

# Descripción de la Variabilidad Observada de la Precipitación en la Zona Húmeda y Semi húmeda Argentina durante 1911-2010

*María de los Milagros Skansi<sup>1</sup>, Vera C.<sup>2</sup> y Podestá G.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Servicio Meteorológico Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

<sup>2</sup> *Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera, Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), DCAO/FCEyN, UMI-IFAECI CNRS-CONICET-UBA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina*

<sup>3</sup> *University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, EEUU.*

[mms@smn.gov.ar](mailto:mms@smn.gov.ar)

## Resumen

La producción agrícola es uno de los sectores de la sociedad más vulnerable a la variabilidad y el cambio climático. El objetivo de este trabajo es describir las principales características del régimen pluviométrico de la zona húmeda y semi-húmeda Argentina y los cambios que se observaron en el mismo a lo largo del período 1911-2010. Se encontró un aumento en los promedios anuales de 30 años especialmente a partir de 1941/61, presentándose la mayor diferencia entre 1941/60 y 1971/2000. El porcentaje de cambio entre dichos períodos fue mayor al 20 % en La Pampa, norte de Córdoba y puntualmente en la localidad de Ceres. En tanto, en los últimos 30 años, hubo una leve disminución del promedio anual en la mayor parte de las estaciones analizadas. La variación de los promedios de precipitación en el semestre cálido fue muy similar a la de la precipitación anual. Los cambios en la precipitación anual se reflejaron en la onda anual que presentó un aumento de la amplitud en la segunda mitad del Siglo XX, más marcados es el oeste de la región. Asimismo, en dicha zona, la componente asociada a la variabilidad interdecadal mostró anomalías negativas entre 1930 y 1960 y nuevamente hacia mediados de la última década.

*Palabras claves: variabilidad interdecadal, ciclo anual*

## Abstract

Agricultural production is the societal sector most vulnerable to climate variability and change. The goal of this paper is to describe the main aspects of rainfall regimes in the humid and semi-humid regions of Argentina, as well as changes observed during the 1911-2010 period. An increase in annual rainfall totals (estimated for overlapping 30-year periods) started in 1941/60, with the largest increases detected between 1941/60 and 1971/2000. The precipitation change in those periods was > 20% in La Pampa, northern Córdoba, and in the city of Ceres. In the last 30 years, in contrast, there was a slight decrease of annual rainfall totals in most stations analyzed. Precipitation increases during the warm half of the year were very similar to those observed for annual totals. Increases in annual rainfall also were tied to changes in the annual cycle, which showed an increased amplitude in the second half of the 20th century, especially in the western zone. Also in this area, the component associated with interdecadal variability showed negative anomalies between 1930 and 1960 and again by the middle of the last decade.

*Key words: interdecadal variability, annual cycle*

## 1. Introducción

La Pampa Húmeda argentina es una de las principales regiones agrícolas del mundo, con una producción considerable de cereales y oleaginosas. La producción agrícola es uno de los sectores de la sociedad más vulnerable a la variabilidad y el cambio climático. El estudio de los impactos sobre la agricultura de la variabilidad climática histórica puede dar claves importantes para anticipar posibles futuros.

A lo largo del Siglo XX se observaron cambios en el régimen de precipitación en la zona húmeda y semi-húmeda Argentina, particularmente en la segunda mitad del siglo. Se destaca el incremento en las precipitaciones anuales en el centro y noreste de Argentina, descrito entre otros por Castañeda & Barros (1994); Minetti & Vargas (1997); Barros et al. (2000). Este aumento en los totales anuales no fue uniforme a lo largo de la región sino que se presentó en forma de salto o discontinuidad positiva en la zona que se extiende desde el sudoeste de Buenos Aires hacia Santiago del Estero y, en forma más gradual en el Litoral y este de Buenos Aires (Minetti & Vargas 1997, Penalba y Vargas 2004). Los mayores aumentos en los totales anuales ocurrieron en la zona central del país, donde la variación en la lluvia anual en el período posterior a 1960 aumentó 20% o más con respecto a los 30 años anteriores (Minetti y Vargas 1997).

A pesar de la existencia de una tendencia de largo plazo positiva, antes de los 60s se observaron tendencias negativas de precipitación en muchas partes del país (Castañeda y Barros 1994; Barros et al. 2000). Penalba y Vargas (2004), mostraron en los promedios de precipitación anual por áreas anomalías negativas con respecto a la media de largo plazo (1901-2000) alrededor de la década del 10 y en las del 30-40. Por último, se destaca que el aumento en la lluvia anual no fue uniforme a lo largo del año, sino que se observó una mayor tendencia positiva durante el semestre estival (Castañeda y Barros 2001; Boulanger et al. 2005).

Las variaciones observadas en los regímenes de lluvia en la Pampa Húmeda tuvieron implicancias para los sistemas agrícolas (Magrin et al. 2005, Basualdo y Occhiuzzi 2009; Llano y Vargas 2009). Un claro ejemplo fue la expansión de la frontera agrícola hacia el oeste, favorecida por el aumento en las precipitaciones. Magrin et al. (2005) mostraron que los rendimientos potenciales de los principales cereales y oleaginosas se incrementaron entre 1950-1970 y 1971-1999 en respuesta a las variaciones del clima, siendo el aumento de las lluvias lo que más contribuyó.

El objetivo de este trabajo es describir las principales características del régimen pluviométrico de la zona húmeda y semi-húmeda Argentina y los cambios que se observaron en el mismo a lo largo del período 1911-2010.

## 2. Datos y metodología

Se consideraron las series de precipitación mensual de 28 estaciones meteorológicas ubicadas en la zona húmeda y semihúmeda Argentina, en el período 1911-2010. Para completar algunos análisis se tomaron otras 6 estaciones con registros entre 1941-2010.

Cómo técnica de agrupamiento se utilizó el método de cluster jerárquicos utilizando la librería `hclust` implementada en lenguaje R. Para calcular la matriz de disimilaridad se consideró una distancia euclídeana y el método de unión Ward, utilizados en otros estudios como Chambers (2000). La metodología se aplicó a las series mensuales del período completo, observándose las variaciones entre tomar 4 a 7 grupos.

Se realizaron comparaciones entre los promedios de 30 años, comenzando en 1911/1940 hasta 1981/2010 cada 10 años. Para estimar el ciclo anual, se aplicó análisis armónico a las series de los 12 promedios mensuales de los tres períodos que no se solapan más el período 1981/2010. Se analizaron los dos primeros armónicos, similarmente al análisis realizado por Rusticucci y Penalba (2000) para el período 1901/1990. La significancia estadística se testeó según lo sugerido por Siegel (1980).

Para la descomposición de las series mensuales se aplicó la técnica Seasonal Trend Decomposition usando Loess (STL); Cleveland et al. (1990). Dicha técnica STL es un procedimiento de filtrado que permite descomponer una serie de tiempo (Y) en tres componentes aditivas: estacional (E), tendencia o componente de baja frecuencia (T) y residuo (R):

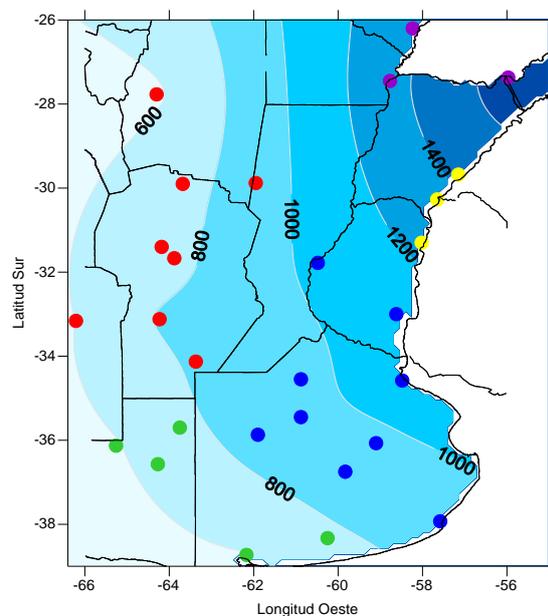
$$Y(t) = E(t) + T(t) + R(t)$$

La descomposición es no paramétrica dado que se realiza a través de sucesivas iteraciones en las que se aplica un suavizado LOESS (regresión polinómica localmente ponderada; Cleveland 1979) a ventanas móviles de ancho variable según las frecuencias que se deseen extraer de la serie de tiempo. Las iteraciones permiten refinar y mejorar progresivamente las estimaciones de las componentes de tendencia y estacionales. Necesita que se definan seis parámetros de los cuales 4 de ellos se pueden elegir en forma sencilla en tanto que la componente estacional y la de tendencia requieren tomar decisiones asociadas a la componente de baja frecuencia que se desee analizar como así también al conocimiento de la variable que se analiza.

### 3. Resultados

La figura 1 corresponde a las isoyetas de la precipitación media anual en el período 1911-2010. Los puntos indican la ubicación de las estaciones utilizadas y el color corresponde a los grupos que se obtuvieron al considerar 5 agrupamientos. Las mayores precipitaciones tienen lugar en el noreste de Argentina, con valores medios mayores a 1200 mm. Las totales disminuyen hacia el oeste y sudoeste de la región, observándose los valores más bajos en el oeste de Santiago del Estero y sudoeste de la región de análisis, con promedios inferiores a 600 mm.

La onda anual en cada una de las regiones (figura.2) muestra que las menores precipitaciones se presentan en el semestre frío teniendo una clara disminución en las lluvias durante el trimestre invernal en oeste de la región. En el noreste del Litoral hay dos máximos (marzo y octubre) que también se insinúan en el centro-este de la Mesopotamia. El promedio anual varía entre 1500 mm en el noreste del Litoral a 670 mm en el sudoeste de Buenos Aires y La Pampa.



*Figura 1: isoyetas de la precipitación media anual (mm). Período 1911/2010.  
Puntos en colores: regiones homogéneas en cuanto a la onda anual*

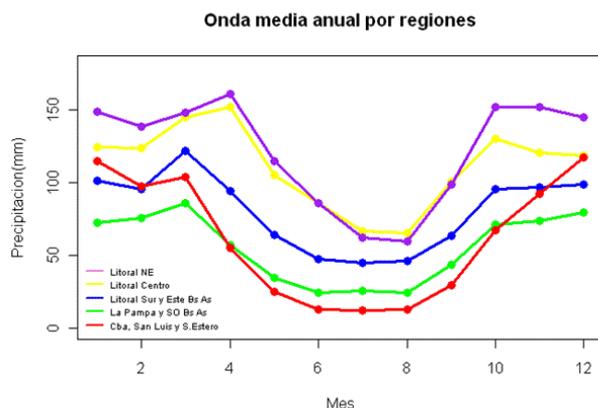


Figura 2: onda anual media en cada una de las 5 regiones indicadas en la figura 1

Analizando los promedios de 30 años, en la figura 3, se presentan las isoyetas medias de 1911/1940, 1941/1970, 1971/2000 y la de los 30 años más recientes (1981/2010). La mayor variación en los valores medios de la precipitación aconteció entre 1941/1970 y 1971/2000 en el centro del país, con un claro desplazamiento de la isoyeta de 800 mm hacia el oeste. El porcentaje de cambio de la precipitación media anual entre dichos períodos fue mayor al 20 % en La Pampa, norte de Córdoba y puntualmente en la localidad de Ceres. Por otra parte, las menores diferencias (0-10%) se observaron en el sudeste de Buenos Aires, la zona que se extiende desde el sur de Entre Ríos hacia el sur de Córdoba y en el extremo norte del Litoral. Similar comportamiento presentó la isoyeta de 1200 mm, con un desplazamiento hacia el oeste y sudoeste.

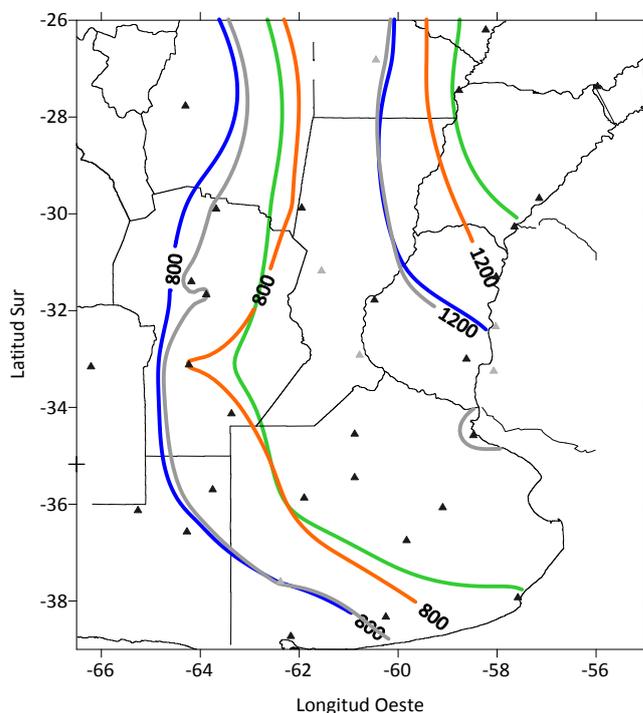
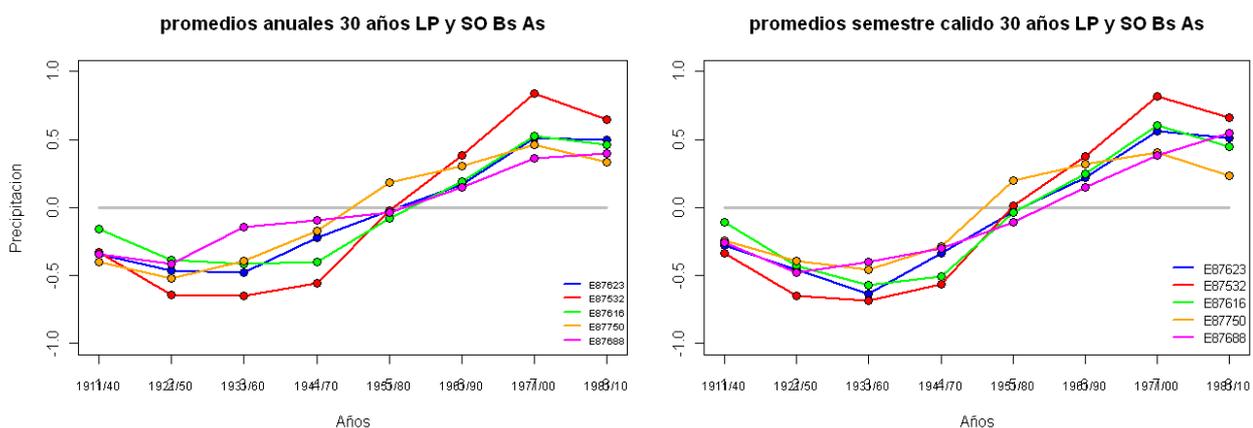


Figura 3: isoyetas de 800 mm y 1200 mm de la precipitación media anual, correspondientes a los períodos 1911/40 (verde), 1941/70 (naranja), 1971/2000 (azul) y 1981/2010 (gris). Triángulos grises estaciones consideradas a partir de 1941.

Este aumento en los valores anuales, tal como se señaló anteriormente fue extensamente documentado principalmente a través de estudios de tendencias lineales y para la segunda mitad del Siglo XX (Castañeda y Barros 1994; 2001, Penalba y Vargas 1996, Barros y otros 2000, entre otros) y es uno de los factores que influyó en el desplazamiento de la frontera agrícola hacia el oeste. Sin embargo, se destaca que en los últimos 30 años la isoyeta de 800 mm en la zona central del país mostró un pequeño retroceso hacia el este.

La figura 4 – izq muestra la evolución de los promedios de 30 años de la precipitación anual en las estaciones ubicadas en La Pampa y sudoeste de Buenos Aires, reescalados en términos de las medias y desviaciones standard de las series de 100 años. Se observan anomalías negativas en la primera mitad del Siglo XX y un marcado aumento en los promedios a partir de 1931/60 o 1941/70, dependiendo la localidad. En el último período el promedio disminuyó o no presentó cambios, excepto en Tres Arroyos donde se mantuvo la tendencia creciente.

Si bien no se presenta aquí se señala que en Córdoba, San Luis y Santiago del Estero el mayor aumento en las precipitaciones se presentó a partir de 1941, en tanto con anterioridad se observó una disminución o poca variación en los promedios. En el este de la región se observó un incremento gradual en los promedios de 30 años desde 1941/70 o incluso antes en algunas zonas. Dentro de las características comunes en toda el área de análisis se indican: promedios desde 1961/90 mayores al de la serie de 100 años y el predominio de una disminución en el promedio de los últimos 30 años con respecto a los 30 años previos.



*Figura 4: Anomalías de los promedios de 30 años de la precipitación anual (izq) y del semestre cálido (der) con respecto a la media 1911/2010, expresados en términos de desviaciones standard. Los períodos comprenden desde 1911/40 hasta 1981/2010*

El aumento en las lluvias anuales no se dio de forma uniforme a lo largo de todo el año. Un análisis similar al realizado con los promedios anuales, pero en este caso tomando el semestre cálido se presenta en la figura 4 izq para las estaciones del SO de Buenos Aires y La Pampa. Se aprecia el aumento en los valores promedios a partir de 1931/1960 mostrando un comportamiento similar al de la precipitación anual. Esto indica que la mayor contribución al incremento de la lluvia anual aconteció durante el período cálido tal como fuera señalado entre otros por Castañeda y Barros (2001), Barros y otros (2008), Boulanger y otros (2005).

Los cambios descriptos en la lluvia semestral y anual, son el resultado de cambios en los promedios mensuales por lo cual el ciclo anual también debe mostrar esta variabilidad. El ciclo anual se ajustó utilizando análisis armónico. La figura 5 muestra la varianza explicada por el primer armónico (izquierda) y el segundo armónico (derecha) correspondiente a los promedios mensuales 1911/2010. Se puede ver que excepto en el este de Entre Ríos y de Corrientes, Misiones y puntualmente en Bahía Blanca, la varianza explicada por el primer armónico resulta significativa. Los máximos valores, superiores al 80%,

corresponden a las estaciones ubicadas en La Pampa, Córdoba, San Luis, Santiago del Estero y oeste de Santa Fe, que como se señaló previamente presentan marcada estacionalidad.

El mismo análisis se realizó con las series medias mensuales de los períodos 1911/40, 1941/70, 1971/2000 y 1981/2010. En Córdoba, San Luis, Santiago del Estero y oeste de Santa Fe la varianza explicada por el primer armónico se mantuvo en los cuatro períodos por encima del 80%. En La Pampa disminuyó en el segundo período si bien fue mayor al 60 %. En la provincia de Buenos Aires y en el Litoral es donde se observaron los mayores cambios entre los distintos períodos, destacándose que en el primer y segundo período la varianza disminuyó por debajo del 60% en gran parte del este y sur de Buenos Aires y en el este de Corrientes y de Entre Ríos.

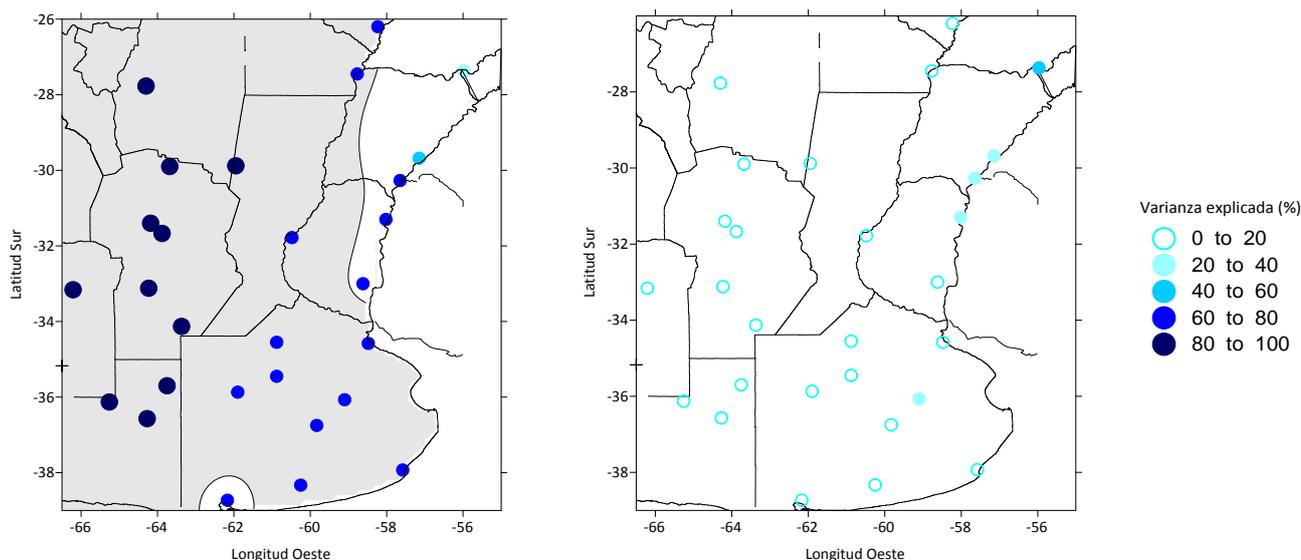


Figura 5: Varianza explicada por el primer (izq) y segundo (der.) armónico. Período 1911/2010. En sombreado valor significativo al 95%.

Con respecto a la amplitud del primer armónico se observó escasa variación entre 1911/40 y 1941/70, salvo en parte de Santiago del Estero donde disminuyó y en el oeste de Corrientes y este de Formosa donde aumentó. La mayor variación se observó entre 1941/70 y 1971/00 con un aumento generalizado en la amplitud, que tomó valores mayores a 60 mm en Córdoba, norte de Santa Fe y oeste de Corrientes (Figura 6). En los últimos 30 años disminuyó la amplitud en el norte de Córdoba.

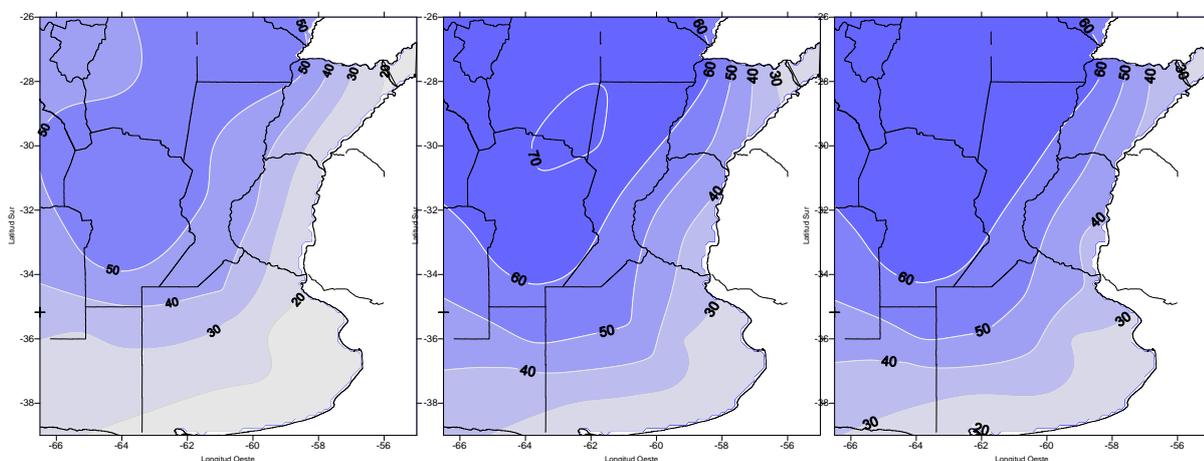
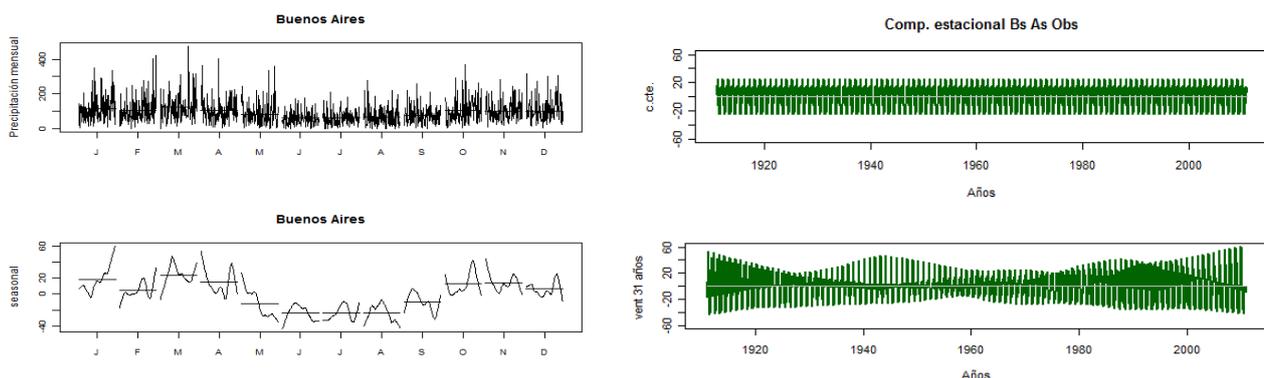


Figura 6: amplitud del primer armónico (mm) correspondientes a los períodos 1941/70, 1971/00 y 1981/2010

Para estimar la componente decadal de las series de precipitación media en cada una de las regiones indicadas en la figura 1, se realizó una descomposición de las series temporales utilizando STL. La componente estacional se la estimó como constante (media de largo plazo) y como variable. La ventaja del segundo enfoque es que permite ver los cambios mensuales indicando en que períodos del año se dieron aumento o disminución en las precipitaciones.

La figura 7 representa la estimación del ciclo estacional en Buenos Aires Obs. En la figura de la izq superior se presentan las precipitaciones mensuales. En la figura inferior la línea recta corresponde al valor medio de largo plazo (utilizado en la descomposición con ciclo anual constante) y la curva al suavizado obtenido con una ventana de 31 años. Se observa en los meses de invierno una tendencia positiva hasta alrededor de la década del 60 y luego una disminución, excepto en julio donde hacia finales del período nuevamente se revierte. En enero se ve el aumento sostenido de las precipitaciones prácticamente desde comienzo del período de análisis.

Las figuras de la derecha corresponden al ciclo anual constante (superior) y variable (inferior) que surgen de combinar los valores calculados para cada mes tal como se indicó en el párrafo anterior. Se destaca en las primeras dos décadas y entre las décadas del 50 y 60 una disminución en la amplitud (aumentan las lluvias en el invierno y disminuyen en el verano). Contrariamente en las décadas del 30 y 50 y en las del 80 y 90. Se observó un aumento en la amplitud, con aumento de las lluvias en verano. Estos resultados son coherentes con lo presentado en la figura 6.



*Figura 7: izq-superior series mensuales de precipitación, debajo valor medio mensual 1911/2010 y valor correspondiente a un suavizado de 31 años. Der: Panel superior ciclo anual constante, abajo tomando ventana de suavizado de 31 años. Período 1911/2010.*

La componente decadal se ajustó tomando una ventana de suavizado de 11 años dado que refleja por una parte, lo mismo que al tomar ventanas más pequeñas (se probó entre 8 a 15 años) sin llegar a suavizar tanto como ocurre al tomar ventanas mayores. Por otro lado es acorde a la ventana utilizada al aplicar otras metodologías como promedios móviles pesados de 11 años utilizados entre otros por Penalba y Vargas (2004).

En la figura 8 se presentan las componentes estacional y decadal para dos de las subregiones analizadas. En este caso se tomó la serie mensual media de cada región. La componente decadal (figura 8 der) muestra en ambas regiones un período extendido de anomalías positivas desde 1970 hasta mediados de la década del 2000, mostrando un cambio en los últimos años. Previo a 1970 se destacan algunos períodos en común como 1930 a 1960 donde las anomalías fueron negativas aunque dependiendo de la zona presentaron diferente magnitud. En el grupo que abarca las estaciones de la provincia de Córdoba presentó otro período con anomalías alrededor de los 70, coincidente con lo señalado por Penalba y Vargas (2004).

En la Figura 8 izq se puede apreciar como la amplitud del ciclo anual varío a lo largo de los 100 años. Entre las décadas de 1940/1960 presentó la menor amplitud. A partir de los 60 comenzó a aumentar, en La Pampa y SO de Buenos Aires, debido al aumento de las precipitaciones en el semestre cálido y disminución en el semestre frío, en tanto que en la otra sub región no se observaron cambios significativos en el invierno. Recordar que dicho trimestre presenta lluvias muy escasas en dicha región.

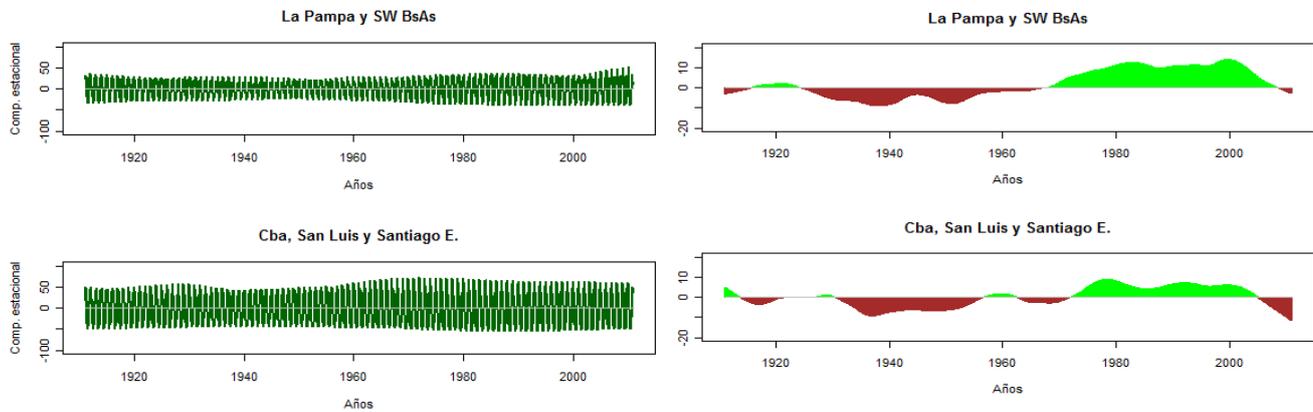


Figura 8: Izq componente estacional correspondiente a dos de las regiones según figura 1 tomando una ventana de suavizado de 31. Der: componente decadal correspondiente a una ventana de suavizado de 11 años. Período 1911/2010.

#### 4. Conclusiones

Se encontró un aumento en los promedios de lluvia anual (calculados para períodos de 30 años) especialmente a partir de 1941/60. La mayor diferencia se observó entre 1941/60 y 1971/2000. El porcentaje de cambio entre dichos períodos fue mayor al 20 % en La Pampa, norte de Córdoba y puntualmente en la localidad de Ceres. Las menores diferencias (0-10%) se observaron en el sudeste de Buenos Aires, la zona que se extiende desde el sur de Entre Ríos hacia el sur de Córdoba y en el extremo norte del Litoral. En los últimos 30 años, en cambio, hubo una leve disminución del promedio anual en la mayor parte de las estaciones analizadas. La variación de los promedios de precipitación en el semestre cálido fue muy similar a la de la precipitación anual.

Los cambios en la precipitación anual total se reflejaron en la onda anual, que presentó un aumento de la amplitud en la segunda mitad del siglo XX, especialmente en el oeste de la región. Asimismo, en dicha zona, la componente asociada a la variabilidad interdecadal mostró anomalías negativas entre 1930 y 1960 y nuevamente hacia mediados de la última década.

Los cambios observados en el ciclo anual plantean la posibilidad de tomar como marco de referencia, para posteriores análisis, un ciclo anual que varíe con el tiempo en lugar de la media de largo plazo. Este punto fue discutido en los últimos años por otros autores.

#### 5. Referencias

Barros, V., M.E. Castañeda, and M.E. Doyle. 2000. Recent precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes: an indication of a mode of climatic variability.

- , M.E. Doyle, and I.A. Camilloni. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical & Applied Climatology* 93:19-33.
- Basualdo, A. B. and S. E. Occhiuzzi, 2009: Una caracterización regional de las tendencias mensuales en la precipitación. *Congremet X*.
- Boulanger, J.-P., J. Leloup, O. Penalba, M. Rusticucci, F. Lafon, and W. Vargas. 2005. Observed precipitation in the Paraná-Plata hydrological basin: long-term trends, extreme conditions and ENSO teleconnections. *Climate Dynamics* 24:393-413.
- Castañeda, M.E., and V. Barros. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono sur de América al Este de los Andes. *Meteorológica* 19:23-32.
- , and V. Barros. 2001. Tendencias de la precipitación en el oeste de Argentina. *Meteorológica* 26:5-23.
- Cleveland, W.S. 1979. Robust Locally weighted Regresiion and Smoothing Scatterplots. *American Statistical Association* 74:829-836.
- Cleveland, R.B., W.S. Cleveland, J.E. McRae, and I. Terpenning. 1990. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics* 6:3-73.
- Chambers, L.E. 2001. Classifying rainfall districts: a south Western Australian study. *Australian Meteorological Magazine* 50:91-103.
- Llano, M. P. and W. M. Vargas, 2009: Relación entre variables climáticas y rendimientos de cultivos en las zonas de mayor producción. *Congremet X*.
- Magrin, G., M. Travasso, and G. Rodríguez. 2005. Changes in Climate and Crop Production During the 20th Century in Argentina. *Climatic Change* 72:229-249.
- Minetti, J.L., and W.M. Vargas. 1997. Trends and Jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11:205-221.
- Penalba, O.C., and W.M. Vargas. 1996. Climatology of monthly and annual rainfall in Buenos Aires, Argentina. *Meteorological Applications* 3:275-282.
- , and W.M. Vargas. 2004. Interdecadal and interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *International Journal of Climatology* 24:1565–1580.
- Rusticucci, M., and O. Penalba. 2000. Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Climate Research* 16:1-15.
- Siegel, A. 1980 Testing for periodicity in a time series. *American Statistical Association* 75:345–348.