

## IDENTIFICACIÓN DEL COMIENZO DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA EN LA REGIÓN SUBTROPICAL DE ARGENTINA

Juan A. Rivera\*, Natalia Herrera, Carla N. Gulizia\*\*, Natalia B. Montroull, Pablo  
Spennemann

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO), Facultad de Ciencias  
Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA)

\*Laboratorio de Extremos Climáticos en Sudamérica, DCAO, FCEN, UBA

\*\*Laboratorio de Climatología Regional, Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera  
(CIMA), FCEN, UBA

[djtony27@hotmail.com](mailto:djtony27@hotmail.com)

### RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es identificar la época de inicio de la estación lluviosa en Argentina al norte de 30°S mediante un índice adecuado, y analizar su variabilidad interanual en regiones homogéneas respecto a la variabilidad temporal de la precipitación. A fin de lograr una agrupación de estaciones pluviométricas cuya variación en el ciclo anual de la precipitación sea similar, se aplica el método de análisis de componentes principales (ACP) sobre el ciclo anual medio de los promedios de 5 días de precipitación para cada estación utilizada. Se identifican tres regiones homogéneas: las regiones Noroeste, Central y Noreste. Se establecen las fechas de inicio de la estación lluviosa para cada estación pluviométrica mediante el criterio de acumulación de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo (2001), el cual resulta ser adecuado para analizar las regiones que poseen un ciclo anual de precipitación más marcado. A nivel climatológico se observa una progresión este-oeste en la distribución espacial de las fechas de inicio de la estación lluviosa. En concordancia con la regionalización obtenida mediante ACP, se obtiene que la péntada 59 (18-22 de octubre) permite realizar una separación adecuada entre la región Noroeste y la región Central. El análisis de la variabilidad interanual de las series de inicio de la estación lluviosa muestra que ambas regiones poseen tendencias hacia un comienzo más temprano.

### ABSTRACT

The main objective of this study is to identify the dates of the onset of the rainy season in Argentina, north of 30°S through an appropriate index, and to analyze its interannual variability in homogeneous regions with respect to the temporal variability of precipitation. In order to achieve regions with similar temporal variability in the annual cycle of precipitation, principal component analysis (PCA) was applied. This method is applied to the annual cycle mean of a 5-day average precipitation for each station used. Three homogeneous regions were identified: Northwest, Central and Northeast. The dates of the onset were established for each station through a rainfall accumulation criterion, proposed by Liebmann and Marengo (2001). This criterion is adequate to analyze the northwest and central regions, which have an accentuated rainfall annual cycle. In a climatological background, an east-west progression was observed on the spatial distribution of the onset dates. According to the regionalization obtained by PCA, the pentad 59 (October 18<sup>th</sup> - 22<sup>nd</sup>) allows an adequate separation between Northwest and Central regions. For both regions, the time-series for the onsets shows a trend towards earlier dates.

## INTRODUCCIÓN

El estudio y la predicción del comienzo y fin de la estación lluviosa es un tema de interés en regiones tropicales y subtropicales cuya economía se basa en actividades agropecuarias (Camberlin y Diop, 2003). En el norte de Argentina en las últimas décadas se ha evidenciado un aumento progresivo en la precipitación en distintas escalas temporales, que resulta beneficioso para la actividad agropecuaria en zonas que hasta la década de 1960 eran consideradas semiáridas. Hoffmann et al. (1987) observaron el corrimiento de la isoyeta de 800 mm hacia el oeste en más de 100 Km, que en el norte del país delimita la posibilidad de la agricultura de secano. Como las isoyetas se posicionan en dirección norte-sur, los incrementos en las precipitaciones favorecieron la extensión de la frontera agropecuaria, incrementando la capacidad productiva de las tierras en más de 100.000 Km<sup>2</sup> (Barros et al., 2008). Este aumento estuvo acompañado de una mayor variabilidad interanual en la precipitación (Barros et al., 2000), lo cual incrementa el riesgo de sequías o inundaciones debido a que el inicio de la estación lluviosa puede sufrir retrasos o adelantos considerables. Para la producción agrícola, en algunos casos la fecha de inicio de las precipitaciones puede tener tanta importancia como el valor total de la misma (Camberlin y Diop, 2003). Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es identificar la época de inicio de la estación lluviosa en la Argentina al norte de 30°S, mediante un índice adecuado y analizar su variabilidad interanual en regiones homogéneas respecto a la variabilidad temporal de la precipitación. Como antecedente puede mencionarse el trabajo de González y Barros (1998), quienes utilizaron diferentes parámetros para detectar la influencia del inicio del monzón sudamericano en el final del período seco invernal sobre Argentina subtropical.

## DATOS Y METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se utilizaron datos de precipitación diaria de 22 estaciones pluviométricas provistos por el Servicio Meteorológico Nacional, ubicadas en la porción subtropical de Argentina (al norte de 30°S), para el período 1974-2004. Las mismas fueron seleccionadas en función de la completitud de sus registros. En base a estos datos se construyeron las series de promedios de precipitación cada cinco días. Estas series resultantes cuentan con menos de 5% de péntadas faltantes. El detalle de las fechas correspondientes a cada péntada puede encontrarse en el trabajo de Kousky (1988).

A fin de lograr una agrupación de estaciones pluviométricas cuya variación en el ciclo anual de la precipitación pentádica sea similar, se aplicó el método de análisis de componentes principales (ACP) sobre el ciclo anual medio de los promedios de precipitación pentádicos para cada estación utilizada. Esto permitirá obtener conclusiones adecuadas a las distribuciones de precipitación presentes en el dominio de estudio.

Con el fin de determinar las fechas de inicio de la estación lluviosa en cada estación pluviométrica, se evaluaron diversos criterios basados en la precipitación. Numerosos trabajos definen diversos umbrales para los valores de precipitación pentádica. Franchito et al. (2008) definen el comienzo de la estación lluviosa para la péntada cuyo valor supera el valor de precipitación pentádica media, siendo además mayores a este valor 2 de las 4 péntadas

siguientes. Marengo et al. (2001) proponen que el inicio del monzón sudamericano se da en la péntada cuyo promedio diario de precipitación supera los 4 mm/día, siendo 6 de las 8 péntadas anteriores (siguientes) menores (mayores) a 3.5 (4.5) mm/día. Otros estudios similares corresponden a los trabajos recientes de Laux et al. (2008), Hachigonta et al. (2008) y Mugalavai et al. (2008). Sin embargo, la aplicación de estos índices y la definición de un umbral en las regiones analizadas no fue posible dadas las características aleatorias de la precipitación, sobre todo en la región del Noroeste argentino. En base a este resultado, se utilizó el criterio de acumulación de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo (2001). La acumulación se define como:

$$A(p) = \sum_{i=1}^p R(i) - \bar{R} \times p \quad [1]$$

donde  $p$  es la péntada del año considerada,  $R(i)$  es la precipitación para la péntada  $i$  y  $\bar{R}$  es la precipitación pentádica media anual. Si se considera que en las regiones de interés la estación lluviosa corresponde al período en el cual la precipitación excede su promedio climatológico anual, entonces una pendiente positiva indica la estación lluviosa. Este criterio fue utilizado anteriormente en el trabajo de González et al. (2007), donde fue comparado con otros índices para la región tropical de Sudamérica.

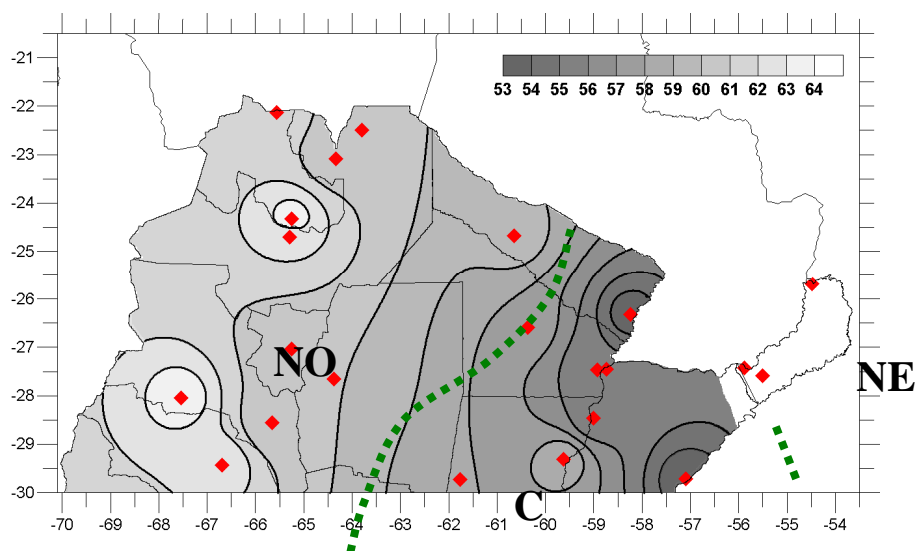
## RESULTADOS

El ACP dio como resultado tres regiones homogéneas en cuanto a la variabilidad del ciclo anual de precipitación (regiones Noroeste, Central y Noreste, figura 1). En función de la evaluación del criterio de acumulación, se obtuvo que este resultó ser adecuado para la identificación del comienzo de la estación lluviosa para las regiones Noroeste y Central, que son las que poseen un ciclo anual de precipitación más marcado, respecto a la región Noreste. Por lo tanto para el análisis se descartó esta última región.

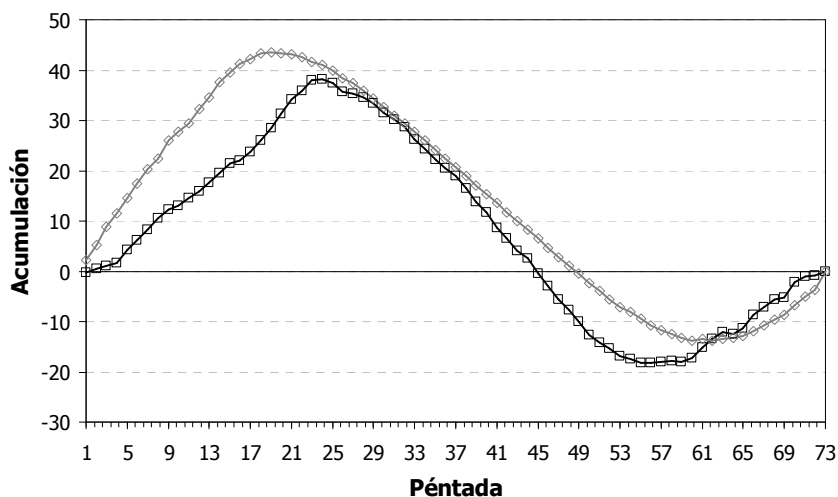
La distribución espacial de los valores climáticos de las fechas de inicio de la estación lluviosa estimada a partir de los datos de precipitación muestra una progresión este-oeste (figura 1). En concordancia con la regionalización obtenida mediante ACP, se obtiene que la péntada 59 (18-22 de octubre) permite realizar una separación adecuada entre los regímenes de precipitación de la región Noroeste y la región Central. Sin embargo esta separación se encuentra sujeta a la falta de estaciones que se da en la franja comprendida entre 62°O y 64°O.

Si bien desde el punto de vista climatológico se puede analizar esta distribución espacial, desde el punto de vista de la variabilidad interanual las fechas de inicio pueden verse afectadas por eventos aleatorios de convección aislada. Si se considera como objetivo futuro la predicción de la estación lluviosa y no el monitoreo de la misma, es conveniente examinar los promedios regionales de inicio, a fin de identificar factores precursores asociados con escalas como la sinóptica.

A modo de ilustrar el funcionamiento del criterio seleccionado, en la figura 2 se muestran los resultados de la función de acumulación climatológica de precipitación (definida por la ecuación [1] en la sección de Datos y metodología) para las regiones Noroeste y Central. Si se analiza la pendiente positiva en las dos curvas, se obtiene que la región Central posee una estación lluviosa más prolongada que la región Noroeste (determinada por la distancia entre los puntos de inflexión de cada una de las curvas). Por otro lado, se verifica el desfase temporal en el comienzo de la estación lluviosa para ambas regiones, acorde a lo obtenido mediante la figura 1.

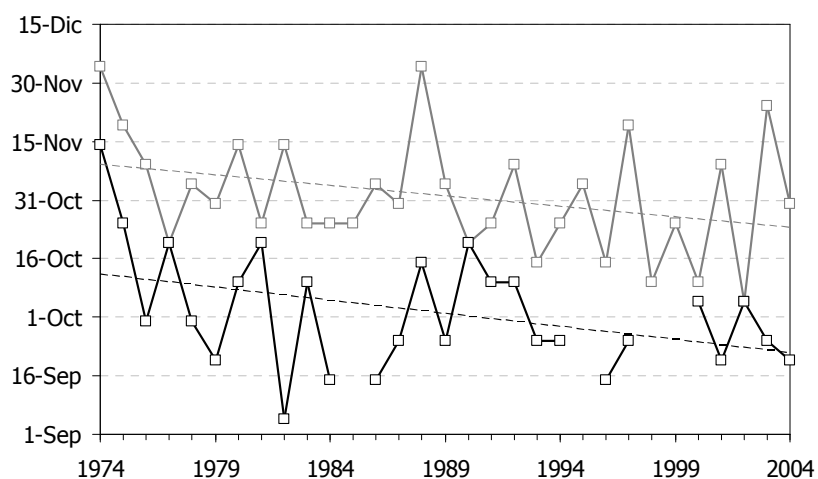


**Figura 1.** Distribución espacial de los valores climáticos de las fechas de inicio de la estación lluviosa (en péntadas). En línea de trazos se representa la separación de los regímenes de precipitación obtenida a través del análisis de componentes principales. En rombos se indica la ubicación de las 22 estaciones pluviométricas utilizadas.



**Figura 2.** Acumulación climatológica de precipitación a lo largo del año para las regiones Noroeste (línea gris) y Central (línea negra).

El análisis de la variabilidad interanual de las series temporales de inicio de la estación lluviosa para el período 1974-2004 (figura 3) muestra que ambas regiones poseen tendencias hacia un comienzo más temprano. La región Noroeste posee una leve tendencia (significativa al 90%), iniciándose la estación lluviosa hacia principios de noviembre durante la primera parte del período (1974-1984) y progresando hacia la segunda mitad de octubre durante los últimos años de análisis (1994-2004). La región Central presenta una tendencia significativa al 95%, aunque cabe tener en cuenta que para esta región, el inicio de la estación lluviosa no pudo ser determinado unívocamente por el criterio durante los años 1985, 1995, 1998 y 1999. La variabilidad interanual para ambas regiones es similar, con una desviación estándar de 3 pñtadas para cada serie.



**Figura 3.** Series temporales de las fechas de inicio de la estación lluviosa para el período 1974-2004 para las regiones Noroeste (línea gris) y Central (línea negra). En línea de trazos se muestra la tendencia para cada región.

## CONCLUSIONES

Este estudio preliminar permitió identificar el inicio de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina al norte de 30°S a través de un criterio de acumulación de precipitación. El agrupamiento realizado mediante la aplicación del análisis de componentes principales permitió calcular este criterio a nivel regional, lo que puede resultar útil para fines predictivos. La aplicación de este criterio como índice para determinar el inicio de la estación lluviosa fue posible en las regiones que presentaron un ciclo anual de precipitación marcado, como fue el caso de la región del Noroeste y la región Central, dejando de lado para el análisis a la región del Noreste.

Mediante el análisis de las series temporales de las fechas de inicio para el período 1974-2004, se identificaron tendencias hacia un comienzo más temprano de la estación lluviosa, siendo estas tendencias significativas al 95% y 90% en la región Central y en la región Noroeste, respectivamente. Teniendo en cuenta este resultado, a priori podría inferirse una relación entre el aumento en los totales anuales de precipitación, principalmente en la región Noroeste (documentado por Castañeda y Barros, 1994; Minetti et al., 2003; entre otros), y la

extensión del período de la estación lluviosa. Aunque de todos modos la relación entre los acumulados totales de precipitación y la extensión de la estación lluviosa no es directa y deben tenerse en cuenta otros factores, como por ejemplo las tendencias positivas en la ocurrencia de extremos de precipitación en la región (Penalba y Robledo, 2008).

Un estudio similar que analiza la longitud total de la estación lluviosa está en desarrollo a fin de responder estos interrogantes.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dra. María Laura Bettolli por sus valiosos comentarios. Al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de los datos para la realización de este trabajo. A los proyectos de la Universidad de Buenos Aires (UBACYT X170 y X016), de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 26094-04) y al proyecto CLARIS LPB por financiar este trabajo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, V., M. González, B. Liebmann, and I. Camilloni, 2000. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theor. Appl. Climatol.*, 67: 123-133.

Barros, V. R., M. E. Doyle, I. A. Camilloni, 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor. Appl. Climatol.*, 93(1-2): 19-33

Camberlin P. and M. Diop, 2003. Application of daily rainfall principal component analysis to the assessment of the rainy season characteristics in Senegal. *Climate Research*, 23: 159–169.

Castañeda, M., Barros, V. (1994). Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica*, 19, 23–32.

Franchito, S. H., V. Rao, P. R. B. Barbieri, and C. M. E. Santo, 2008. Rainy-season duration estimated from OLR versus rain gauge data and the 2001 drought in Southeast Brazil. *J. Appl. Met. Clim.*, 47(5): 1493-1499.

González M. and V. Barros, 1998. The relation between tropical convection in South America and the end of the dry period in subtropical Argentina. *Int. J. Climatol.*, 18: 1669-1685.

González, M., C. S. Vera, B. Liebmann, J. A. Marengo, V. Kousky and D. Allured, 2007. The nature of the rainfall onset over central South America. *Atmósfera*, 20(4): 379-396.

Hachigonta, S., C. J. C. Reason, and M. Tadross, 2008. An analysis of onset date and rainy season duration over Zambia. *Theor. Appl. Climatol.*, 91: 229–243.

Hoffmann, J. A., S. Núñez, A. Gómez, 1987. Fluctuaciones de la precipitación en la Argentina, en lo que va del siglo. Preprints del II Congreso Interamericano de Meteorología. V Congreso Argentino de Meteorología, Buenos Aires, Argentina, 12.1.1-12.1.5

Kousky, V. E., 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector. *Revista Brasileira de Meteorología*, 3: 217-231.

Liebmann B. and J. Marengo, 2001. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14: 4308-4318

Marengo J., B. Liebmann, V. Kousky, N. Filizola and I. Wainer, 2001. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. *J. Climate*, 14: 833-852.

Minetti J. L., W. M. Vargas, A. G. Poblete, L. R. Acuña and G. Casagrande (2003). Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16, 119-135.

Mugalavai, E. M., E. C. Kipkorir, D. Raes and M. S. Rao, 2008. Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and forest meteorology*, 148: 1123–1135.

Penalba, O. C. y F. Robledo, 2008. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. Aceptado para su publicación. *Climatic Change Special Issue*. Julio 2008.