de TXn fueron positivos en toda la región ( $\cong 0,2$  °C), siendo estadísticamente significativos en el 50 % del área de estudio. Los TN10p y las heladas (FD0) presentaron un patrón similar y opuesto a lo observado en la temperatura máxima, es decir, disminuyeron en la mayor parte de la región ( $\cong 3,8$  y 10,6 días, respectivamente), exceptuando el norte ( $\cong 5$  y 24,3 días, respectivamente). Finalmente, la amplitud de la temperatura diurna (DTR) se incrementó desde centro hacia el noreste (0,6 °C) y disminuyó en el sur y el oeste de forma significativa (0,8 °C) (Fig. 3).

### Índices de precipitación

El análisis de la tendencia y su significancia estadística para los once índices climáticos diarios de precipitación se presentan en la figura 4. Los mismos tuvieron mayor heterogeneidad que los eventos térmicos, generando patrones de distribución espacial más complejos. Los días secos consecutivos (CDD) presentaron una tendencia negativa en el 25 % de las estaciones y se localizaron principalmente en el centro de la región (38 días/48 años). Hacia el norte y el sur, los mismos



**Figura 2.** Tendencia de los índices climáticos de temperatura máxima. Los cambios estadísticamente significativos se señalan con un punto negro. La orientación del triángulo indica si la pendiente fue positiva o negativa. Fuente: Elaborado por Ferrelli (2019)



**Figura 3.** Tendencia de los índices climáticos de temperatura mínima. Los cambios estadísticamente significativos se señalan con un punto negro. La orientación del triángulo indica si la pendiente fue positiva o negativa. Fuente: Elaborado por Ferrelli (2019).

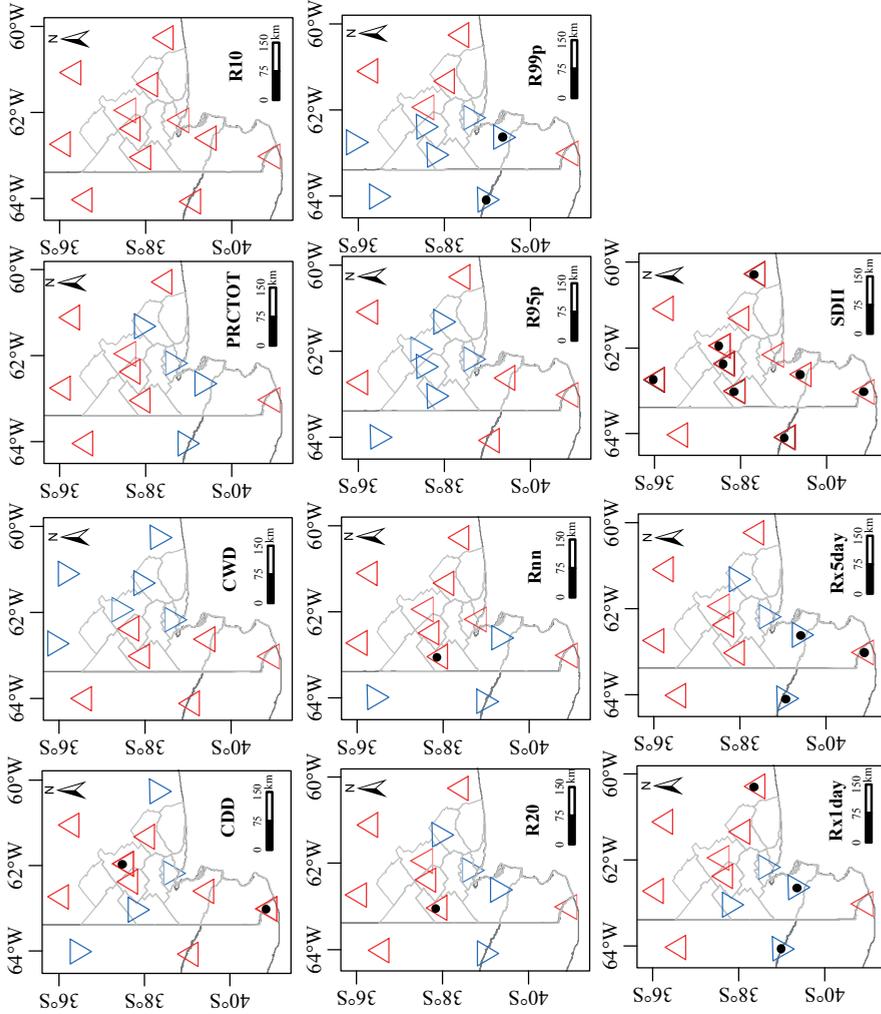
registraron una tendencia positiva ( $\cong 7$  días). A pesar de ello, los cambios solo fueron significativos en la estación de Viedma (sur) (13,3 días) y Coronel Suárez (norte) (9,9 días) (Fig. 4). Los días húmedos consecutivos (CWD) se redujeron en el oeste de la zona de estudio (1,2 días) y aumentaron en el este (0,8 días). Las modificaciones en este índice no fueron estadísticamente significativas (Fig. 4).

La precipitación total (PRCTOT) presentó tendencia positiva en el 67 % del área de estudio ( $\cong 30$  mm). Sin embargo, estas variaciones no fueron estadísticamente significativas. Por otra parte, se registró un aumento generalizado de las lluvias fuertes (R10) ( $\cong 11$  mm). Las muy fuertes (R20) y las torrenciales (Rnn) tuvieron un patrón de distribución espacial similar entre sí, incrementándose en la mayor parte de la región (67 y 75 %, respectivamente) con aumentos de 9,6 y 4 mm, respectivamente. Los días muy lluviosos (R95p) se redujeron en el 50 % de las estaciones analizadas ( $\cong 5$  días) y los extremadamente lluviosos (R99p), en el 58 % ( $\cong 6$  días) (Fig. 4). El Rx1day y el Rx5day se incrementaron en la mayor parte del área ( $\cong 3$  y 3,5 días, respectivamente). Finalmente, los SDII fueron positivos en la totalidad de las localidades y significativos en el 75 % de ellas ( $\cong 4,6$  mm) (Fig. 4).

## Discusión

La aplicación de los 25 índices termo-pluviométricos y el análisis de su tendencia permitió realizar un estudio detallado de la variabilidad climática diaria en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) durante el período 1970-2017. La utilización de esta metodología en otras partes del mundo fue útil para identificar la heterogeneidad de los cambios que cada variable meteorológica presenta en un período de tiempo determinado (Vincent et al., 2005; Vincent y Mekis, 2006; Chen et al., 2017).

Las variaciones observadas en los índices diarios de temperatura son importantes ya que influyen directamente sobre la actividad agropecuaria. En este contexto, los días con heladas tuvieron una tendencia negativa en un área que se extendió desde el centro hasta el sur del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Estos resultados son acordes con aquellos estudios realizados en el centro de Argentina que afirman que hubo una disminución progresiva de la cantidad de días con heladas (Barrucand y Rusticucci, 2001; Fernandez Long, Müller, Beltrán-Przekurat y Scarpati, 2013). Sin embargo, el norte del área de estudio manifestó un incremento de los mismos, junto con una disminución significativa de la temperatura mínima. Es importante destacar que los estudios referidos específicamente a la Región Pampeana demuestran que las heladas tienen una tendencia negativa y significativa (Fernández Long, Barnatán, Spescha, Hurtado y Murphy, 2005). El interés de estudiar estos eventos recae en que están estrechamente vinculados con las actividades agroeconómicas, dado que podrían aumentar el riesgo de congelamiento, lo que desencadenaría un consecuente impacto negativo en los cultivos (Fernández-



**Figura 4.** Tendencia de los índices climáticos de precipitación. Los cambios estadísticamente significativos se señalan con un punto negro. La orientación del triángulo indica si la pendiente fue positiva o negativa. Fuente: Elaborado por Ferrelli (2019).

Long et al., 2005). Es destacable que, en las áreas caracterizadas por la rotación de cultivos, el conocimiento de la última helada ocurrida en el año podría modificar la fecha de siembra, afectando el normal desarrollo de los mismos (Monzón, Sadras, Abbate y Caviglia, 2007).

La mayor parte de los índices térmicos se relacionan directamente con las actividades agropecuarias, ya que su variación espacio-temporal y el estudio de su tendencia y su significancia son esenciales para conocer el contexto en el que se encuentra una determinada región. Por ello, el conocimiento de la tendencia de los días fríos (TX10p), las noches frías (TN10p) al igual que los cálidos (TX90p y TN90p, respectivamente) son esenciales, debido a que permiten estimar el período óptimo para el crecimiento de los cultivos con el fin de reducir las pérdidas y daños que podrían producirse en las cosechas o en los períodos de siembra (Menzel, Jakobi, Ahas, Scheifinger y Estrella, 2003; Fernandez-Long et al., 2013). Una situación similar se presenta cuando se estudia la tendencia de las temperaturas mínimas absolutas (TNn), dado que su conocimiento podría contribuir con una mejora en los rendimientos de estas actividades. Por ejemplo, una variación térmica puede repercutir en un aumento de las enfermedades y las plagas en los cultivos (Grassini, Thorburn, Burr y Cassman, 2011; Worku et al., 2018). Además, existe evidencia de que durante períodos en donde la cantidad de los días secos consecutivos fueron elevados, se intensificaron los procesos de erosión eólica, perjudicando la salud de la población y ocasionando impactos ambientales negativos (Ferrelli, 2016).

Por otro lado, del análisis realizado se concluye que el sudoeste de la provincia de Buenos Aires tiende a un calentamiento derivado de los aumentos significativos de las temperaturas máximas. Este hecho representa una mayor cantidad de energía disponible que podría afectar los procesos de floración y crecimiento de los cultivos. A su vez, la mayor disponibilidad energética en períodos en los que los cultivos no lo necesitan podrían afectar potencialmente el rendimiento de los mismos (Fernández Long et al., 2013). En este contexto, se destaca que el conocimiento de la variabilidad térmica diaria es relevante, dado que podría afectar la producción de forraje y pasturas y perjudicar así la actividad ganadera, mientras que la variabilidad pluviométrica tiene impactos directos sobre la disponibilidad de agua esencial para la producción agrícola (Worku et al., 2018), sobre todo en aquellas regiones en donde se realizan cultivos de secano (Ferrelli et al., 2019).

En lo referente a la precipitación, si bien la mayor parte de los índices no tuvieron una tendencia significativa, sí se presentaron algunas particularidades a destacar. Por un lado, se distingue que el sur del área de estudio estaría aumentando su exposición a procesos de erosión eólica originados por el incremento de los CDD y la leve reducción de los CWD. Además, se observó un aumento de la precipitación sobre el norte del área de estudio y se evidenció una tendencia negativa en el sur, exponiendo a esta región a condiciones de mayor aridez (Ferrelli et al.,

2019). En este contexto, es importante remarcar que el sur del área de estudio está caracterizado por tener un régimen pluviométrico diferente al resto de la Región Pampeana, tanto en los registros mensuales como en sus montos anuales (Aliaga et al., 2016). Finalmente, cabe destacar que las tormentas fuertes, muy fuertes y torrenciales presentaron tendencias positivas en la mayor parte del área de estudio, lo que expondría a la región a una intensificación de los procesos de erosión hídrica. Este último patrón es el más frecuente en la mayor parte de los estudios realizados en otras partes del mundo (Westra et al., 2013).

Los eventos pluviométricos diarios también tienen impactos directos sobre las actividades agrícolas (por ejemplo, las lluvias fuertes, torrenciales, cambios en la precipitación total, entre otros) (Worku et al., 2018). La variabilidad pluviométrica propia del sudoeste de la provincia de Buenos Aires podría generar procesos de inundación o sequía que no solo afectarían a las actividades económicas, sino que también a la calidad de vida de la población (Ferrelli, 2016). El sudoeste de la provincia de Buenos Aires es una de las áreas trigueras más importantes de Argentina. La superficie y la producción de este cultivo dependen directamente de la alternancia de eventos secos y húmedos. Así, por ejemplo, existe evidencia de que durante el período 2008-2009, identificado como la sequía más intensa de los últimos 20 años, el área sembrada disminuyó significativamente, siendo el sur del área de estudio el lugar donde se registraron las mayores pérdidas (Ferrelli, Bohn y Piccolo, 2011; Brendel et al., 2017). En contraposición, en el período 2001-2002, identificado como un evento lluvioso, se presentaron las condiciones óptimas para el crecimiento de trigo y su rendimiento fue uno de los mayores del período 2000-2012 (Brendel et al., 2017). Finalmente, es importante destacar que el estudio detallado de la variabilidad termo-pluviométrica diaria otorga la información esencial para orientar un plan de manejo sustentable del territorio con la finalidad de lograr un eficaz manejo de los recursos naturales y de las actividades económicas que allí se desarrollan.

## **Conclusiones**

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires es un área en donde los eventos termo-pluviométricos diarios tienen un rol fundamental. Los índices de temperatura máxima revelaron que la región está expuesta a un mayor calentamiento (1960-2017). Sin embargo, los de temperatura mínima evidenciaron que el norte del área de estudio tiende a un enfriamiento significativo. Finalmente, los pluviométricos no presentaron variaciones temporales significativas. Sin embargo, las tendencias negativas estudiadas en el sur del área de estudio indicarían la intensificación de las condiciones de aridez.

El comportamiento termo-pluviométrico observado en el Sudoeste Bonaerense genera la necesidad de realizar planes de manejo sustentable del territorio que

abarque las condiciones de su clima local y regional. Por lo tanto, este trabajo conforma una base de datos fundamental que servirá de sustento para orientar las políticas destinadas al ordenamiento de las actividades agropecuarias, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población y garantizar la sustentabilidad ambiental.

### **Agradecimientos**

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina) y a la Universidad Nacional del Sur por el financiamiento de la presente investigación. Además, se destaca al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) por el suministro de los datos meteorológicos.

### **Referencias**

- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., Alberdi-Algarañaz, E. D., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2016). Distribution and variability of precipitation in the Pampas, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42(1), 261-280.
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F. y Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37, 1237-1247.
- Barrucand, M. y Rusticucci, M. (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Variabilidad temporal y regional. *Meteorológica*, 26(1-2), 85-102.
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). *Estudios Geográficos*, LXXVIII, 7-29.
- Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corcuera, J. (2006). *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Campo, A., Bagnulo, C. y Pacheco, R. (2012). Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Puan. *Revista Electrónica Geografía Austral*, 1, 1-11.
- Chen, A., He, X., Guan, H. y Cai, Y. (2017). Trends and periodicity of daily temperature and precipitation extremes during 1960-2013 in Hunan Province, central south China. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1-2), 71-88.

Coma, C. (2010). *Trigo en el área de la EEA INTA BORDENAVE* (Informe Técnico, provincia de Buenos Aires). Buenos Aires, Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria, 1-19.

Díaz, R. y Mormeneo, I. (2002). Zonificación del clima en la región pampeana mediante análisis de conglomerado por consenso, *Agrometeorología*, 2, 125-131.

Fernández-Long, M. E., Barnatán, I. E., Spescha, L. B., Hurtado, R. H. y Murphy, G. M. (2005). Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Revista Facultad de Agronomía*, 25(3), 247-257.

Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A. y Scarpati, O. E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673-1686.

Ferrelli, F. Bohn, V. Y. y Piccolo M. C. (2011). Aplicación de geotecnologías al estudio de las precipitaciones y su relación con las coberturas del suelo (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 11, 355-374.

Ferrelli, F., Bohn, V. y Piccolo, M. C. (Abril, 2012). Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Trabajo presentado en: IX Jornadas Nacionales de Geografía Física, 15-28, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.

Ferrelli, F. (2016). Efectos de eventos El Niño y La Niña sobre las lagunas del sur de la Región Pampeana (Argentina). *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 2016(2), 122-142.

Ferrelli, F. y Piccolo, M. C. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina). *Bitácora Urbano Territorial*, 27(3), 91-100.

Ferrelli, F., Brendel, A. S., Aliaga, V. S., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (Agosto, 2018). Análisis de la tendencia de eventos extremos pluviométricos en el Sudoeste Bonaerense (Argentina). Trabajo presentado en: XII Bienal del Coloquio de Transformaciones Territoriales, 990-996, Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo.

Ferrelli, F., Brendel, A. S., Aliaga, V. S., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2019). Regionalization and trends of climate based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45 (1), 393-416.

Grassini, P., Thorburn, J., Burr, C. y Cassman, K. G. (2011). High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. *Field Crops Research*, 120, 142-150.

Intergovernmental Panel of Climate Change (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. En C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor & P. M. Midgley (Eds.). *A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change (IPCC)* (pp. 555-564). Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University press,

Intergovernmental Panel of Climate Change (2013). Climate change 2013: the physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (Eds.). Cambridge, UK, and New York, USA: Cambridge University Press, 203 pp.

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods*. London: Griffin.

Kondrashov D., Denton R., Shprits Y. Y. y Singer H. J. (2014). Reconstruction of gaps in the past history of solar wind parameters. *Geophysical Research Letters*, 41(8), 2702-2707.

Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Económica*, 13, 245-259.

Menzel, A., Jakobi, G., Ahas, R., Scheifinger, H. y Estrella, N. (2003). Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries. *International Journal of Climatology*, 23, 793-812.

Monzón, J. P., Sadras, V. O., Abbate, P. A. y Caviglia, O. P. (2007). Modeling management strategies for wheat-soybean double crops in the south-eastern Pampas. *Field Crops Research*, 101, 44-52.

Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. y Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs*. Geneva: World Meteorological Organization.

Ruml, M., Gregorić, E., Vujadinović, M., Radovanović, S., Matović, G., Vuković, A., Pocuca, V. y Stojičić, D. (2017). Observed changes of temperature extremes in Serbia over the period 1961-2010. *Atmospheric Research*, 183, 26-41.

Salguero-Gómez, R., Siewert, W., Casper, B. B. y Tielbörger, K. (2012). A demographic approach to study the effects of climate change in desert plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 367(1606), 3100-3114.

Salman, S. A., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E. S. y Al-Abadi, A. M. (2017). Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq. *Atmospheric Research*, 198, 97-107.

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324), 1379-1389.

Shrestha, A. B., Bajracharya, S. R., Sharma, A. R., Duo, C. y Kulkarni, A. (2017). Observed trends and changes in daily temperature and precipitation extremes over the Koshi river basin 1975-2010. *International Journal of Climatology*, 37(2), 1066-1083.

Song, C., Pei, T. y Zhou, C. (2014). The role of changing multiscale temperature variability in extreme temperature events on the eastern and central Tibetan Plateau during 1960-2008. *International Journal of Climatology*, 34(14), 3683-3701.

Taylor M. H., Losch M., Wenzel M. y Schröter J. (2013). On the sensitivity of eld reconstruction and prediction using empirical orthogonal functions derived from Gappy data. *Journal of Climatology*, 26(22), 9194-9205.

Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L., Jobbágy, E., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D. y Ricard, F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17, 959-973.

Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G. y Grimm, A. M. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of climate*, 18(23), 5011-5023.

Vincent, L. A. y Mekis, E. (2006). Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. *Atmosphere-Ocean*, 44(2), 177-193.

Wang, X. L., Wen, Q. H. y Wu, Y. (2007). Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 916-931.

Wang, X. L. (2008). Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean shifts without trend-change. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25, 368-384.

Wang, X. L., Chen, H., Wu, Y., Feng, Y. y Pu, Q. (2010). New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(12), 2416-2436.

Westra, S., Alexander, L. V. y Zwiers, F. W. (2013). Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of Climate*, 26(11), 3904-3918.

Whan, K., Alexander, L. V., Imielska, A., McGree, S., Jones, D., Ene, E., Finaulahi, S., Inape, K., Jacklick, L., Kumar, R., Laurent, V., Malala, H., Malsale, P., Pulehetoa-Mitiepo, R., Ngemaes, M., Peltier, A., Porteous, A., Seuseu, S., Skilling, E., Tahani, L., Toorua, U. y Vaiimene, M. (2013). Trends and variability of temperature extremes in the Tropical Western Pacific. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2585-603.

Worku, G., Teferi, E., Bantider, A. y Dile, Y. T. (2018). Observed changes in extremes of daily rainfall and temperature in Jemma Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-16.

Zhang, X. y Yang, F. (2013). RCLimDex (1.1) user manual. Recuperado de <http://cccma.seos.ubic.ca/ETCCDI/software.shtml>

Zapperi, P. A. (2014). Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 23(2), 125-150.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B. y Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851-870.

Zhou, H., Aizen, E. y Aizen, V. (2018). Constructing a long-term monthly climate data set in central Asia. *International Journal of Climatology*, 38, 1463-1475.

Fecha de recepción: 1 de marzo de 2019

Fecha de aceptación: 31 de mayo de 2019

© 2019 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite [http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es\\_AR](http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR)

