

Evaluación de la tendencia de la precipitación en la región pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018

Assessment of precipitation trends in pampas region (Argentina) during the period 1960-2018

Federico Ferrelli^{1,2}, Andrea Soledad Brendel^{1,3}, María Cintia Piccolo^{1,2}, Gerardo Miguel Eduardo Perillo^{1,4}

¹ Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca-Argentina. 8000, Bahía Blanca, Argentina.

Florida 8000 (Camino La Carrindanga km 7,5) Complejo CCT CONICET Bahía Blanca, Edificio E1.

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS), 8000, Bahía Blanca, Argentina. 12 de Octubre 1198.

³ Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), 8000, Bahía Blanca, Argentina. San Andrés 800.

⁴ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), 8000, Bahía Blanca, Argentina. Alem 1253, Cuerpo 2.

E-mails: fferrelli@criba.edu.ar, asbrendel@iado.edu.ar, ofpiccol@criba.edu.ar, gmeperillo@criba.edu.ar

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.69962>

Resumen

La Región Pampeana (Argentina) es una de las áreas más productivas del mundo, por ello, el conocimiento de su variabilidad pluviométrica a corto plazo es esencial para orientar políticas destinadas a mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente. El objetivo de este trabajo fue analizar las tendencias de los eventos pluviométricos diarios en la Región Pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018. Para ello, se estudiaron series diarias de precipitación de 50 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. Se aplicaron once índices pluviométricos y se calculó su tendencia con el test de Mann-Kendall. Posteriormente, la misma se cuantificó con el estimador de Sen. Los resultados indicaron que la Región Pampeana presenta un patrón espacial heterogéneo caracterizado por un aumento de las precipitaciones de 116 mm/período, una reducción de los días secos consecutivos y un aumento de las tormentas fuertes, muy fuertes y torrenciales. La información proporcionada es esencial para que los actores locales y tomadores de decisiones dado que sirve de base para el diseño de planes de adaptación a las condiciones a las que está expuesta el área de estudio.

Palavras-chave: Variabilidad pluviométrica; Eventos diarios; Distribución espacial.

Abstract

Pampas Region (Argentina) is one of the most extensive and productive areas worldwide. Thus, the knowledge about its daily precipitation variability is crucial to guide policies aimed at improving the life-quality and the environment. The objective of this study was to analyze trends of daily rainfall events in Pampas during the period 1960-2018. To do so there were studied information of 50 climatic stations from the Servicio Meteorológico Nacional (Argentina) and Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina). There were calculated eleven daily events, and there were analyzed their tendency with a Mann-

Kendall test. Moreover, the Sen estimator was applied to quantify the changes. Results evidenced the existence of a spatially heterogeneous pattern characterized by the increase of 116 mm /period, a decrease of consecutive dry days and an augmentation of heavy, very heavy and extremely heavy precipitations. These results are essential for stakeholder and decision-makers to design adaptations plans.

Keywords: Rainfall variability; daily events; spatial distribution.

I. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática está siendo objeto de numerosas investigaciones dado que los cambios térmicos y pluviométricos se han intensificado en la mayor parte del mundo (WESTRA et al, 2013; CHEN et al, 2017; FERRELLI et al, 2019). En este contexto, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, en inglés) pronosticó un incremento de la precipitación a escala global (IPCC, 2013). Particularmente, los eventos pluviométricos diarios mostraron un aumento significativo, pero con un comportamiento espacial menos coherente en relación con lo que ocurre con la temperatura (CHEN et al, 2017). Además, Westra et al (2013) demostraron que la cantidad, la intensidad y la frecuencia de las lluvias fuertes presentan una tendencia positiva en la mayor parte del planeta.

La precipitación es un parámetro meteorológico que se relaciona directamente con las actividades agropecuarias. Si bien existe una tendencia al incremento a escala mundial, se observan diferencias al disminuir la escala de análisis. Sus variaciones espacio-temporales son diferentes entre las distintas regiones del mundo, no sólo considerando regiones húmedas y secas, sino también al hacer referencia a sus totales anuales y sus extremos (DONAT et al, 2016). Sumado a ello, el aumento de la temperatura produjo la intensificación del ciclo hidrológico como consecuencia del incremento de aerosoles presentes en la atmósfera (DONAT et al, 2016).

Los estudios realizados sobre el comportamiento espacio-temporal de la precipitación, se relacionan con la aplicación y el cálculo de índices pluviométricos diarios. Los mismos incluyen el monto anual de precipitación, la cantidad de días lluviosos, la precipitación ocurrida durante tormentas fuertes, muy fuertes y torrenciales, entre otros (ZHANG et al, 2011). El estudio de estos eventos es fundamental por sus efectos sobre la población. La intensidad de los mismos es cada vez mayor y se relaciona directamente tanto con los daños ocasionados a escala local (por ejemplo, ciudades), como con aquellos que abarcan grandes extensiones territoriales. En este aspecto, es destacable que el aumento de las lluvias muy fuertes tiene en la actualidad una mayor carga eléctrica y generan cada vez más inundaciones (BIELEC-BAKOWSKA y LUPIKASZA, 2009). Además, los efectos de los eventos climáticos diarios adquieren relevancia dado que generan efectos adversos sobre la producción

agropecuaria, principalmente en aquellas áreas donde la economía está ligada a actividades de secano, que en general presentan escasas capacidades adaptativas a las adversidades climáticas (CONWAY y SCHIPPER, 2011).

La Región Pampeana (Figura 1) constituye el paisaje productivo más importante de Argentina, con una superficie aproximada de 613 mil km² (LABRAGA et al, 2010). Su clima es templado y húmedo, aunque las precipitaciones disminuyen en sentido noreste-sudoeste, abarcando regímenes pluviométricos subtropicales, áridos y semiáridos (ALIAGA et al, 2016). La región, se caracteriza por la ocurrencia y alternancia de eventos secos y húmedos que generan excesos hídricos y afectan la disponibilidad de agua, impactando sobre las actividades humanas, en especial las relacionadas a los sistemas productivos (ALIAGA et al, 2017).

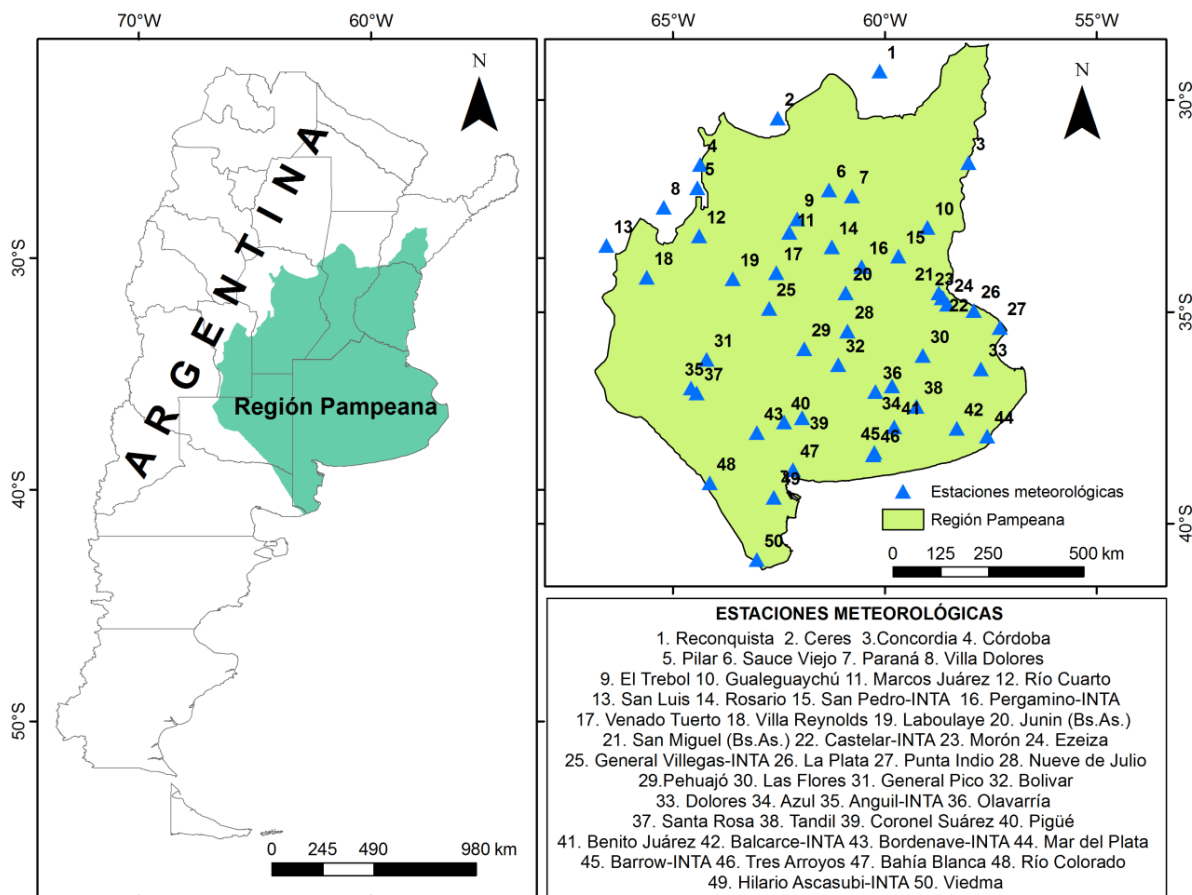


Figura 1. Localización del área de estudio y las estaciones meteorológicas utilizadas, ordenadas en sentido norte-sur.

En la literatura existen estudios que analizan el clima de esta región. En ellos, se delimitaron los climas, se estudiaron los montos anuales de precipitación y los eventos de sequía e inundación (ALIAGA et al, 2016; ALIAGA et al, 2017). Sin embargo, no existe un análisis detallado a escala diaria de eventos pluviométricos y sus tendencias que abarque el total del área de estudio. En las últimas décadas, los estudios sobre las tendencias

climáticas se incrementaron con el objetivo de evaluar e interpretar los cambios espaciales de la precipitación (WESTRA et al, 2013; SHRESTHA et al, 2017).

El conocimiento de la variación temporal de las tendencias de los eventos pluviométricos adquiere importancia para la Región Pampeana, dado que es una de las áreas productivas más importantes del mundo. Por lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente estudio fue analizar las tendencias de once índices pluviométricos diarios calculados para la Región Pampeana durante el período 1960-2018. La importancia de este estudio es la de identificar aquellas áreas más vulnerables a los eventos de corta duración y proporcionar información fundamental para generar políticas públicas orientadas al manejo sustentable de los recursos naturales y a garantizar la sustentabilidad de las actividades agropecuarias.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Información meteorológica

Se recolectaron datos diarios de precipitación de 50 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, Argentina) (Figura 1). En una primera instancia, todas las series de tiempo fueron pre-procesadas, incluyendo el enmascarado de los datos faltantes. Posteriormente, los errores de los registros, los errores producto de la topografía y las máscaras para los datos vacíos fueron corregidos con scripts automáticos (ZHOU et al, 2018). Finalmente, los archivos resultantes fueron examinados manualmente para evitar arrastrar errores en los pasos posteriores.

En una segunda instancia, se testeó la homogeneidad y la calidad de la información de los datos. Para ello, se utilizaron los Software RClindex (ZHANG y YANG, 2013) y el RHtrests V4 (WANG et al, 2010). Ambos son de descarga gratuita del sitio web del Grupo Experto en Detección del Cambio Climático e Índices (ETCCDI, por sus siglas en inglés, <http://etccdi.pacificclimate.org>).

Posteriormente, se rellenaron las series de tiempo para que todas las estaciones contengan información completa para el mismo período de estudio (1960-2018). Para ello, se realizó un análisis de componentes principales (ACP). El mismo permitió reducir la cantidad de variables. Se aplicó considerando las estaciones con períodos inferiores a 58 años, con datos faltantes y/o con registros atípicos, con sus vecinos más próximos. Como resultado, se obtuvo una matriz de confusión necesaria para crear los componentes principales. Este método aplica una transformación ortogonal para convertir un set de información de posibles variables

correlacionadas en un set componentes principales (LU et al, 2017). Se utilizó la matriz de Spearman para analizar la información y detectar la correlación entre ellas. El número de componentes principales fue menor al número de variables originales de ingreso (LU et al, 2017).

Este método permitió generar un set de nuevas variables con una combinación lineal a partir de las variables originales, capturando la mayor parte de la varianza original observada en los datos analizados. Como resultado, se obtuvo una serie completa que consideró la relación lineal con sus vecinos más cercanos. Las mismas fueron contrastadas con las series originales y se calcularon las diferencias existentes entre ellas, siguiendo la metodología de ZHOU et al (2018). Sólo se completaron y se verificaron las series incompletas que presentaron valores inferiores a 0.9 mm.

Cálculo de eventos extremos pluviométricos

El ETCCDI definió un total de once índices pluviométricos que permiten analizar con gran precisión el comportamiento de la precipitación en un área (Peterson et al, 2001). Estos están compuestos por análisis de percentiles, valores absolutos, duración, entre otros (Tabla 1). Los mismos han sido aplicados en distintas áreas del mundo con éxito para el estudio de los cambios pluviométricos (ZHOU et al, 2016; CHEN et al, 2017). Estos índices, se calcularon con los datos diarios de precipitación obtenidos para las 50 estaciones meteorológicas (Figura 1), utilizando el Software RClmDex (ZHANG y YANG, 2013) (Tabla 1).

Tabla 1. Eventos extremos pluviométricos.

Eventos	Nombre	Definición	Unidades
PCPtot	Precipitación anual en días húmedos	Precipitación anual caída en los días húmedos (pp > 1 mm)	mm/año
CDD	Días Secos Consecutivos	Máximo número de días consecutivos con pp < 1 mm	días
CWD	Días lluviosos consecutivos	Máximo número de días consecutivos con pp > 1 mm	días
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm/año
Rx1day	Máxima cantidad de precipitación ocurrida en 1 día	Día más lluvioso de un mes	mm
Rx5days	Máxima cantidad de precipitación ocurrida en 5 días	Cinco días consecutivos con la mayor cantidad de precipitación	mm
R10p	Días con precipitaciones fuertes	Cantidad anual de días cuando la pp > 10 mm	días
R20p	Días con precipitaciones muy fuertes	Cantidad anual de días cuando la pp > 20 mm	días
R30p	Días con precipitaciones torrenciales	Cantidad anual de días cuando la pp > 30 mm	días
R95p	Días muy lluviosos	Cantidad de precipitación ocurrida cuando pp > percentil 95	mm
R99p	Días extremadamente lluviosos	Cantidad de precipitación ocurrida cuando pp > percentil 99	mm

Modificado de PETERSON et al (2001), RUMMLER et al (2017) y FERRELLI et al (2019). pp = precipitación.

Cálculo de la tendencia

Posteriormente, se calculó la tendencia de los eventos pluviométricos diarios a partir de la aplicación del test de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). El mismo ha sido ampliamente utilizado para evaluar la tendencia y la significancia estadística de variables hidro-meteorológicas en otros estudios (p.ej. CHEN et al, 2017).

Las tendencias fueron estimadas con un $\alpha = 0,05$. Este test utiliza el estadístico Tau-b de Kendall. Si el mismo es positivo, entonces la serie de datos tendrá una tendencia positiva y viceversa. La tendencia fue considerada significativa cuando el valor $p < 0,05$. Además, se cuantificó la tendencia con el estimador de Sen (1968), considerando:

$$f_{(t)} = B + Q * t \quad (1)$$

donde Q es la pendiente, B es una constante y t es el tiempo. Para obtener los valores Q, se calcularon todas las pendientes considerando pares de datos, a partir de la siguiente fórmula:

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

donde x_i y x_j son los datos en el tiempo cumpliéndose que j sea mayor que k. Se considera que existen tantas pendientes estimadas (Q_i) como valores n haya. La mediana de N es el estimador de Sen (SEN, 1968).

Una vez establecidas las pendientes y su cuantificación, se calculó su variación para el período 1960-2018. Posteriormente, su variación se graficó en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.3) con el que se diseñaron los documentos cartográficos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precipitación total (PCPtot) presentó una tendencia positiva en la mayor parte de la Región Pampeana (67 % del total de las estaciones). El incremento promedio fue de 116 mm ($p < 0,05$) para toda el área de estudio durante el período 1960-2018. Sin embargo, se evidenció un área localizada desde el centro y hacia el noroeste en donde la precipitación registró una tendencia negativa. En esta área la precipitación decreció - 63 mm durante los 59 años analizados ($p < 0,05$) (Figura 2).

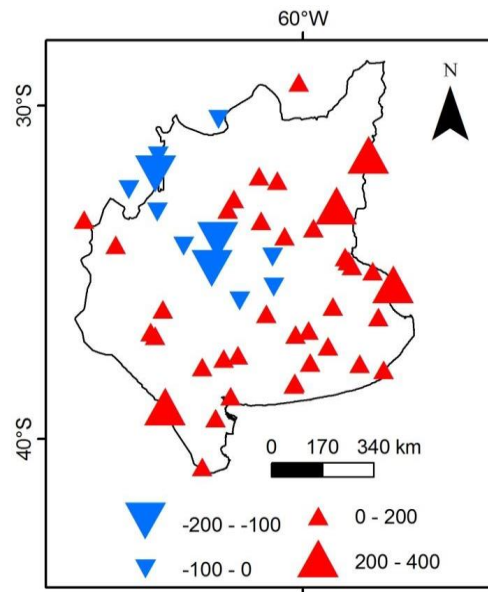


Figura 2. Tendencia de la precipitación total (PCPtot, mm/período) en la Región Pampeana.

Los mayores montos anuales de precipitación, se observaron en el nordeste del área de estudio, en donde aumentó 398 mm/período ($p < 0,05$) (Figura 2). A pesar de ello, los cambios sólo fueron estadísticamente significativos en el 18 % del área de estudio, localizado en las zonas costeras. Se destaca que, las marcadas reducciones encontradas en el centro del área de estudio podrían estar asociadas a variaciones ocurridas en la Oscilación Multidecadal Atlántica (AMO), Oscilación Decadal Pacífica (PDO) e Índice de Oscilación Sur (SOI) (PÉREZ et al, 2015). Según Penalba y Ribera (2013) la variabilidad de las precipitaciones a corto y largo plazo en Argentina se caracterizará por presentar períodos de sequía e inundaciones más severos durante el siglo XXI. Esto expondrá a la región a situaciones críticas para el desarrollo de la agricultura. Uno de los ejemplos más importantes es la producción de soja. En este caso, el déficit hídrico prolongado dificulta su crecimiento y rendimiento. Sumado a ello, la variabilidad de las precipitaciones podría tener efectos adversos sobre la población y el ambiente (YAN et al, 2014). Se destaca también que la variabilidad tanto espacial como temporal de las precipitaciones dan cuenta de que la Región Pampeana tiene una marcada heterogeneidad de sus regímenes pluviométricos (BEKELE et al, 2017). En este contexto, es destacable mencionar que el fenómeno El Niño Oscilación Sur es otro de los factores clave que influyen en la variabilidad interanual de las precipitaciones en América del Sur (PENALBA y RIVERA, 2016). Este fenómeno será más variable hacia el futuro, lo que determinará un aumento de los riesgos de inundación y sequía (SUN et al, 2020).

La Región Pampeana, presentó un comportamiento de su tendencia similar al observado en la mayor parte de las regiones del mundo, en donde se evidencia un incremento de los montos anuales de precipitación, sin un claro patrón espacial (WESTRA et al, 2013). En aquellas áreas donde su tendencia reflejó aumento de esta variable, la humedad del suelo será mayor, lo que podría beneficiar a las actividades productivas, principalmente aquellas de secano (BRENDEL et al, 2017; FERRELLI et al, 2019). Sin embargo, en aquellos sectores donde la precipitación disminuyó, alcanzando hasta -189 mm/período ($p > 0,05$), se podría generar que la región esté expuesta a mayores riesgos de erosión, sequías más prolongadas y hasta afectar a los cultivos de secano (FERNANDEZ-LONG et al, 2013; ALIAGA et al, 2016).

Por otra parte, los días secos consecutivos (CDD) presentaron una tendencia negativa en el nordeste y sudoeste del área de estudio, mientras que el noroeste tuvo el comportamiento opuesto. La disminución de este evento tuvo lugar en el 40 % de la Región Pampeana, con un valor medio de 4 días/período, un máximo de 12 y un mínimo de 0,5 días/período. Por su parte, el 60 % del área de estudio presentó tendencia positiva en la cantidad de CDD, con extensiones que superan los 30 días/período (Figura 3-1). Esta situación es importante

cuando se analizan los procesos de erosión eólica. Existe evidencia que, durante períodos de sequía prolongados, el sur del área de estudio evidenció procesos de erosión eólica que afectaron no sólo a las actividades económicas, sino también a la población, generando la proliferación de enfermedades infecciosas y respiratorias (FERRELLI, 2016). El incremento de los CDD se relaciona con el avance de los procesos de degradación y desertificación (VICENTE SERRANO et al, 2012).

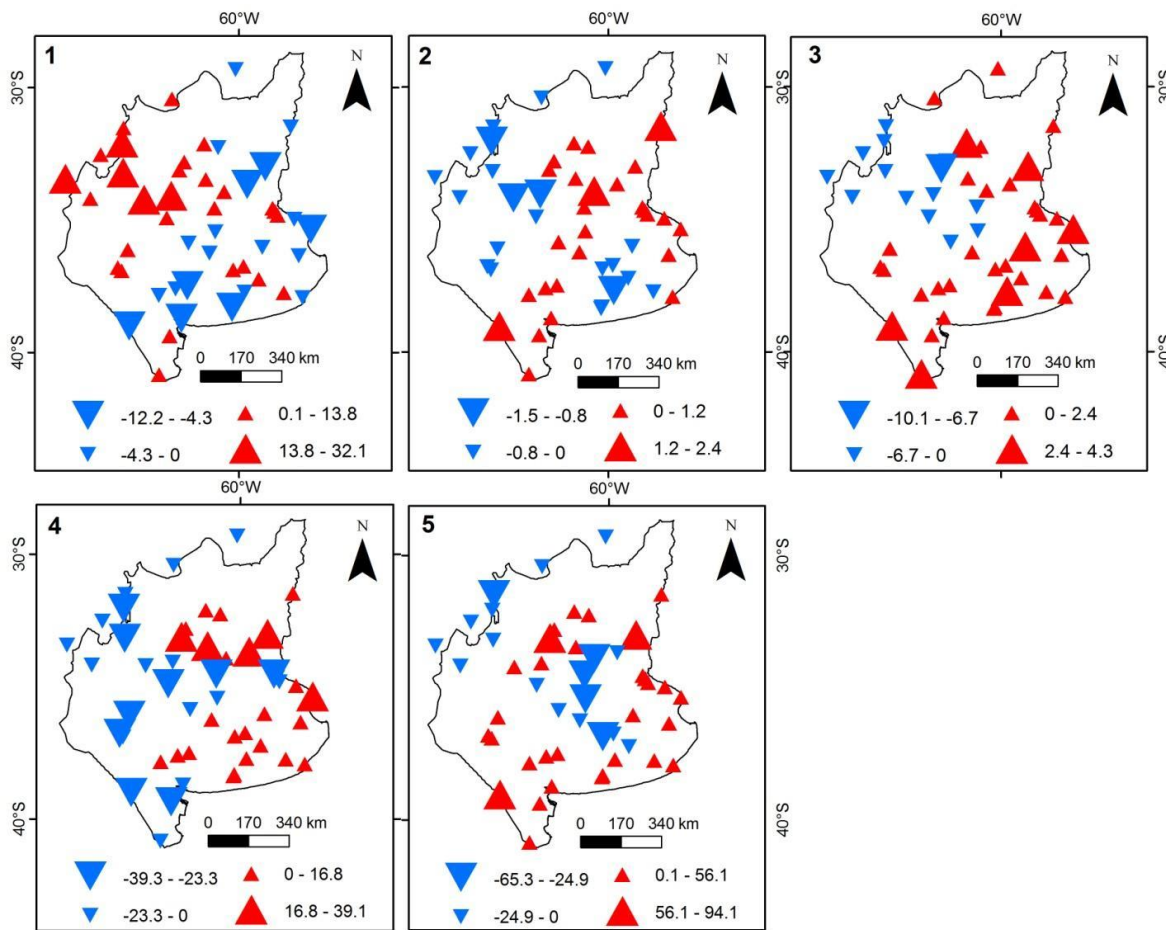


Figura 3. Tendencia de 1. Días secos consecutivos (CDD), 2. Días lluviosos consecutivos (CWD), 3. Índice Simple de intensidad diaria (SDII), 4. Cantidad de precipitación máxima en un día (Rx1day) y 5. Cantidad de precipitación máxima en cinco días consecutivos (Rx5days).

Los días lluviosos consecutivos (CWD) presentaron cambios significativos sólo en el 6 % del área estudiada. Los aumentos se registraron en el sudoeste, centro y noreste de la Región Pampeana y disminuyeron en el noroeste y en la costa de la zona central. Sin embargo, estas modificaciones no fueron meteorológicamente destacables. En promedio, se observó un incremento en el 62 % del área con 1,8 día y una

disminución de 0,8 días durante los 59 años analizados (Figura 3-2). Esto está en línea con la gran heterogeneidad espacial de las precipitaciones encontradas en esta región al analizar la PCPtot. Se destaca que, la importancia de estudiar este índice recae también en los impactos que tienen los excesos hídricos sobre la población, sus actividades económicas y la morfometría de los recursos hídricos (NOSETTO et al, 2012; FERRELLI, 2016; BRENDEL et al, 2021).

La distribución espacial del Índice Simple de Intensidad Diaria (SDII) -que hace referencia a la proporción de la cantidad anual de precipitación ocurrida según la cantidad de días lluviosos- presentó una situación similar a aquella analizada para la precipitación total al demostrar que existe un patrón heterogéneo al analizar las precipitaciones en esta región (FERRELLI et al, 2019) (Figura 3-3). El incremento, se evidenció en el 68 % del área de estudio con un 28 % de significancia estadística siendo uno de los eventos pluviométricos que mayor relevancia estadística presentó. Se observó un aumento de 3 y una disminución promedio de 8,3 mm/período (Figura 3-3). Se observó que el incremento de precipitación ocurrió en la mayor parte del área de estudio, exceptuando el centro y noroeste de la Región Pampeana. Este aumento podría estar relacionado con cambios en el desplazamiento del Anticiclón del Atlántico Sur, el cual origina las precipitaciones de la región (BARROS et al, 2015).

Otro de los eventos que mayor cantidad de cambios estadísticamente significativos presentó (26 %) fueron los días lluviosos en un mes (Rx1day) (Figura 3-4). Se obtuvo un incremento de 16,1 mm en el 38 % de la Región Pampeana y una disminución de 20,3 mm, en el resto. Las tendencias positivas se identificaron en la zona de las costas del centro y en el norte, mientras que el resto de la región manifestó tendencias negativas (Figura 3-4). Los Rx5days tuvieron significancia estadística en el 12 % del área de estudio, aumentado en un 60 % (29,9 mm/período) (Figura 3-5).

Los mayores cambios, se observaron en las tormentas o en las lluvias fuertes, muy fuertes y torrenciales. Presentaron una significancia estadística en el 44, 35 y 28 % del área, respectivamente. Se evidenció que los tres eventos tuvieron una tendencia positiva en un 72, 74 y 70 %, respectivamente. Las lluvias fuertes aumentaron en promedio 8 mm/período, mientras que las muy fuertes y torrenciales 3,9 y 2,3 mm/período, respectivamente (Figuras 4-1, 4-2 y 4-3). Las tormentas adquieren importancia, no sólo al analizar la producción agropecuaria, sino los impactos sobre la población, como, por ejemplo, los anegamientos de los espacios urbanos, las inundaciones de las vías de circulación y la proliferación de enfermedades (IPCC, 2012). A escala mundial, se registraron aumentos en la cantidad, intensidad y frecuencia de las precipitaciones fuertes, muy fuertes y

torrenciales (WESTRA et al, 2013), como así también en gran parte de América del Sur (CERON et al, 2021). Se encontró evidencia que las precipitaciones extremas aumentaron y generaron condiciones de mayor humedad en el sur y sureste de Brasil, Paraguay, Uruguay, norte de Argentina y en distintas regiones de Chile (HAYLOCK et al, 2006; PENALBA y ROBLEDO, 2006; DUFEK et al, 2008). Haylock et al (2006) encontraron un aumento en las condiciones de humedad en el sureste de América del Sur, principalmente en el sur de Brasil, Paraguay y Uruguay durante el período 1960-2000, mientras que Penalba y Robledo (2006) observaron tendencias positivas en el número de eventos extremos para la mayoría de las estaciones en el sur de Brasil durante el verano, otoño y primavera austral.

Particularmente en Argentina, existe evidencia del aumento de las precipitaciones (p.ej. BARRUCAND y RUSTICUCCI, 2001; ALIAGA et al, 2016). Del mismo modo, se observa en la literatura un estudio de esta variable en el sur de la Región Pampeana (p.ej. FERRELLI et al, 2019; FERRELLI et al, 2020).

Finalmente, los días muy lluviosos (R95p) y extremadamente lluviosos (R99p) presentaron situaciones diferentes. Los primeros, se incrementaron en el 57 % del área estudiada, con un valor medio de 75,8 mm y fueron estadísticamente significativos en el 25 % (Figura 4-4), mientras que los días extremadamente lluviosos presentaron una tendencia negativa en el 59 % de la Región Pampeana, disminuyendo 42,5 mm/período (Figura 4-5). Esto pone de manifiesto la variabilidad propia de las precipitaciones en la Región Pampeana (Aliaga et al, 2016). Además, se relaciona con un aumento de la inestabilidad de las precipitaciones, determinada a partir del estudio de los índices diarios de precipitación. Esto está en relación con los resultados obtenidos en otras partes del mundo (CHEN et al, 2017) y en Argentina (FERRELLI et al, 2019). En este contexto, es importante resaltar que el conocimiento de estos dos índices es fundamental dado los efectos negativos sobre la rentabilidad agropecuaria, debido a que sus fluctuaciones inciden sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos y su posterior rendimiento (CAMPO et al, 2012; BRENDEL et al, 2017).

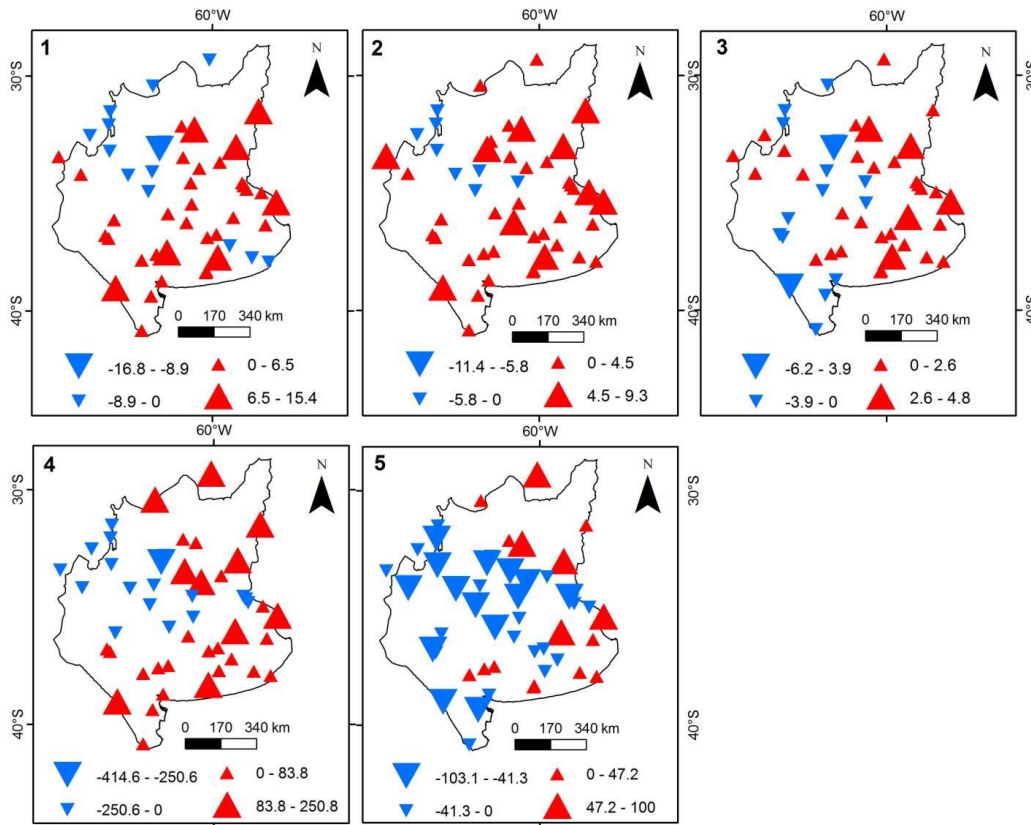


Figura 4. Tendencia de 1. Lluvias fuertes (R10p), 2. Lluvias muy fuertes (R20p), 3. Lluvias torrenciales (R30p), 4. Cantidad de días muy lluviosos (R95p) y 5. Cantidad de días extremadamente lluviosos (R99p).

El estudio de los eventos pluviométricos a escala diaria adquiere importancia dado que permiten identificar los impactos negativos que las variaciones temporales de las precipitaciones tienen sobre la sociedad, especialmente sobre los daños en la infraestructura, enfermedades, pobreza, pérdida de vidas y biodiversidad (IPCC, 2012). Además, los mismos son los causantes de los cambios en los ecosistemas y su estructura (TIERNEY et al, 2013). El análisis de la tendencia y su cuantificación permite conocer la magnitud de los cambios espacio-temporales que los mismos tuvieron en el período 1960-2018. Estos índices han sido ampliamente aplicados para interpretar las modificaciones pluviométricas en otras partes del mundo (CHEN et al, 2017; WORKU et al, 2018).

Por otro lado, es destacable que el conocimiento de los eventos pluviométricos a escala diaria para un área productiva de las características de la Región Pampeana (Argentina) es esencial, dado que proporciona información relevante para que los actores locales y los tomadores de decisiones locales, regionales y nacionales dispongan de una fuente de información valiosa y precisa para diseñar planes y estrategias de adaptación ante las situaciones a las que se expone el área (FERRELLI et al, 2019). Los mismos podrían dirigirse a reducir las

pérdidas en las actividades agropecuarias (WORKU et al, 2018). Se prevé que la variabilidad pluviométrica genere mayor cantidad de impactos negativos a futuro, sobre todo en aquellas áreas de cultivos de secano, por lo que el diseño de un plan de manejo del territorio destinado a la conservación de los recursos naturales y orientado a la permanencia de las actividades económicas (TIERNEY et al, 2013) es fundamental para esta región.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de los eventos pluviométricos diarios en la Región Pampeana permitió establecer que la misma presenta un patrón de su tendencia espacialmente heterogéneo. Sin embargo, la mayor parte de la región presentó un incremento en la precipitación anual. Los cambios más importantes, dado el impacto que podría generar sobre la población y el ambiente, fueron registrados en los días secos consecutivos y ocurrieron en las zonas localizadas en el sudoeste. Dicha tendencia podría intensificar los procesos de erosión eólica, mientras que el de los días lluviosos podría agudizar la erosión hídrica.

La cantidad de precipitación ocurrida en un día y en cinco días consecutivos permitió detectar que la Región Pampeana tiende a concentrar sus precipitaciones en períodos cortos de tiempo. Esto se evidencia con el aumento de las lluvias fuertes, muy fuertes y torrenciales. Estas características exponen a la región a la ocurrencia de un número cada vez mayor de eventos pluviométricos de corta duración que serán más intensos y frecuentes con vistas al futuro.

Los resultados obtenidos en esta investigación conforman una base de datos esencial para la planificación de las actividades agropecuarias con el objetivo de mejorar los rendimientos y promover un desarrollo sustentable. Además, con esta información se podrían orientar planes de manejo del espacio destinados a mejorar la calidad de vida de la población y el ambiente.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional del Sur (UNS) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) 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 brindar la información climática analizada en este estudio.

V. REFERENCIAS

- ALIAGA, V. S.; FERRELLI, F.; ALBERDI-ALGARAÑAZ, E. D.; BOHN, V. Y.; PICCOLO, M. C. Distribution and variability of precipitation in the Pampas, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 261-280, 2016.
- ALIAGA, V. S.; FERRELLI, F.; PICCOLO, M. C. Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37, 1237-1247, 2017.
- BARROS, V. R.; BONINSEGNA, J. A.; CAMILLONI, I. A.; CHIDIAC, M.; MAGRÍN, G. O.; RUSTICUCCI, M. Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151-169, 2015
- Barrucand, M., Rusticucci, M. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. *Variabilidad temporal y regional. Meteorológica* 26 (1-2), 85-102, 2001
- Bielec-Bakowska, Z.; Lupikasza, E. Long-term precipitation variability on thunderstorm days in Poland (1951–2000). *Atmospheric Research*, 93(1-3), 506-515, 2009.
- Brendel, A. S.; Bohn, V. Y.; Piccolo, M. C. 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, 2017.
- Brendel, A.S.; Ferrelli, F.; Piccolo, M. C. y Perillo, G.M.E. Efectos de la variabilidad pluviométrica sobre la morfometría de los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica de la Región Pampeana (Argentina). *Revista Geográfica Venezolana*, 62(1), 2021, en prensa.
- Campo, A.; Bagnulo, C.; Pacheco, R. Cambios en el régimen pluviométrico y sus efectos sobre la producción agropecuaria en el partido de Puan. *Revista Electrónica Geografía Austral*, 1, 1-11, 2012.
- Cerón, W. L., Kayano, M. T., Andreoli, R. V., Avila-Diaz, A., Ayes, I., Freitas, E. D., ... Souza, R. A. Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981–2018). *Atmospheric Research*, 249, 105299, 2021.
- CHEN, A.; HE, X.; GUAN, H.; CAI, Y. 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, 2017.
- CONWAY, D.; SCHIPPER, E. L. F. Adaptation to climate change in Africa: Challenges and opportunities identified from Ethiopia. *Global Environmental Change*, 21(1), 227-237, 2011.
- DONAT, M. G.; LOWRY, A. L.; ALEXANDER, L. V.; O’GORMAN, P. A.; MAHER, N. More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508, 2016.
- Dufek, A.S., Ambrizzi, T., Da Rocha, R.P. Are Reanalysis Data Useful for Calculating Climate Indices Over South America? *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1146, 87–104, 2008.
- FERNÁNDEZ-LONG, M. E.; MÜLLER, G. V.; BELTRÁN-PRZEKURAT, A.; SCARPATI, O. E. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33 (7), 1673-1686, 2013.
- FERRELLI, F.; BRENDDEL, A.S.; PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M.E. Evaluación de eventos secos y húmedos en el contexto del cambio climático: el caso del sur de la Región Pampeana (Argentina). *Papeles de Geografía*, 66, 27-46, 2020

FERRELLI, F.; BRENDEL, A. S.; ALIAGA, V. S.; PICCOLO, M. C.; PERILLO, G. M. E. Regionalization and trends of climate based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the Pampas (Argentina). *Geographical Research Letters*, 45, 393-416, 2019.

FERRELLI, F.; ALIAGA, V. S. Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de los cuerpos de agua de la Región Pampeana, Argentina. *Revista Huellas*, 20, 242-246, 2016.

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, 2016.

Haylock, M., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J., Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vicent, L.A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climatology*, 19, 1490–1512, 2006.

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

Intergovernmental Panel on Climate Change. 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. Ed: Stocker, T.F, Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M., (Eds), 203 pp. Cambridge, UK, and New York, USA: Cambridge University Press, 2013.

KENDALL, M.G. Rank correlation methods. Griffin, London. Kendall, 1975.

LABRAGA, J.; BRANDIZI, L; LÓPEZ, M. Avances en el pronóstico climático de las anomalías de lluvia en la Región Pampeana. *Meteorológica*, 36(2), 59-71, 2010.

LU, W.; ATKINSON, D. E.; NEWLANDS, N. K. ENSO climate risk: predicting crop yield variability and coherence using cluster-based PCA. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1343-1359, 2017.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259, 1945.

NOSETTO, M. D.; JOBBÁGY, E. G.; BRIZUELA, A. B.; JACKSON, R. B. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 2-11, 2012

PENALBA, O.C. y RIVERA, J.A. Regional aspects of future precipitation and meteorological drought characteristics over Southern South America projected by a CMIP5 multi-model ensemble. *Journal of Climatology*, 36, 2, 974–986, 2016.

Penalba, O.C. y Robledo, F.A. Trends in extreme daily rainfall events in La Plata Basin, in: Proceedings of 8 ICSHMO. Foz de Iguazu, Brasil, April 24-28, 2006, INPE, pp. 341–352, 2006.

PENALBA, O.C. y RIVERA, J.A. Future changes in drought characteristics over southern South America projected by a CMIP5 multi-model ensemble. *American Journal of Climate Change*, 2, 3, 173-182, 2013.

PÉREZ, S.; SIERRA, E.; MOMO, F.; MASSOBRIO, M. Changes in Average Annual Precipitation in Argentina's Pampa Region and Their Possible Causes. *Climate*, 3, 150–167, 2015.

- PETERSON, T.; FOLLAND, C.; GRUZA, G.; HOGG, W.; MOKSSIT, A.; PLUMMER, N. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. Geneva: World Meteorological Organization, 2001.
- RUML, M.; GREGORIĆ, E.; VUJADINOVIĆ, M.; RADOVANOVIĆ, S.; MATOVIĆ, G.; VUKOVIĆ, A.; POCUCA, V.; STOJIČIĆ, D. Observed changes of temperature extremes in Serbia over the period 1961– 2010. *Atmospheric Research*, 183, 26-41, 2017.
- SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389, 1968.
- SHRESTHA, A. B.; BAJRACHARYA, S. R.; SHARMA, A. R.; DUO, C.; KULKARNI, A. 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, 2017.
- TIERNEY J.; SMERDON J.; ANCHUKAITIS K.; SEAGER R. Multidecadal variability in East African hydroclimate controlled by the Indian Ocean. *Nature*, 493, 389–392, 2013.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; ZOUBER, A.; LASANTA, T.; PUEYO, Y. Dryness is accelerating degradation of vulnerable shrublands in semiarid Mediterranean environments. *Ecological Monographs*, 82 (4), 407-428, 2012.
- WANG, X. L.; CHEN, H.; WU, Y.; FENG, Y.; PU, Q. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49 (12), 2416-2436, 2010.
- WESTRA, S.; ALEXANDER, L. V.; ZWIERS, F. W. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of Climate*, 26 (11), 3904-3918, 2013.
- WORKU, G., TEFERI, E., BANTIDER, A., DILE, Y. T. Observed changes in extremes of daily rainfall and temperature in Jemma Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-16, 2018.
- ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C.; JONES, P.; TANK, A. K.; PETERSON, T. C.; TREWIN, B.; ZWIERS, F. W. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851-870, 2011.
- ZHANG, X.; YANG, F. RCLimDex (1.1) user manual. Available at <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>, 2013.
- ZHOU, H.; AIZEN, E.; AIZEN, V. Constructing a long-term monthly climate data set in central Asia. *International Journal of Climatology*, 38, 1463-1475, 2018.
-