



## PREDICTIBILIDAD DE LAS ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN DURANTE EL CICLO DE LOS CULTIVOS DE VERANO EN LA REGIÓN PAMPEANA, ARGENTINA

S.M.F. Zalazar<sup>1</sup>; R.H. Hurtado<sup>2</sup> y L.A. Serio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, FAUBA. Av. San Martín 4453, Buenos Aires - Argentina

<sup>2</sup>Cátedra de Agrometeorología, FCAUNJu. Alberdi 47, San Salvador del Jujuy - Argentina

Email: zalazar@agro.uba.ar

Recibido: 30-04-13

Aceptado 12-08-13

### RESUMEN

Diversos antecedentes han demostrado que el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) influye sobre el clima regional. La respuesta atmosférica asociada a la ocurrencia de sus diferentes fases (El Niño y La Niña) altera la magnitud y distribución de las precipitaciones en la Región Pampeana de la Argentina, provocando anomalías de rendimiento en los cultivos agrícolas. El objetivo de este trabajo es determinar el grado de asociación entre el ENOS y las anomalías de precipitación en la Región Pampeana, de modo de identificar patrones característicos que puedan ser utilizados para predecir esas anomalías. Para este trabajo se analizaron series de datos de precipitación mensual del período 1950-2011 y la serie mensual de un índice del ENOS (BEST - **B**ivariate **E**NSO **T**ime **S**eries) del mismo período. Se aplicaron técnicas estadísticas de correlación sobre las series desfasadas en distintos intervalos de tiempo. Como resultado, se obtuvo que a partir del mes de junio el índice BEST permite predecir potenciales anomalías de precipitación a producirse durante octubre, noviembre y diciembre del mismo año.

**Palabras clave.** Precipitación, ENOS, Región Pampeana, BEST.

## PRECIPITATION PREDICTABILITY DURING SUMMER CROP PRODUCTION IN THE PAMPAS REGION OF ARGENTINA

### SUMMARY

There are several precedents showing that El Niño-Southern Oscillation (ENSO) influences on regional climate. The atmospheric response associated with the occurrence of its different phases (El Niño and La Niña) alters the magnitude and distribution of rainfall in the pampas of Argentina, causing yield anomalies in agricultural crops. The objective of this work is to determine the association degree between ENSO and rainfall anomalies in the Pampa region, so as to identify characteristic patterns that can be used to predict such anomalies. For this analysis, we used monthly precipitation data series for the period 1950-2011, and the monthly series of an ENSO index (BEST - **B**ivariate **E**NSO **T**ime **S**eries) for the same period. Statistical correlation techniques were applied on the series lagged at different time intervals. The result was that from June the BEST Index allows predicting potential precipitation anomalies that may occur during October, November, and December.

**Key words.** Rainfall, ENSO, Pampas, BEST.

## INTRODUCCIÓN

De todas las actividades humanas, la producción agrícola es la más dependiente del clima (Oram, 1989). Su vulnerabilidad no es consecuencia sólo de la variabilidad interanual del clima en sí, sino también de su parcial imprevisibilidad (Hansen, 2002). Según Goddard *et al.* (2001), las investigaciones realizadas durante el siglo XX, y en particular en el último par de décadas, han demostrado que en muchas regiones del mundo el clima estacional es potencialmente predecible. Sin embargo, Troccoli (2010) señaló que la naturaleza caótica del sistema climático es tal, que siempre estaremos limitados en nuestra capacidad para predecir el estado de la atmósfera más allá de un umbral de tiempo teórico.

El fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es una de las principales causas de la variabilidad de clima a escala regional. Sus fases opuestas, cálida o El Niño (EN) y fría o La Niña (LN), están asociadas a anomalías en las precipitaciones en muchas áreas del mundo, con diferente grado de probabilidad de ocurrencia según la región y época del año (Serio, 2011a). Este conocimiento, acerca de la vinculación entre ENOS y los patrones de precipitación procede desde hace ya casi un siglo. Los estudios pioneros realizados por Walker, en la década de 1920, y por Walker y Bliss, en la década de 1930 (todos ellos citados por Ropelewski y Halpert, 1987), documentaron la ocurrencia cuasi-periódica de este fenómeno. Ropelewski y Halpert (1987) señalaron algunas regiones en Australia, India, América del Norte, Centroamérica y Sudamérica, en las cuales existe una relación consistente entre el ENOS y las anomalías de precipitación. Ellos fueron los primeros en señalar la influencia del ENOS sobre la variabilidad interanual de la precipitación en Sudamérica, identificando en particular una región ubicada al sudeste de Sudamérica (SSA), que comprende Uruguay, Paraguay, sur de Brasil y la región agrícola de secano de la Argentina (Mesopotamia y llanura Chaco-Pampeana).

Ese estudio y otros posteriores (Kiladis y Díaz, 1989; Grimm *et al.*, 2000; Barros y Silvestri,

2002; Vera *et al.*, 2004) han mostrado que en la región SSA durante los años cálidos (EN) la región experimenta anomalías positivas de precipitación durante el período que va desde noviembre del año en que empieza el evento, hasta febrero del año siguiente, mientras que durante los eventos fríos (LN) las precipitaciones tienden a disminuir entre junio y diciembre.

El ENOS es un fenómeno de acoplamiento entre el océano y la atmósfera que se manifiesta mediante variaciones en todo el sistema climático, afectando la productividad de los cultivos en la Región Pampeana argentina (Podestá *et al.*, 1999; Hurtado *et al.*, 2003, 2005; Travasso *et al.*, 2009). Según Podestá *et al.* (1999) las anomalías de precipitaciones durante noviembre y enero se correlacionan significativamente con las anomalías de rendimiento de maíz, sorgo y soja, y, a su vez, las anomalías de precipitación muestran una dependencia en relación al ENOS. Por ello, indicaron que las precipitaciones de finales de primavera y principios de verano parecen mediar en la asociación entre el ENOS y los rendimientos de maíz, sorgo y soja en la Región Pampeana.

Existe una gran diversidad de índices de variabilidad climática que se utilizan para determinar la ocurrencia de las fases del ENOS. La sensibilidad de estos índices está dada por la capacidad que cada uno de ellos tiene para detectar las diferentes fases del ENOS, siendo algunos más sensibles en el reconocimiento de la fase de El Niño y otros de La Niña (Hanley *et al.*, 2003). Los criterios para determinar las fases (cálida, fría y neutra), en la mayoría de los casos, están basados en el signo y la magnitud de las anomalías de uno o varios de los elementos que intervienen en el fenómeno (Serio, 2011a). Smith y Sardeshmukh (2000) tuvieron en cuenta que el fenómeno del ENOS presenta una componente oceánica (temperatura en la superficie del mar en el océano Pacífico ecuatorial) y otra atmosférica (variación de la presión entre Darwin y Tahití), de modo que con los valores de anomalías estandarizados de cada una de estas variables desarrollaron un nuevo índice denominado "BEST" (**B**ivariate **E**NSO **T**ime

Series). Entre otras aplicaciones, este índice ha sido señalado como un posible predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Fernández Long *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo es determinar el grado de asociación entre el índice de variabilidad climática BEST y las precipitaciones mensuales que ocurren durante el ciclo de producción de los cultivos de verano en la Región Pampeana argentina.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se delimitó como área de estudio las cinco provincias que componen la Región Pampeana de la República Argentina: Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe (Fig. 1). Dentro de esta región, se contó con datos de 50 estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Se trabajó con las series de datos de precipitación

mensual del período 1950-2011. Además, se utilizó la serie de valores mensuales del índice BEST, publicados por el Climate Prediction Center (NOAA, 2012). Como criterio para identificar las fase del ENOS se tuvo en cuenta la magnitud y signo de las anomalías mensuales de este índice, tal que la fase fría corresponde a valores menores que -0,5, la fase cálida a valores mayores que 0,5 y la condición es neutra cuando las anomalías del BEST se encuentran dentro de ese intervalo.

Debido a la natural variabilidad de las precipitaciones y a su distribución asimétrica respecto de los valores medios, se ajustaron los datos mensuales de precipitación para cada mes y cada una de las 50 estaciones a la distribución Gamma (Thom, 1958), según la metodología de Serio *et al.* (2010). La bondad de los ajustes se evaluó mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (Devore, 2001). Esto permitió expresar los valores de precipitación mensual como anomalías estandarizadas con distribución normal, con media igual a cero y desvío estándar igual a uno.

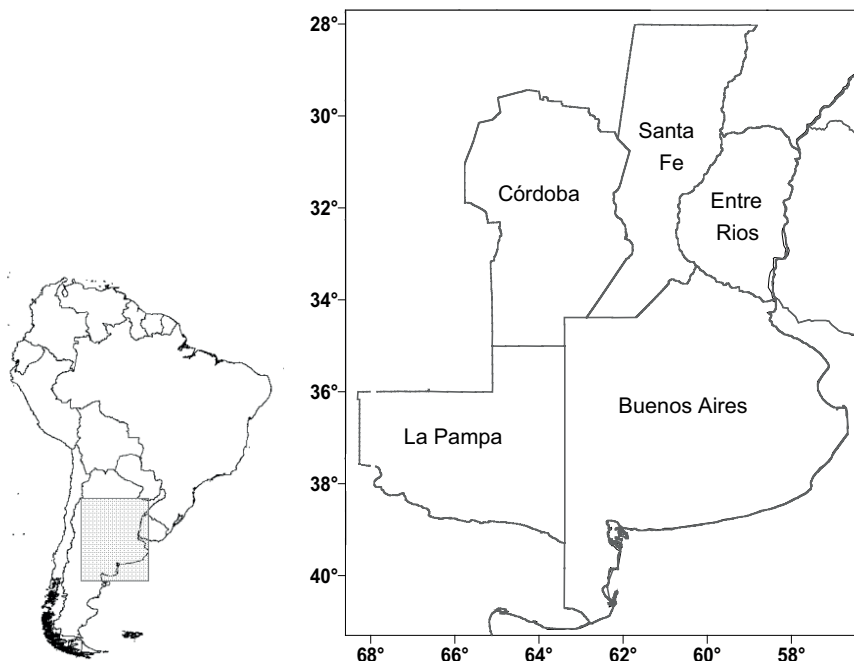


Figura 1. Ubicación del área de estudio en Latinoamérica y la República Argentina.

Las series de precipitación mensual estandarizadas se correlacionaron con las anomalías mensuales del índice BEST, de forma directa y con desfases desde 1 hasta 12 meses. Los coeficientes de correlación obtenidos se graficaron en mapas, delimitándose aquellas áreas de valores estadísticamente significativos según el test "t" de Student (Snedecor y Cochran, 1980), tomando un valor de probabilidad de 10% como límite de significancia.

Para este trabajo, el análisis se limitó al período del año coincidente con el ciclo medio de crecimiento y desarrollo de los cultivos de verano en la región, de octubre a marzo, y añadiendo los dos meses previos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se hallan representados los valores de correlación entre el índice BEST y la precipitación, desde agosto hasta marzo. Las áreas sombreadas permiten identificar aquellas zonas dentro de la Región Pampeana en las cuales se obtuvieron correlaciones estadísticamente significativas (CES), para cada uno de los 8 meses considerados en el estudio. Las CES positivas indican que durante los eventos cálidos tiende a incrementarse la magnitud de las precipitaciones, mientras que tiende a reducirse durante los eventos fríos. Esta relación se invierte cuando las correlaciones son negativas. A partir de octubre se detecta un área con CES positivas en el norte de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos y otra al este de Buenos Aires. En noviembre se alcanzan los mayores valores de correlación ( $> 0,5$ ) en el noreste de la región y el área con CES se extiende a toda Santa Fe y Entre Ríos, sudeste de Córdoba y norte de Buenos Aires. En diciembre las CES se presentan en casi toda la región, y los máximos valores ( $> 0,4$ ) se encuentran en el norte de Córdoba y norte de Buenos Aires. En el resto de los meses, si bien predominan correlaciones positivas (excepto en septiembre), en la mayoría de los casos no resultaron significativas.

Los resultados obtenidos para noviembre y diciembre son coincidentes con lo señalado por varios autores (Ropelewski y Halpert, 1987; Kiladis y Díaz, 1989; Grimm *et al.*, 2000; Barros y Silvestri, 2002; Vera *et al.*, 2004), esto es, una superposición de anomalías positivas de precipitación cuando se produce la fase cálida del ENOS y negativas durante la fase fría. En octubre, en cambio, los autores citados anteriormente señalaron sólo la ocurrencia de anomalías negativas de precipitación durante la fase fría del ENOS. En este trabajo, en cambio, se encontró una relación directa para ambas fases, al menos en parte de la región.

En lo que respecta a los valores de correlación encontrados durante diciembre, estos son mayores en el norte de la región y disminuyen hacia el sur de Buenos Aires. Esta característica confirma lo encontrado por Hurtado *et al.*, (2010) en un trabajo previo, cuando evalúa la variabilidad porcentual de las precipitaciones durante cada fase (cálida/fría). Allí, se señala que durante el trimestre estival, en los eventos cálidos el aumento de la precipitación va de un 10% en el sur de Buenos Aires a un 30% en el norte de Entre Ríos y Santa Fe; y durante el evento frío las disminuciones correspondían a valores de 10 a 20%, respectivamente.

El hecho de no haber encontrado grandes áreas con CES durante los meses de enero y febrero, ni tampoco durante agosto y septiembre aparenta ser contradictorio con lo indicado por Ropelewski y Halpert (1987); Kiladis y Díaz (1989) y Grimm *et al.* (2000), entre otros. Sin embargo, en esos trabajos se aplicó una metodología diferente a la aplicada en éste, pues los autores evaluaron las anomalías de precipitación considerando cada fase (Niña o Niño) por separado. La ausencia encontrada en este trabajo de áreas con CES durante esos meses, analizada conjuntamente con los resultados anteriores, indica una posible respuesta no lineal de la precipitación al ENOS. En enero y febrero sólo ante la fase El Niño tenderían a producirse anomalías positivas de precipita-

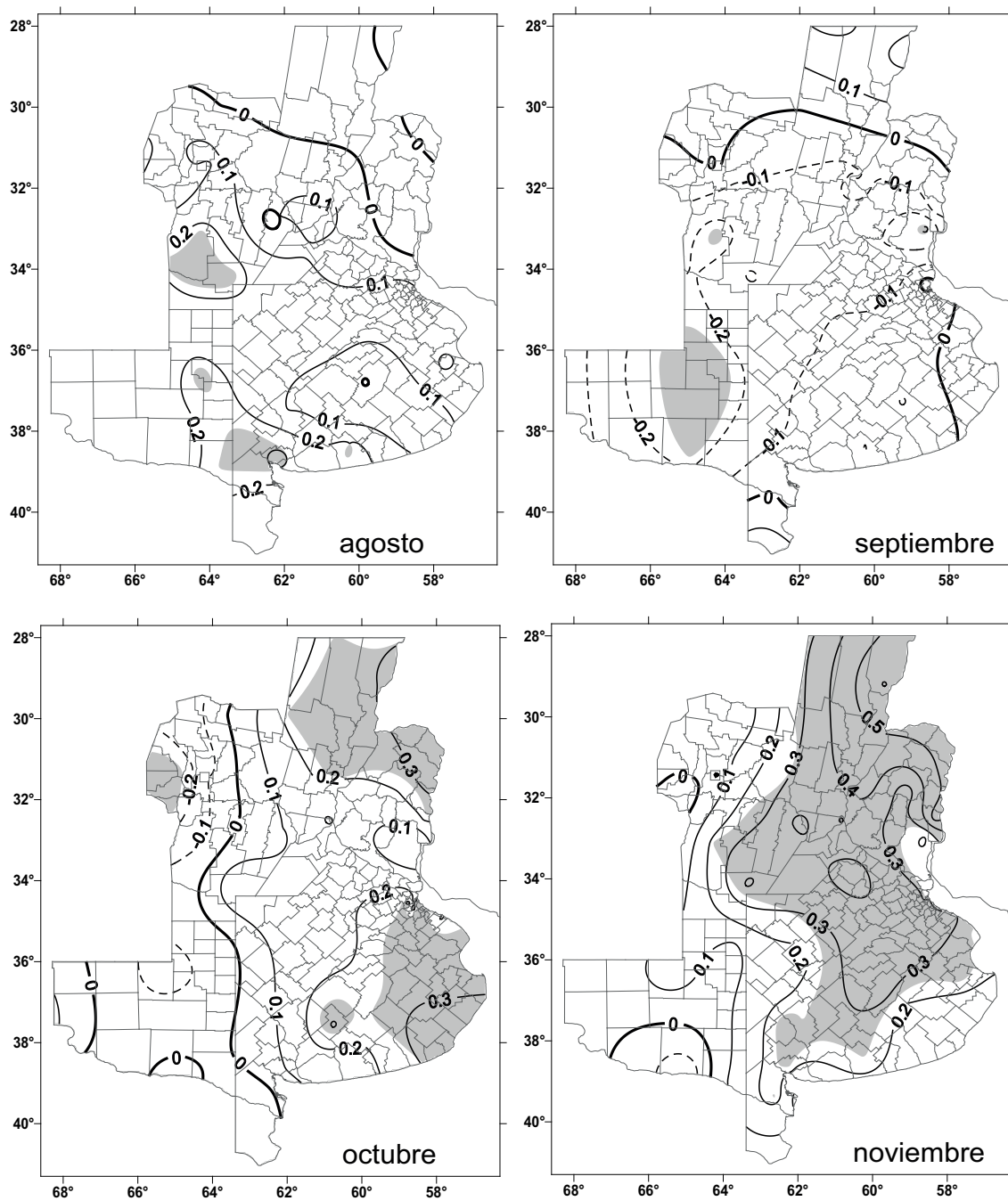


Figura 2. Correlación directa entre el índice BEST y la precipitación, de agosto a marzo, para el período 1950-2011. Sombra gris: área de correlaciones significativa al 10%.

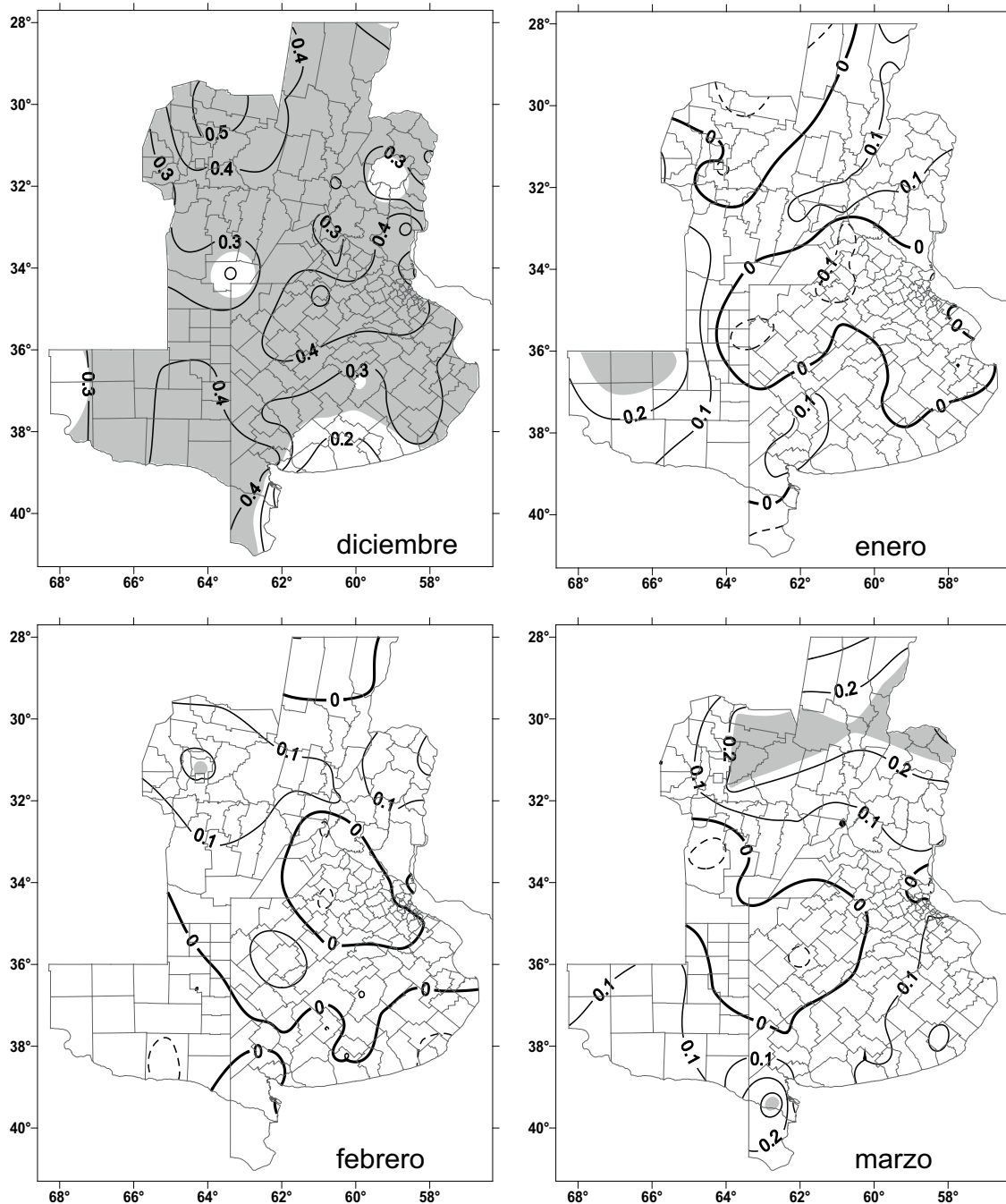


Figura 2. *Continuación.*

ción, mientras que durante el período agosto y septiembre sería La Niña la que produciría su efecto provocando anomalías negativas de precipitación. La ausencia de una respuesta consistente ante ambas fases podría ser la causante de valores relativamente bajos y no significativos de correlación.

Dado que para octubre, noviembre y diciembre se encontraron las mayores correlaciones, se analizó la posibilidad de utilizar el índice BEST como un elemento de predicción de las anomalías de precipitación que se registran durante esos meses. En el nuevo análisis de correlación (precipitación estandarizada vs. Índice BEST) los valores del BEST se tomaron desfasados desde 1 hasta 12 meses previos respecto al mes considerado para la precipitación (oct, nov ó dic).

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan las correlaciones obtenidas para los meses de octubre, noviembre y diciembre, respectivamente. En cada caso, se presentan 4 mapas de correlaciones de la precipitación con: (a) el BEST de junio; (b, c, d) el BEST correspondiente a cada uno de los tres meses previos, respectivamente. La elección del mes de junio para estas figuras se debe a que es el mes a partir del cual comienza a observarse un área de CES similar a la hallada con las correlaciones directas (Fig. 2). No es casual que esto ocurra, ya que la climatología de este fenómeno indica que las fases opuestas comienzan a manifestarse durante el otoño, terminan de definirse durante el invierno y persisten hasta el final del verano siguiente (Troccoli, 2010).

La relación entre las precipitaciones de octubre y el índice BEST de junio (Fig. 3.a) presenta CES en dos subregiones, ubicadas en el noreste y el sudeste de la Región Pampeana, respectivamente. En ellas se asocia positivamente al índice BEST de junio con las precipitaciones de octubre. Con el índice de julio (Fig. 3.b) se observó la mayor superficie con valores de correlación superiores a 0,30 y alcanza el máximo valor de 0,43 en Balcarce, al sur este de Buenos Aires. Por otro lado, si bien con los índices de agosto y sep-

tiembre (Figs. 3.c y 3.d) se observa una reducción en los valores de correlación respecto a julio, las líneas de correlación en los mapas desde junio hasta septiembre presentan un recorrido muy similar, indicando la persistencia de la señal del ENOS sobre las anomalías de precipitación en la región. El hecho de disponer con hasta 4 meses de anticipación, de un indicador de las condiciones pluviométricas que potencialmente podrían presentarse en octubre, resulta importante para estimar la recarga de humedad en el perfil del suelo y programar la siembra de los cultivos estivales.

El análisis realizado para el mes de noviembre muestra que crece el área donde las precipitaciones presentan CES superiores a 0,30 con el índice BEST de junio (Fig. 4.a). En agosto es cuando se presenta la mayor correlación (Fig. 4.b) y también aumenta el área de CES cubriendo completamente las provincias de Entre Ríos y Santa Fe, el este de Córdoba y el norte y centro de Buenos Aires. Los índices de septiembre y octubre (Figs. 4.c y 4.d) muestran asociaciones similares a las encontradas con el de agosto. Las anomalías de precipitación de noviembre alcanzan la mayor correlación con el índice BEST, sobre todo en la "zona núcleo" de producción de los cultivos estivales (norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe).

En diciembre se observan CES de la anomalía de precipitación con el índice BEST de junio en toda la región, menos en el sur de Buenos Aires y algunas localidades de Santa Fe y Entre Ríos (Fig. 5.a). Desde el centro-norte de Buenos Aires predominan CES con valores mayores a 0,30, que van en aumento hasta alcanzar valores mayores a 0,40 en el norte de Córdoba. Entre septiembre y octubre se alcanzan las correlaciones más altas (Figs. 5.b y 5.c). En el norte de Buenos Aires se observa un área con CES superiores a 0,40 que persiste entre agosto (no mostrado) y noviembre (Fig. 5.d). Otra área de CES mayores a 0,40 se extiende por todo el norte de la región, desde Córdoba hasta Entre Ríos. Las potenciales anomalías de precipitación de diciembre pue-

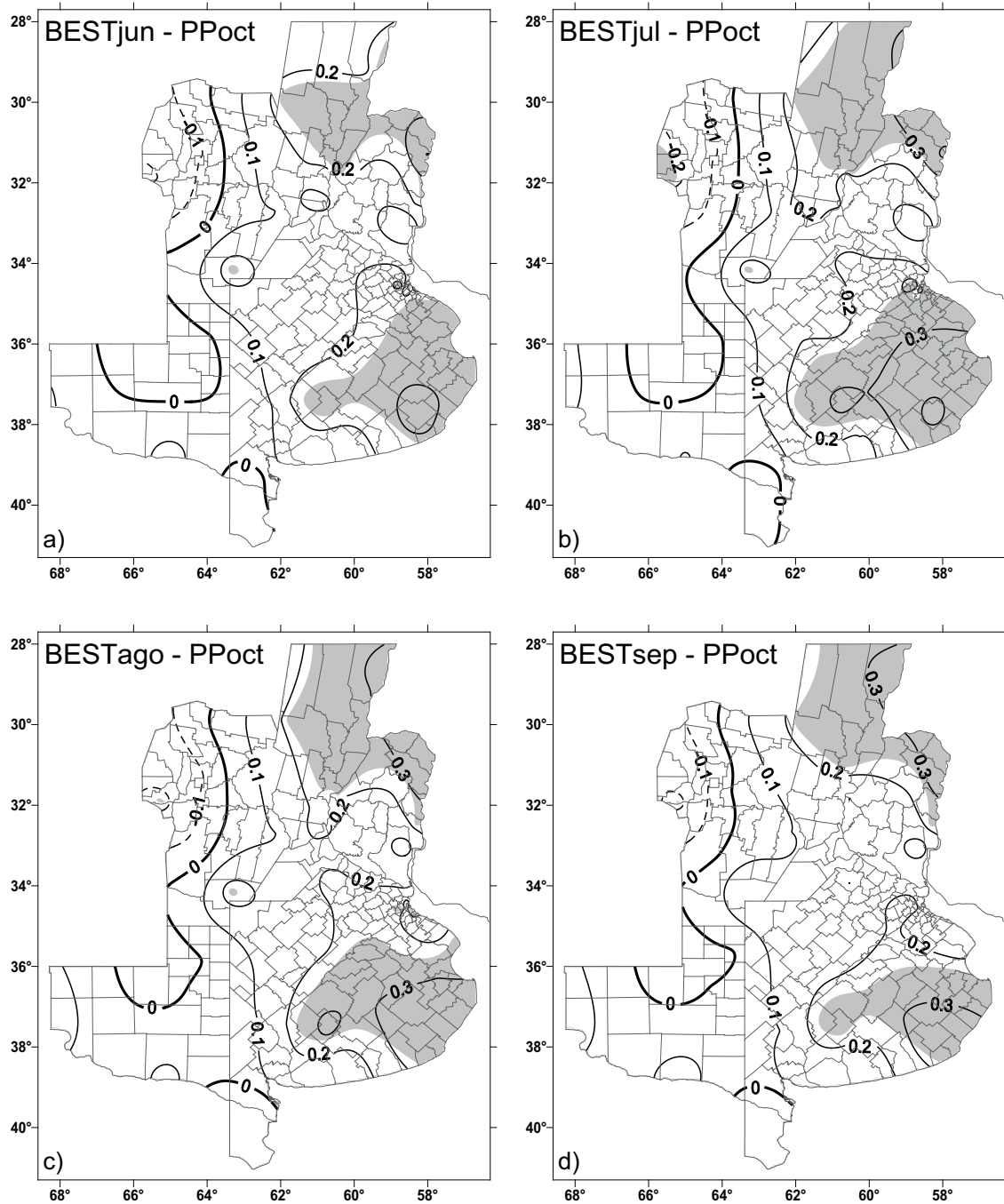


Figura 3. Correlación desfasada entre el índice BEST y la precipitación mensual de octubre. Sombra gris: área de correlaciones significativas al 10%.



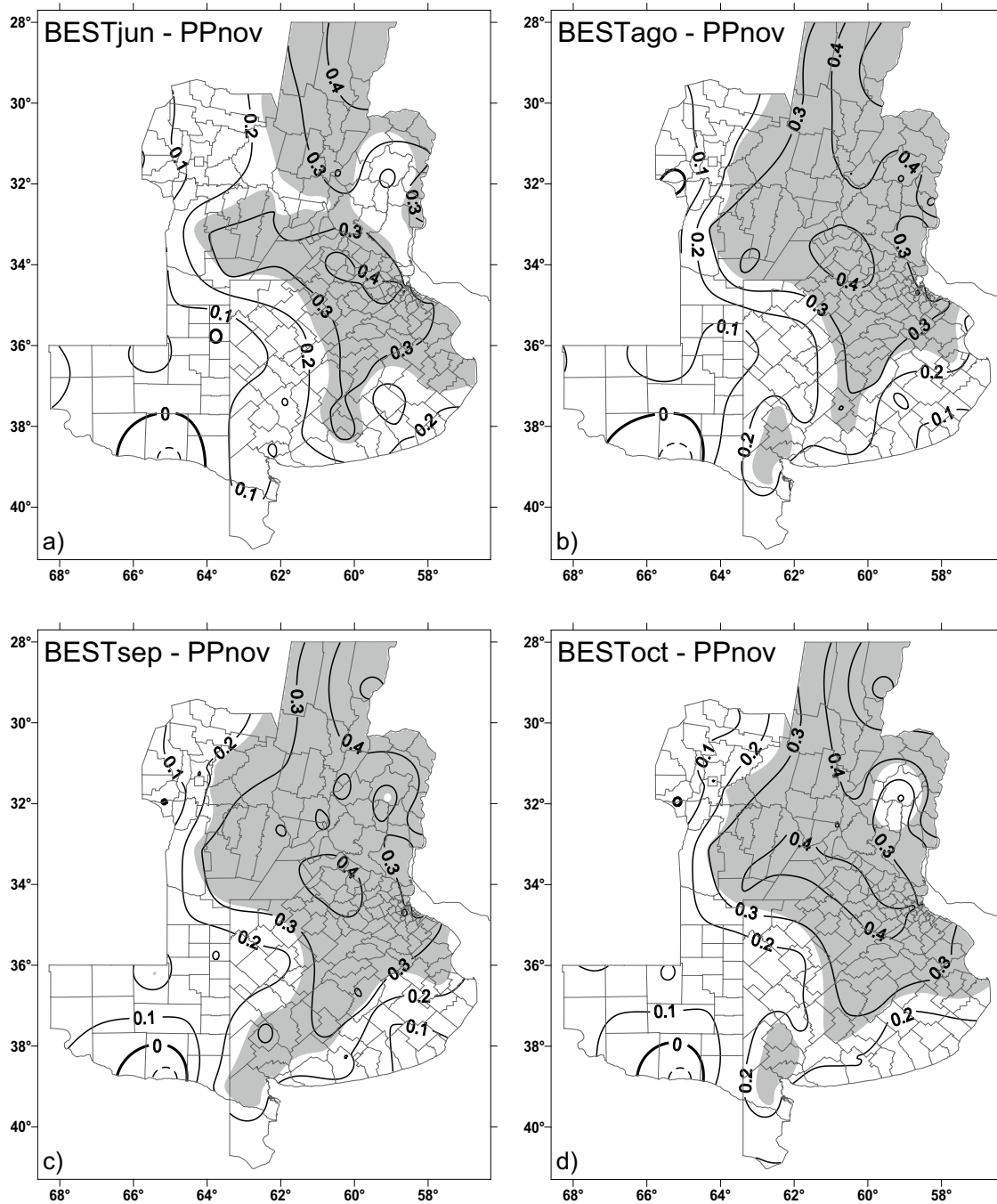


Figura 4. Correlación desfasada entre el índice BEST y la precipitación mensual de noviembre. Sombra gris: área de correlaciones significativas al 10%.

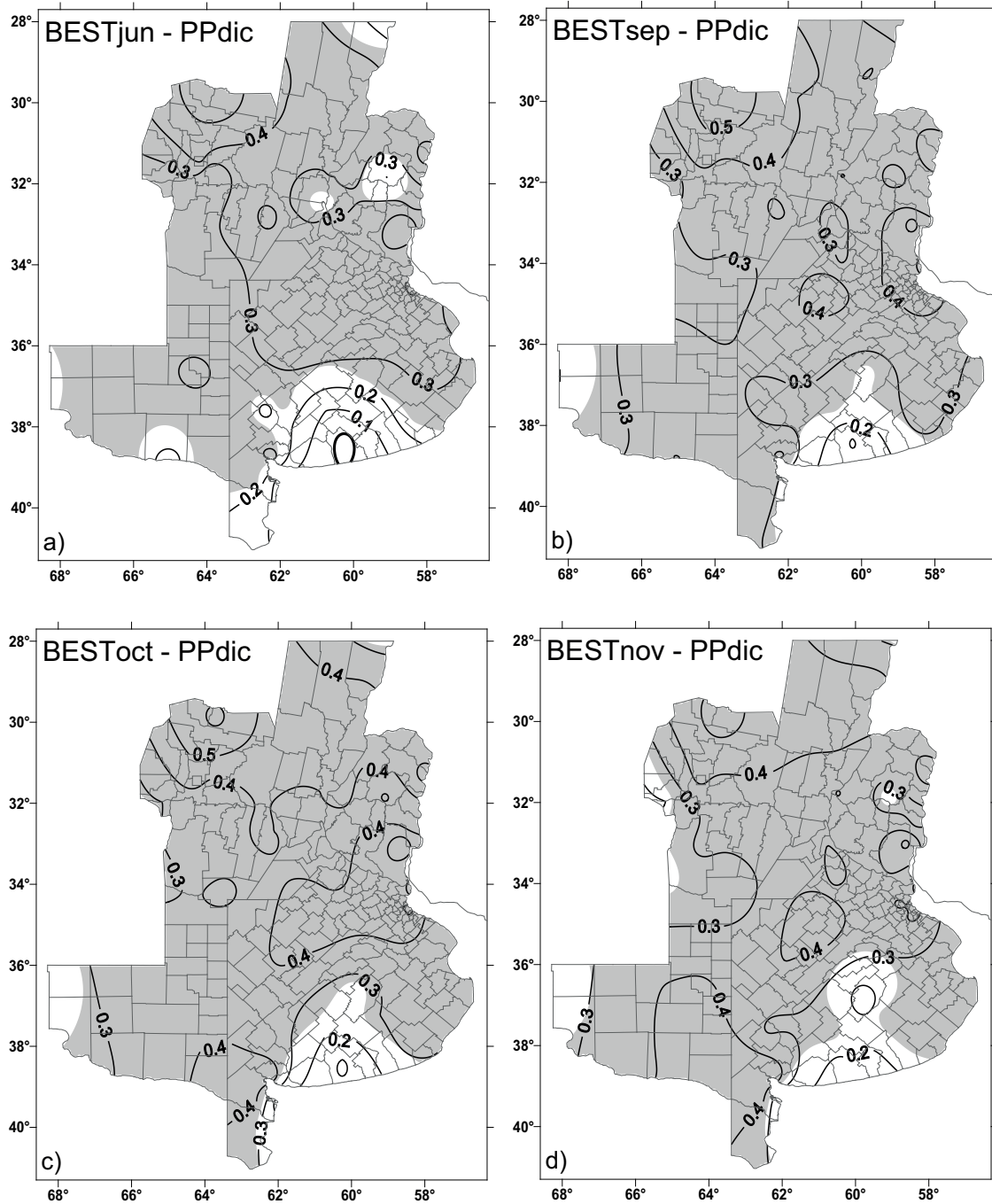


Figura 5. Correlación desfasada entre el índice BEST y la precipitación mensual de diciembre. Sombra gris: área de correlaciones significativas al 10%.

den preverse con 6 meses de anticipación, lo que constituye una herramienta fundamental para la planificación de las labores al inicio de los períodos críticos de los cultivos estivales.

El crecimiento y el rendimiento de los cultivos es altamente dependiente de la disponibilidad hídrica (Dardanelli, 2003). Las mayores disminuciones del rendimiento se asocian a deficiencias hídricas que ocurren durante aquellas etapas donde se definen los componentes que determinan el rendimiento (Otegui y López Pereira, 2003). Cuando las anomalías hídricas ocurren en la época siembra, se suele atrasar la siembra y apartarse de las fechas indicadas como óptimas, produciendo disminuciones en el rendimiento final del cultivo (Andrade y Cirilo, 2002). En este contexto, el índice BEST se convierte en una herramienta de predicción del riesgo climático, ya que permite prever con cierta anticipación anomalías pluviométricas potenciales, tanto para las primeras etapas de los cultivos estivales como para la última parte del ciclo de los cultivos invernales. En el caso particular de diciembre, cuando los cultivos estivales ingresan a su período crítico de definición del rendimiento, se determinó que existe el mayor grado de correlación, y por tanto también de predictabilidad, entre el indicador del ENOS y la anomalía de lluvia. Esto le da al BEST un potencial de aplicación para estimar posibles impactos sobre los rendimientos.

Se sabe que el ENOS no es el único factor que afecta a las precipitaciones en la Región Pampeana, pero es el que mayor impacto tiene, creando condiciones que favorecen el aumento o la disminución de las precipitaciones según se encuentre en su fase cálida o fría, respectivamente. Estas condiciones pueden verse modificadas por otros forzantes de variabilidad climática de mayor o menor escala, tanto espacial como temporal (Vera *et al.*, 2004; Kayano y Andreoli, 2007).

Los valores de correlación encontrados resultaron estadísticamente significativos en la mayor parte de la región entre octubre y diciembre. Por lo tanto, se puede utilizar el índice BEST como elemento de apoyo al formular tendencias climáticas a mediano plazo (3 a 6 meses). Cabe aclarar que este tipo de predicción a escala estacional no consiste en predecir la secuencia exacta de las condiciones meteorológicas con algunos meses de anticipación, sino que es posible establecer rangos de variación de las futuras condiciones del tiempo, siempre expresado en términos estadísticos o probabilísticos (Serio, 2011b). Esto es lo que se ha logrado en este trabajo para las anomalías de precipitación en algunas áreas de la Región Pampeana con el índice BEST.

### CONCLUSIONES

A partir del mes de junio existe una relación estadística que, aunque débil, permite cuantificar el impacto potencial de las fases del ENOS sobre las precipitaciones a producirse durante el último trimestre del año en la Región Pampeana. Ha quedado demostrado que el BEST puede ser utilizado como un indicador de anomalías de precipitación, sobre todo cuando esas anomalías se registran en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Dado que esta relación entre el BEST y las precipitaciones se mantiene aun cuando se utiliza el índice observado con hasta 4, 5 ó 6 meses de anticipación, esto puede ser utilizado como herramienta en la toma de decisiones en la empresa agropecuaria.

### Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto UBACyT G477 (2011-2014).

### BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F.H. y A.G. Cirilo. 2002. Fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. *En*: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. F.H. Andrade y V.O. Sadras (eds.). EEA INTA Balcarce. pp 137-156.
- Barros, V.R. and G.E. Silvestri. 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical South-Central Pacific and precipitation in Southeastern South America. *J. Climate*, 15: 251-267.

- Dardanelli, D.C.; D. Collino; M.E. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. *En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.* E.H. Satorre; R.L. Benech Arnold; G.A. Safler; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 16, pág. 375-440.
- Devore, J.L. 2001. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia. Thomson Learning, México. 762 pp.
- Fernández Long, M.E.; L. Spescha; R. Hurtado y G.M. Murphy. 2011. Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, 28: 31-38.
- Goddard, L.; S.J. Mason; S.E. Zebiak; C.F. Ropelewski; R. Basher and M.A. Cane. 2001. Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions. *Int. J. Climatol.*, 21: 1111-1152.
- Grimm, A.; V. Barros and M. Doyle. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 13: 35-58.
- Hanley, D.E.; M.A. Bourassa; J.J. O'Brien; S.R. Smith and E.R. Spade. 2003. A quantitative evaluation of ENOS indices. *J. Climate*, 16: 1249-1258
- Hansen, J.W.; A. Challinor; A.V.M. Ines; T. Wheeler and V. Moron. 2006. Translating climate forecasts into agricultural terms: advances and challenges. *Climate Research*, 33: 27-41.
- Hurtado, R.; L. Spescha; M.E. Fernández Long y G.M. Murphy. 2003. Evaluación del ENSO como predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Argentina). *Rev. Fac. de Agronomía*, 23(2-3): 131-139.
- Hurtado, R.; L. Serio; L. Spescha.; M.E. Fernández Long y G.M. Murphy. 2005. Análisis de la sensibilidad de distintos índices del ENSO para explicar los rendimientos de maíz en la Región Pampeana. *Rev. Fac. de Agronomía*, 25(1): 53-60.
- Hurtado, R.; L. Serio; I. Barnatán y S. Zalazar. 2010. Variabilidad porcentual de las precipitaciones en la argentina asociada a las fases del ENSO. *En: Actas XIII Reunión Argentina de Agrometeorología.* Bahía Blanca. ISBN: 978-987-26317-0-3 (Ar).
- Kayano, M.T. and R.V. Andreoli. 2007. Relations of South American summer rainfall interannual variations with the Pacific Decadal Oscillation. *Int. J. Climatol.*, 27: 531-540.
- Kiladis, G. and H. Diaz. 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern oscillation. *J. Climate*, 2: 1069-1090.
- NOAA. 2012. National Oceanic and Atmospheric Administration ([www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)).
- Oram, P.A. 1989. Sensitivity of agricultural production to climatic change, an update. *In: Climate and Food Security.* IRRI, Manila, The Philippines, pp. 25-44.
- Otegui, M.E. y M. López Pereira. 2003. Fecha de siembra. *En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.* E.H. Satorre; R.L. Benech Arnold; G.A. Safler; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 12, pág. 257-275.
- Podestá, G.; C. Messina; M. Grondona and G. Magrin. 1999. Associations between grain crop yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *J. Appl. Meteor.*, 38: 1488-1498.
- Ropelewski, C. and M.S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115: 1606-1626.
- Serio, L.; P. Martin y G. Murphy. 2010. Evaluación de una metodología de pronóstico estadístico para la condición hídrica del suelo en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, 27: 11-17.
- Serio, L. 2011a. Variabilidad y cambio climático. *En: Agrometeorología.* G.M. Murphy y R.H. Hurtado (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 9, pág. 149-164.
- Serio, L. 2011b. Productos meteorológicos y climáticos disponibles. *En: Agrometeorología.* G.M. Murphy y R.H. Hurtado (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 10, pág. 165-177.
- Smith, C.A. and P. Sardeshmukh. 2000. The effect of ENSO on the intraseasonal variance of surface temperature in winter. *Int. J. Climatol.*, 20: 1543-1557.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1980. Statistical methods. The Iowa State Univ. Press, 507 pp.
- Thom, H. 1958. A note on the Gamma distribution. *Mon. Wea. Rev.*, 86: 117-122.
- Travasso, M.I.; G.O. Magrin; M.O. Grondona and G.R. Rodríguez. 2009. The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability. *Int. J. Climatol.*, 29: 23-29.
- Troccoli, A. 2010. Seasonal climate forecasting. *Meteorol. App.*, 17: 251-268.
- Vera, C.; G. Silvestri; V. Barros and A. Carril. 2004. Differences in El Niño response over the Southern. *J. Climate*, 17(9): 1741-1752.