

1

Evaluación de la tendencia y la periodicidad de eventos térmicos y pluviométricos en el Sudoeste Bonaerense (Argentina)

Federico Ferrelli¹

Universidad Nacional del Sur / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

@ [federicoferrelli@gmail.com]

RECIBIDO 27-02-2020

ACEPTADO 20-08-2020

Cita sugerida: Ferrelli, F. (2020). Evaluación de la tendencia y la periodicidad de eventos térmicos y pluviométricos en el Sudoeste Bonaerense (Argentina). Revista *Huellas*, Volumen 24, N° 2, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Recuperado a partir de: <http://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas>

<http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2020-2415>

Resumen

El Sudoeste Bonaerense es un área localizada en el sur de la Región Pampeana (Argentina) que concentra el 12 % de la producción agrícola nacional. A pesar de que existen numerosas investigaciones climáticas de la región, no se han estudiado los ciclos y tendencias térmicas y pluviométricas y de los eventos de sequías e inundaciones. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la periodicidad de los eventos térmicos y pluviométricos durante el período 1970-2016. Para llevarlo a cabo, se estudiaron series diarias de datos meteorológicos con un test de Mann-Kendall, con el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación y de la Transformada de Wavelet Continua. Los resultados demostraron que la temperatura tuvo una tendencia positiva y significativa, excepto en el norte. Los eventos de precipitación se originaron en simultáneo en toda la región y coincidieron con la ocurrencia de eventos El Niño o La Niña. Los de menor intensidad ocurrieron de forma heterogénea. La periodicidad termo-pluviométrica evidenció una inconsistencia espacial dado que las señales fueron distintas en sentido norte-sur. La información obtenida permite disponer de una base de datos necesaria para enmarcar planes de ordenamiento del territorio con vistas a un desarrollo sustentable.

Palabras clave: Tendencia; Periodicidad; Sudoeste Bonaerense

1 Investigador Asistente de CONICET. Ayudante de docencia. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía y Turismo. Instituto Argentino de Oceanografía. Complejo CCT CONICET, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Abstract

The southwest region of Buenos Aires province is an area located in the south of the Pampas region (Argentina), that concentrates 12% of the national agricultural production. In spite of the existence of ample research on the climate of this region, neither thermal and rainfall cycles and tendencies, nor the cycles of dry and wet events, have been studied yet. For these reasons, this research aimed at evaluating the periodicity of thermal and rainfall events during the period 1970-2016. For such a purpose, daily meteorological series were analyzed through a Mann-Kendall test, the Standardized Precipitation Index and the Continuous Wavelet Transform. For temperature, results showed the existence of a positive and significant trend in most of the area, except in the north. Rainfall events took place all over the study area simultaneously, and they coincided with El Niño or La Niña events. Less intense precipitation events occurred in a heterogeneous way. The periodicity of thermal and rainfall events made evident a spatial inconsistency as the north was characterized by seasonal and annual cycles and in the south the cycles were heterogeneous. The results obtained provide decision-makers with a useful database to frame territorial planning with a view to achieving sustainable development.

Keywords: Trends; Periodicity; Southwest of Buenos Aires province

Avaliação da tendência e a periodicidade de eventos térmicos e pluviométricos no Sudoeste Boanerense (Argentina)

Resumo

O Sudoeste de Buenos Aires é uma área localizada ao sul da Região Pamplana (Argentina) que concentra 12% da produção agrícola nacional. Existem inúmeras investigações climáticas na região. No entanto, os ciclos e tendências térmicas e de chuva, e eventos de seca e inundação não foram estudados. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a periodicidade dos eventos térmicos e pluviométricos durante o período 1970-2016. Para tanto, foram estudadas séries diárias de dados meteorológicos com teste de Mann-Kendall, cálculo do Índice de Precipitação Padronizado e Transformada Wavelet Contínua. Os resultados mostraram que a temperatura teve uma tendência positiva e significativa, exceto no Norte. Os eventos de precipitação originaram-se simultaneamente em toda a região e coincidiram com a ocorrência de eventos El Niño ou La Niña. As de menor intensidade ocorreram de forma heterogênea. A periodicidade termo pluviométrica evidenciou uma inconsistência espacial uma vez que os sinais eram diferentes no sentido norte-sul. As informações obtidas permitem dispor de um banco de dados necessário para o enquadramento dos planos de ordenamento do território visando o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Tendência; Periodicidade; Sudoeste de Buenos Aires

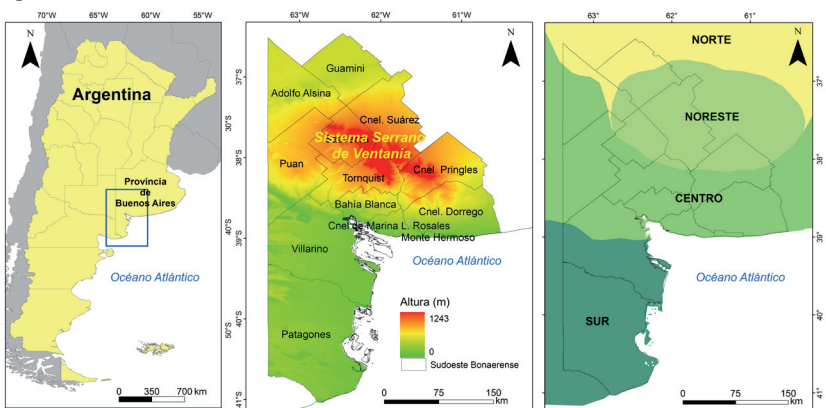
Introducción

La variabilidad climática es uno de los elementos clave para comprender el funcionamiento de los sistemas naturales y su impacto sobre las actividades humanas. Esta hace referencia al conjunto de desviaciones de la tendencia climática general o de un estado estacionario. Además, incluye las variaciones a corto plazo del estado medio del clima en todas las escalas temporales y espaciales (Houghton, 2002).

La variabilidad pluviométrica en las regiones semiáridas tiene impactos negativos en las superficies sembradas y cosechadas de los cultivos, la hacienda, las viviendas, las ciudades y el paisaje. Esto genera consecuencias en la economía regional, a partir del impacto negativo sobre la sociedad (Taboada *et al.*, 2012; Houghton, 1993; Ojeda *et al.*, 2006; Brendel *et al.*, 2017).

El área de estudio se localiza en el sur de la Región Pampeana y se denomina Sudoeste Bonaerense según la ley provincial N° 13.647 de la provincia de Buenos Aires (Argentina) (Figura N° 1). El fin principal de la ley es el ordenamiento de las políticas públicas y las acciones necesarias para impulsar y promover el desarrollo de los sistemas productivos, considerando la sustentabilidad climática y productiva. Corresponde a una región localizada en un área de transición entre los climas templados y los áridos. Al tener una gran diversidad de ambientes (Bustos *et al.*, 2016), se presentan cuatro tipos de clima diferenciados entre sí por el comportamiento termo-pluviométrico a escala diaria (Ferrelli *et al.*, 2019). Estas cuatro áreas se identificaron como Norte, Noreste, Centro y Sur, según su localización (Figura N° 1).

Figura N° 1. Localización del área de estudio



Fuente: Modificado de Ferrelli *et al.* (2019).

Cada una de las regiones climáticas presentes en el área de estudio tiene características climáticas heterogéneas (Figura N° 1). Mientras que en el Norte se identificaron los mayores montos anuales de precipitación, en el Noreste se evidenciaron las temperaturas más bajas. El Centro de la región fue una zona de transición entre los climas templados y los áridos, tal como afirma Aliaga *et al.* (2017). Su régimen pluviométrico es semiárido, con las precipitaciones concentradas en la primavera y el verano (Ferrelli *et al.*, 2017). Hacia el Sur, la región presenta un clima árido, con una precipitación media anual de 400 mm.

Existen numerosos estudios sobre el clima de la región. Por ejemplo, Campos *et al.* (2012) analizaron las fluctuaciones térmicas e hídricas y su incidencia sobre la rentabilidad agropecuaria. Se analizaron las eco-regiones identificando a esta zona como un área de transición entre las Pampas y el Espinal (Viglizzo *et al.*, 2001) y se estudiaron los tipos de clima que presenta la región (Díaz y Mormeneo, 2002; Scian *et al.*, 2006). Sin embargo, en esta área aún no se han analizado las variaciones temporales que los eventos tanto térmicos como pluviométricos presentan en cada una de estas regiones climáticas. Los cambios en los comportamientos termo-pluviométricos de una región se estudian estadísticamente a partir del cálculo de la tendencia y su periodicidad. Esta última es un elemento indispensable para conocer los cambios de la temperatura y las precipitaciones en una región dado que provee información fundamental para analizar las potenciales causas de los eventos extremos (Chen *et al.*, 2018). En este contexto, la Transformada de Wavelet Continua es un método efectivo para estudiar las características temporales de una serie de datos. La misma junto con el estudio de la pendiente han sido aplicados en distintas partes del mundo, principalmente con fines meteorológicos e hidrológicos (Aliaga *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2018).

Es destacable que durante eventos secos se incrementaron los procesos de erosión del suelo, las enfermedades infecciosas en la población, se han perdido cultivos, han muerto animales, etc. (Ferrelli, 2017). Asimismo, durante eventos húmedos, se han reducido significativamente las áreas cubiertas por bosques nativos, se identificaron pérdidas de cultivos por desarrollo de enfermedades fúngicas, pérdidas de suelo por erosión hídrica, entre otros (D'Ambrosio, 2011; Ferrelli *et al.*, 2012; Brendel *et al.*, 2017). Por ello, es que esta región requiere especial atención al momento de analizar la duración de los eventos térmicos y pluviométricos con vistas a un manejo sustentable de los recursos naturales. Por lo mencionado anteriormente, es sumamente importante ampliar el conocimiento de los cambios en el comportamiento de los eventos climáticos extremos en un

área tan dependiente de las fluctuaciones meteorológicas a corto y largo plazo. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la periodicidad de la temperatura y la precipitación en los distintos climas del Sudoeste Bonaerense durante el período 1970-2016 con la finalidad de generar información relevante para la preservación de los recursos naturales y la permanencia de las actividades agropecuarias con vistas a realizar aportes esenciales para futuros planes de manejo del territorio.

Análisis de la tendencia térmica y pluviométrica

En una primera instancia, se adquirió información meteorológica perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria del período 1970-2016. Con estas series de tiempo, de precipitación y temperatura se calculó la tendencia a escala anual, mensual y diaria correspondientes a cada uno de los climas localizados en el sur de la Región Pampeana (Figura N° 1). Para ello, se aplicó el test de Mann Kendall (Mann 1945; Kendall 1975) con un $\alpha = 0,05$. Ambos test han sido utilizados en otros estudios a escala mundial con el fin de estudiar las tendencias y la significancia estadística (Whan *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2018). Este test utiliza el estadístico Tau-b de Kendall. Si el mismo es positivo, entonces la serie de datos tiene una tendencia positiva y viceversa.

Por otro lado, para conocer el incremento o disminución de la precipitación y la temperatura se aplicó 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:

$$Q_i = \frac{x_i - x_k}{j - k} ; i = 1, 2, \dots, n \quad [2]$$

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 $N = n * \frac{n-1}{2}$ pendientes estimadas Q_i . La mediana de los N valores es el estimador de la pendiente de Sen.

Análisis de los eventos pluviométricos

Se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP) para el período 1970-2016 con la finalidad de caracterizar los eventos secos y húmedos en cada una de las regiones climáticas. Para calcular este índice, se utilizaron las series mensuales de la precipitación acumulada de cada una de estas regiones durante el período 1970-2016. Se calculó a escalas mensuales, estacionales y anuales, es decir, considerando la media móvil de uno, tres y doce meses, respectivamente. Su aplicación permitió identificar la cantidad de eventos secos y húmedos y su intensidad en cada uno de los climas del Sudoeste Bonaerense. Los períodos secos se identificaron cuando el valor del IEP fue menor a -1 y los húmedos cuando el mismo fue mayor a 1, tal como se indica en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Caracterización de los eventos pluviométricos según el IEP

Índice Estandarizado de Precipitación	
Extremadamente seco	<-2
Muy Seco	>-1,5<-2
Seco	>-1<-1,5
Normal	<1 >-1
Húmedo	>1<1,5
Muy Húmedo	>1,5<2
Extremadamente Húmedo	>2

Fuente: elaboración propia.

El IEP ha sido ampliamente aplicado para detectar sequías e inundaciones y es el que se recomienda para evaluar los impactos de las sequías en América del Sur (Penalba y Ruvera, 2016; Aliaga *et al.*, 2017). Además, es útil para identificar los impactos negativos de la variabilidad pluviométrica sobre las actividades que dependen de la precipitación como lo son los cultivos de secano y la disponibilidad de agua superficial (Strzepek *et al.*, 2010). Favorece la identificación de distintos tipos de sequía y la identificación de la intensidad de los períodos húmedos (McKee *et al.*, 1993; Edwards *et al.*, 1997).

Análisis de la periodicidad

El análisis de la periodicidad de los eventos termo-pluviométricos y su comportamiento temporal se realizó con la Transformada Wavelet Conti-

nua (TWC) (Mallat, 1999). La misma, se aplicó sobre las series de tiempo de temperatura y precipitación diaria y mensual de cada una de las regiones climáticas. Particularmente, para la temperatura se consideró un filtro de estacionalidad. Este método permitió reconstruir la variación temporal de la distribución de la amplitud de la señal en el espacio de frecuencia. La wavelet utilizada fue la de Morlet dado que ha sido exitosamente aplicada para el estudio de la variabilidad de la precipitación (Coulibaly, 2006; Aliaga *et al.*, 2016). El esquema aplicado fue el descrito por Torrence y Compo (1998). Este método permitió descomponer las series de datos en tiempo-frecuencia distribuidas en el espacio. Al descomponer series de tiempo en sub-períodos mediante la TWC fue posible determinar los ciclos dominantes y estudiar su variación (Chen *et al.*, 2018). Para su aplicación, se consideró la siguiente ecuación:

$$W_{(i,j)} = \sqrt{\frac{\Delta t}{j}} \sum_{n=1}^N X_n \Psi_0 * \left(\frac{(n-i)\Delta t}{j} \right) \quad [3]$$

donde (*) denota una conjugación compleja, Δt es la variable temporal y $\Psi_{0(n)}$ es la función normalizada de wavelet con un parámetro no-dimensional n . El resultado es una serie de coeficientes $W_{(i,j)}$ asociados con diferencias localizaciones i .

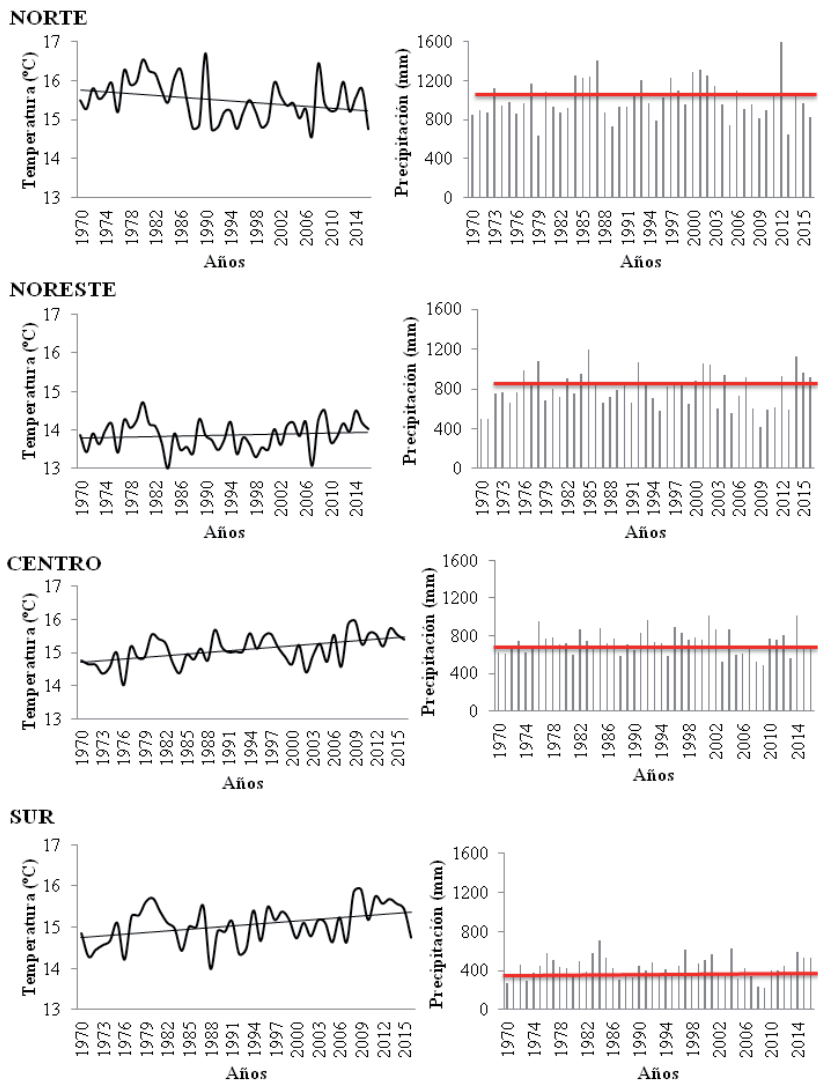
Caracterización térmica y pluviométrica

Los montos anuales de precipitación reflejaron una marcada variabilidad pluviométrica en todas las regiones. Las precipitaciones disminuyen en sentido norte-sur, siendo de 1010 mm en el Norte, 795 en el Noreste, 730 en el Centro y 429 en el Sur (Figura N° 2).

En lo referente a la temperatura se observaron tres comportamientos distintos. Por un lado, en el Norte se identificó una pendiente negativa estadísticamente significativa ($p < 0.01$). Durante el período 1970-2016, la temperatura se redujo 0,5 °C. El segundo caso corresponde al Noreste que está localizado sobre el sistema serrano de Ventania (Figura N° 1). Esta situación genera la existencia de un patrón térmico menor al resto del área de estudio debido a los efectos de la altura sobre la temperatura (Ferrelli *et al.*, 2019). Pare el período 1970-2016, se identificó un incremento térmico que no fue climáticamente destacable (0,1 °C). Por último, en las regiones Centro y Sur se observó una tendencia positiva y estadísticamente significativa, marcando un incremento de 0,8 y 0,6 °C, respectivamente (Figura N° 2). Los cambios térmicos afectan a la producción forrajera, dado que

una pequeña variación en este parámetro podría determinar el crecimiento de los principales cultivos (Ferrelli, 2019).

Figura N° 2. Comportamiento anual de la temperatura media anual y los montos anuales de precipitación en las cuatro regiones climáticas del Sudoeste Bonaerense



Fuente: elaboración propia.

La tendencia térmica coincidió en la mayor parte del área de estudio con lo que ocurre a escala global, dado que tiende a incrementarse de forma significativa (Worku *et al.*, 2019). Esto no ocurrió en la región Norte. En ella, la disminución de la temperatura media anual podría ocasionar el aumento de las heladas en invierno, generando un retraso en la fecha de siembra o hasta un daño irreparable en los cultivos (Fernandez Long *et al.*, 2013).

Análisis de los eventos pluviométricos

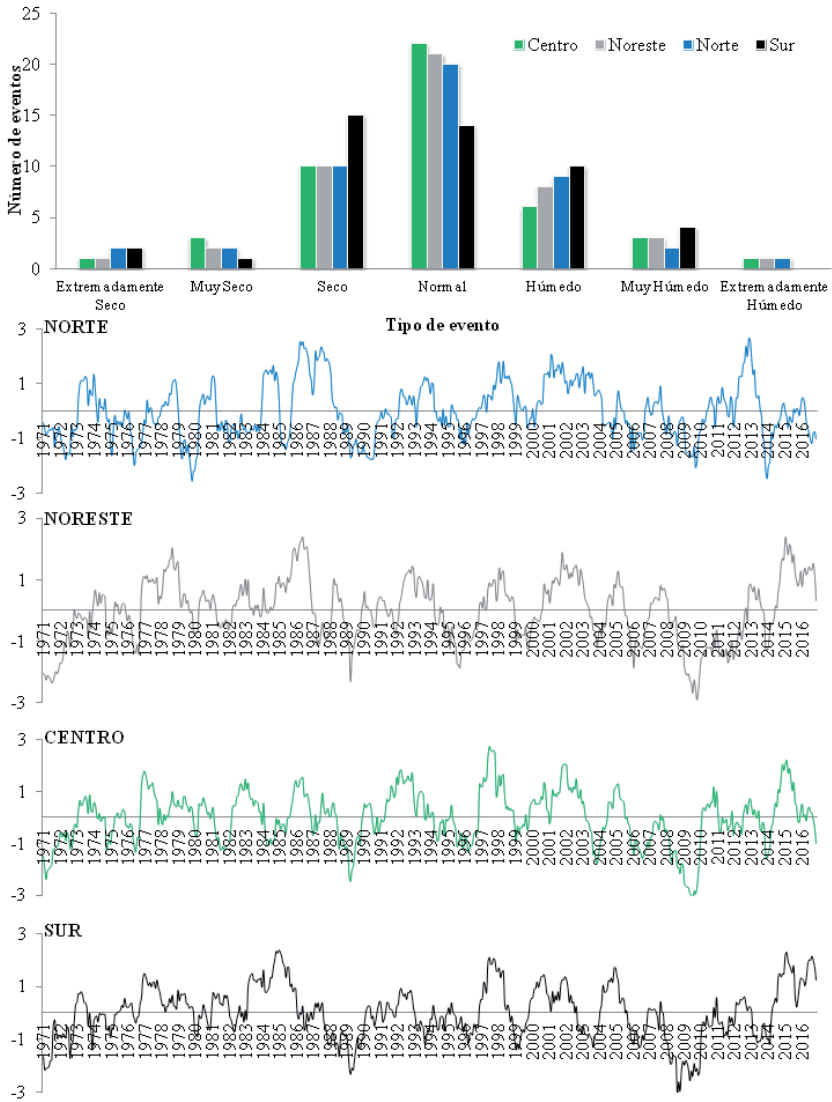
La precipitación presentó una marcada variabilidad interanual y estacional en toda el área de estudio. En las regiones Norte, Noreste y Centro, los períodos normales fueron los más frecuentes. Sin embargo, en el Sur se presentó un mayor número de eventos secos (Figura N° 3). Esto determina que el régimen pluviométrico de esta área registre un comportamiento similar al de los climas áridos y no corresponde a los templados que se emplazan en la Región Pampeana (Aliaga *et al.*, 2016).

Los eventos extremos, tanto de sequía como de inundación, se originaron en simultáneo en toda la región (Figura N° 4). Los Extremadamente Secos se observaron en 2008 y 2009, coincidente con un evento La Niña según los resultados del índice ONI, disponible en la página web de la NASA (<https://origin.cpc.ncep.noaa.gov>). Este período marcó la sequía más intensa en toda el área de estudio, generando impactos negativos tanto en los cultivos como en afecciones a la salud de la población (Ferrelli, 2016). Los ambientes estuvieron expuestos a un mayor grado de erosión eólica y hubo pérdida de cultivos, mortandad de ganados y disminución del agua para riego y consumo (D'Ambrosio, 2011; Ferrelli, 2017; Brendel *et al.*, 2017).

Por otro lado, es destacable que no se evidenció la existencia de eventos Extremadamente Húmedos en el Sur. En el resto de las regiones se presentaron en 1987 y 2015, coincidente con eventos El Niño (Figura N° 4). Los eventos tanto El Niño como La Niña tiene un efecto sobre el régimen de precipitaciones del área de estudio. La ocurrencia de los mismos determina la ocurrencia de sequías de larga duración o de eventos lluviosos de duraciones excepcionales (de hasta 25 meses) (Scian *et al.*, 2006; Ferrelli *et al.*, 2012; Campo *et al.*, 2012; Bohn *et al.*, 2016; Brendel *et al.*, 2017).

El estudio de la variabilidad de las precipitaciones constituye una herramienta necesaria para garantizar la sostenibilidad económica y alimenticia en las regiones semiáridas del mundo (Ferrelli *et al.*, 2019). El estrés hídrico al que están expuestas podría generar cambios ambientales que repercu-

Figura N° 3. Número y tipo de eventos pluviométricos ocurridos en las regiones climáticas del Sudoeste Bonaerense



Fuente: elaboración propia.

tan en su desarrollo socio-económico (Salman *et al.*, 2017). Tal es el caso de las actividades agropecuarias, que están expuestas a un mayor riesgo de sequía e inundación (Alemayehu y Bewket, 2016). Por tal motivo, su conocimiento es fundamental para reducir el impacto en los cultivos, las

pasturas y como consecuencia en la actividad ganadera. Asimismo, estas regiones presentan una inestabilidad en la disponibilidad de agua para el riego y para el consumo humano (Worku *et al.*, 2019), por ello, los cultivos de secano tienen una gran variación en sus rendimientos año tras año y la población presenta dificultades en el acceso al agua potable (Brendel *et al.*, 2017; Casado & Campo, 2019).

Periodicidad de los eventos térmicos y pluviométricos

Los gráficos obtenidos a partir del análisis de la Transformada de Wavelet Continua identificaron la frecuencia de los ciclos térmicos y pluviométricos en relación a su extensión en meses (eje Y –período en meses) y a la extensión temporal, considerando el período de estudio (eje X –1970-2016). La escala colorimétrica seleccionada identificó los períodos de mayor intensidad en color rojo, mientras que en azul se muestran los menos intensos. Como resultado del análisis de la Transformada de Wavelet Continua se estudió la periodicidad de los cambios termo-pluviométricos en cada región climática del Sudoeste Bonaerense.

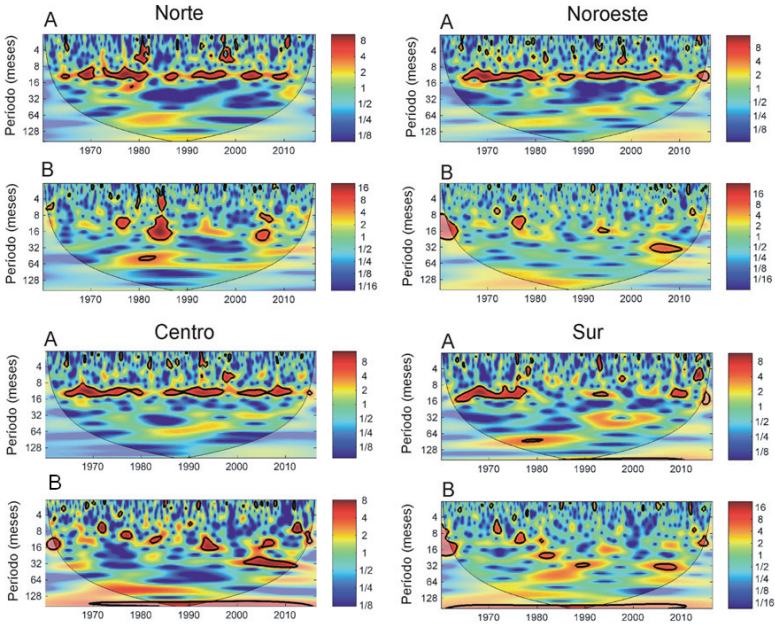
En general, se presentaron variaciones de frecuencias más inconsistentes en sentido norte-sur. El Norte mostró ciclos anuales de temperatura que fueron significativos. Además, se observaron eventos estacionales (entre 3 y 6 meses) durante 1980-1983, 1997-2001 y 2011-2012 (Figura N° 4A). El Noroeste tuvo un ciclo anual altamente significativo presente durante todo el período de estudio. El Centro también se caracterizó por presentar ese ciclo anual, aunque fue menos constante, marcando eventos durante 1962-1983, 1985-1994 y 2002-2009. En esta región, se identificaron frecuencias de entre dos a ocho meses de duración con una recurrencia de nueve años (Figura N° 4A). Finalmente, el comportamiento térmico del Sur fue más complejo. La mayor significancia se identificó en el ciclo anual, pero sólo durante el período 1973-1979. Fueron relevantes aquí ciclos de mayor duración de dos y tres años (1985-1995) y también aquellos de cinco años de duración (1975-1990) (Figura N° 4A).

Por otro lado, la precipitación también presentó una periodicidad heterogénea. En el Norte tuvo mayor significancia el ciclo anual y estacional, aunque también fueron destacables períodos de mayor duración (tres a cinco años). El Noroeste presentó al ciclo estacional como el más recurrente, aunque se destacaron ciclos anuales y bianuales. En esta subregión, fueron altamente significativos los eventos de tres años de duración (Figura N° 4B). El Centro tuvo una periodicidad de las precipitaciones en los ciclos anuales, estacionales y bianuales. Finalmente, el Sur evidenció una fre-

cuencia de eventos más heterogénea. Se destacaron ciclos anuales, bianuales, tres años y de 16 meses y con la misma significancia estadística (Figura N° 4B).

Las intensidades anuales, bianuales y en períodos de cuatro y cinco años registradas en el Sudoeste bonaerense podrían deberse al fenómeno El Niño Oscilación Sur, mientras que los períodos más extensos podrían mantener una relación con el Índice de Oscilación del Sur (SOI, *Southern Oscillation Index*) (Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998). Como se mencionó anteriormente, existen evidencias de que en la Región Pampeana los cambios pluviométricos presentan una cierta linealidad con la ocurrencia de eventos El Niño y La Niña (Bohn *et al.*, 2016; Aliaga *et al.*, 2017).

Figura N° 4. Transformada de Wavelet Continua para las regiones climáticas del Sudoeste Bonaerense. A. Temperatura media mensual y B. Precipitación mensual.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El Sudoeste Bonaerense presenta cuatro regiones climáticas. Las mismas tienen una periodicidad heterogénea según el comportamiento termoplumiométrico. La temperatura media anual del área presenta tres patrones.

Por un lado, en el Noreste la temperatura media anual no tiene variaciones significativas, por otro, en el Centro y Sur la tendencia es positiva (0,6 °C) y finalmente, en el Norte se evidenció un patrón térmico tendiente a la disminución de 0,5 °C.

La precipitación anual presentó una marcada variabilidad en toda el área de estudio en relación a su valor medio. La mayor cantidad de eventos fueron normales, exceptuando el Sur, en donde se generaron durante el período 1970-2016 una mayor cantidad de eventos secos. Aquellos eventos de mayor intensidad coincidieron con fenómenos a escala global y se produjeron en todas las regiones climáticas del Sudoeste Bonaerense. De esta manera, los eventos El Niño de gran intensidad ocasionaron la generación de eventos extremadamente húmedos, mientras que La Niña los extremadamente secos.

Finalmente, se observó una inconsistencia espacial al analizar la periodicidad y duración de los eventos térmicos y pluviométricos. El Sudoeste Bonaerense presentó diferencias notables en los ciclos térmicos. Si bien la mayor significancia e intensidad estuvo determinada por los eventos anuales, se destacaron también los de escala estacional. En el Centro de la región la intensidad anual fue menos constante y se destacaron las frecuencias de dos a ocho meses por sobre las estacionales. El Sur tuvo la particularidad de tener una intensidad superior a la anual, registrando eventos con una duración de dos y tres años. En lo que respecta a la precipitación se observó una situación similar. Hacia el Norte se observaron ciclos estacionales y anuales. Hacia el Sur la duración de estos eventos se fue complejizando, en donde los ciclos de 16 meses, bianuales y de cinco años presentaron la misma significancia.

Del estudio realizado, se concluye que el Sudoeste Bonaerense presenta un patrón termo-pluviométrico heterogéneo. La información obtenida en este trabajo sobre la variabilidad climática de un área tan importante para Argentina –dado que se produce el 12 % de los cultivos de país– resulta esencial para ser incluida en los planes de manejo del territorio con vistas a generar un manejo sustentable con la finalidad de lograr un manejo eficaz de los recursos naturales y de las actividades económicas que allí se desarrollan.

Agradecimientos

Se agradece al Servicio Meteorológico Nacional y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por el suministro de datos necesarios para la realización del presente estudio.

Referencias bibliográficas

- Alemayehu, A., & Bewket, W. (2016). Local climate variability and crop production in the central highlands of Ethiopia. *Environmental Development*, 19, 36-48.
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., Alberdi-Algarañaz, E. D., Bohn, V. 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., & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International journal of climatology*, 37, 1237-1247.
- Bohn, V. Y., Delgado, A. L., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2016). Assessment of climate variability and land use effect on shallow lakes in temperate plains of Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 75(9), 818.
- Brendel, A. S., Bohn, V. 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*, 78(282), 7-29.
- Bustos, M. L., Ferrelli, F., Huamantínco Cisneros, M. A., Piccolo, M. C., & Gil, V. (2016). Estudio preliminar del ajuste entre datos meteorológicos in situ y del Reanálisis (NCEP/NCAR) en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Estudios Geográficos*, Vol. LXXVII (280), 335-343.
- Campo, A. M., Bagnulo, C. B., & 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.
- Casado, A., & Campo, A. M. (2019). Extremos hidrológicos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 6-26.
- Chen, A., He, X., Guan, H., & Cai, Y. (2018). 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.
- Coulibaly, P. (2006). Spatial and temporal variability of Canadian seasonal precipitation (1900–2000). *Advances in Water Resources*, 29(12), 1846-1865.
- Díaz, R. y Mormeneo, I. (2002). Zonificación del clima en la región pampeana mediante análisis de conglomerado por consenso. *Agrometeorología*, 2, 125-131.
- Edwards, D. C. (1997). *Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time scales* (No. AFIT-97-051). AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH.
- D'Ambrosio, G. T. (2011). *La sequía 2008-2009 en el oeste de la Región Pampeana*. Tesis de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 74 pp.
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., & 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., & Piccolo, M. C. (2012). Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *IX Jornadas Nacionales de Geografía Física*, 15-28.
- Ferrelli, F. (2017). Variabilidad pluviométrica y sus efectos sobre las coberturas del suelo al sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 58(1), 26-37.
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., Aliaga, V. S., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2019). Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(1), 393-416.
- Ferrelli, F. (2017). Efectos de eventos El Niño y La Niña sobre las lagunas del sur de la Región Pampeana (Argentina). *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, 2(6), 122-142.
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., & Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad climática temporal y sus efectos: aportes al ordenamiento territorial de la costa norte del estuario de Bahía Blanca (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 26(1), 79-96.
- Ferrelli, F. (2019). Evaluación de eventos termoplúviométricos en una región semiárida de Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 28 (2).

- Houghton, R. A. (1993). Is carbon accumulating in the northern temperate zone? *Global Biogeochemical Cycles*, 7(3), 611-617.
- Houghton, D. D., & World Meteorological Organization. (2002). *Introduction to climate change: lecture notes for meteorologists*. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Griffin, Londres, Reino Unido.
- Mallat, S. (1999). *A wavelet tour of signal processing*. Elsevier.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., y Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Ojeda, A. O., Ferrer, D. B., y Mur, D. M. (2006). Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. *Geographica*, (50), 87-109.
- Penalba, O. C., y Rivera, J. A. (2016). Regional aspects of future precipitation and meteorological drought characteristics over Southern South America projected by a CMIP5 multi-model ensemble. *International Journal of Climatology*, 36(2), 974-986.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., Nieto, S., & Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(3), 299-316.
- Salman, S. A., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E. S., & Al-Abadi, A. M. (2017). Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq. *Atmospheric Research*, 198, 97-107.
- Scian, B., Labraga, J. C., Reimers, W., & Frumento, O. (2006). Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions. *Theoretical and applied climatology*, 85(1-2), 89-106.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Strzepek, K., Yohe, G., Neumann, J., & Boehlert, B. (2010). Characterizing changes in drought risk for the United States from climate change. *Environmental Research Letters*, 5(4), 044012.
- Taboada, M. A., Damiano, F., y Micucci, F. G. (2012). Aspectos físicos que condicionan la disponibilidad de agua para los cultivos. Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires, p. 133-167.
- Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, 79(1), 61-78.
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbagy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., ... & Ricard, M. F. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology*, 17(2), 959-973.
- Wan K, Alexander LV, Imielska A, McGree S, Jones D, Ene E, Finaulahi S, Inape K, Jacklick L, Kumar R, Laurent V, Malala H, Malsale P, Pulehetoa-Mititepo R, Ngemaes M, Peltier A, Porteous A, Scuseu S, Skilling E, Tahani L, Toorua U. & Vaiimene M. (2014). Trends and variability of temperature extremes in the tropical Western Pacific. *International journal of Climatology*, 34(8), 2585-2603.
- Worku, G., Teferi, E., Bantider, A., & Dile, Y. T. (2019). Observed changes in extremes of daily rainfall and temperature in Jemma Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3-4), 839-854.