

Influencia de “El Niño-Oscilación Sur” sobre las precipitaciones en Paraná y Lucas González (Entre Ríos, Argentina)

Emiliano Jozami, Marta B. Costanzo y Alejandra S. Coronel

*Cátedra de Climatología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias (UNR).
Parque Villarino, Zavalla (2125), Santa Fe, Argentina. <ejozami@unr.edu.ar>*

(Recibido: 23-Jun-2015. Publicado: 21-Oct-2015)

Resumen

Las precipitaciones de una región (tanto su valor total como su distribución anual) constituyen la variable climática con mayor incidencia en la producción agropecuaria. En los últimos años aumentó el interés de los productores agropecuarios acerca del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS). Pero si bien numerosos estudios han constatado que, para la región pampeana, “durante la fase cálida El Niño, las precipitaciones presentan anomalías positivas”, es necesario realizar estudios puntuales para analizar la variabilidad espacial del ENOS. En este trabajo se analiza la existencia de una asociación entre las precipitaciones de las localidades de Paraná (PAR) y Lucas González (LG), en relación con el Oceanic Niño Index (ONI, índice trimestral que mensualmente brinda el Climate Prediction Center –CPC– del National Oceanic and Atmospheric Administration –NOAA–). Se encontró correlación positiva y significativa (r entre 0,5 y 0,65) entre el ONI y las precipitaciones de los trimestres primavera-estivales de ambas localidades. Esta correlación persiste incluso al considerar el ONI de varios meses previos, dándole al mismo un interesante valor como predictor de las precipitaciones. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo serán de utilidad para los productores de zonas cercanas a las localidades bajo estudio, para la toma de decisiones de manejo que les permitirán disminuir riesgos afrontando con mayor certidumbre cada campaña agrícola.

Palabras clave: Precipitaciones, El Niño–Oscilación Sur, estimación, Entre Ríos (Argentina).

Abstract

The precipitations of a region (annual accumulation as well as its distribution), are the climatic variable with greatest impact on agricultural production. In recent years, interest have grown among farmers about the El Niño–Southern Oscillation (ENSO). However, although there is a usual believe that: “during the warm phase, El Niño, rainfalls are higher than average”, this expression can results ambiguous, and even false, if not contextualized in a spatio-temporal context. In this paper, rainfalls were characterized for the locations Paraná (PAR) and Lucas González (LG), in relation with the Oceanic Niño Index (ONI, quarterly index published monthly by the Climate Prediction Center –CPC– of the National Oceanic and Atmospheric Administration –NOAA–). This index showed a significant positive correlation coefficient (r between 0.5 and 0.65) with the amount of precipitation in the spring–summer quarters of both locations, even when considering the ONI from several previous months, hence making it an interesting precipitation predictor. Therefore, for the analyzed locations and the region in which they are located, the results obtained in this paper provide a tool that farmers could use for management decisions that will enable them to reduce risks by facing each year with greater certainty.

Key words: Rainfall, El Niño–Southern Oscillation, estimate, Entre Ríos (Argentina).

1. Introducción

La producción agropecuaria depende fundamentalmente del conjunto de elementos y factores climáticos predominantes en cada región y de la variabilidad de los mismos. Uno de los elementos de mayor incidencia en los rendimientos de los cultivos extensivos es la precipitación. Esta variable presenta una importante variabilidad interanual en la región pampeana, parte de la cual es explicada por el fenómeno

ENOS (Barros *et al.*, 1996; Scian 2000; Grimm *et al.*, 2000; Barros y Silvestri 2002; Vera *et al.*, 2004; Coronel y Sacchi, 2006). Dicho fenómeno es un patrón climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico tropical. En períodos que van de tres a siete años, las aguas superficiales de una gran franja del Océano Pacífico tropical, se calientan o enfrían entre 1°C y 3°C , con respecto a la temperatura normal. Esta oscilación irregular entre fases de calentamiento y enfriamiento, es conocida como el ciclo ENOS, afectando directamente a la distribución de las precipitaciones en las zonas tropicales y puede tener una fuerte influencia sobre el clima en otras partes del mundo. El Niño y La Niña son las fases extremas del ciclo ENOS; entre estas dos fases existe una tercera fase llamada Neutral (NOAA, 2013).

El “Ocean Niño Index” (ONI) es uno de los tantos índices que caracteriza el estado del fenómeno ENOS. El mismo es actualmente utilizado por el CPC (NOAA, 2013), y define operacionalmente la fase cálida del ENOS o sea El Niño cuando el promedio de tres meses de las anomalías de las temperaturas superficiales del Océano Pacífico (ATSM) en la región NIÑO 3.4 (5°N - 5°S , 120° - 170°O) es mayor o igual a $+0.5^{\circ}\text{C}$ durante cinco trimestres consecutivos. La fase fría del ENOS o La Niña ocurre cuando el promedio trimestral de las anomalías de las ATSM es menor o igual a -0.5°C durante cinco trimestres, y en el resto de los casos se determina como Neutro.

En el caso de la región pampeana argentina, el fenómeno El Niño está asociado a un incremento de las precipitaciones y el de La Niña a una disminución de las mismas (INTA, 2013).

Existen numerosos trabajos que evalúan el nivel de correlación de diversos índices que caracterizan al estado del Pacífico Ecuatorial con las precipitaciones. Dichos estudios abarcan desde escalas regionales a locales. Ropelewski y Halpert (1989) evaluaron el “Southern Oscillation Index” (SOI) encontrando que valores altos de dicho índice (fase fría del ENOS, La Niña) estaban asociados a bajas precipitaciones entre junio y diciembre para la región sudeste de Sudamérica (incluyendo Uruguay y la región pampeana argentina). Lucero (1998), citado por Travasso *et al.* (2009), analizó el mismo índice y su impacto en las precipitaciones de la provincia de Córdoba, concluyendo que éste se correlaciona en forma significativa con las precipitaciones de abril, agosto, noviembre y diciembre. Scian (2000) determinó que valores altos del SOI entre mayo y septiembre estaban asociados a bajas precipitaciones entre noviembre y diciembre para la región semiárida del oeste bonaerense y este de La Pampa. Seiler y Vinocur (2004) encontraron correlaciones significativas entre el SOI de septiembre y las precipitaciones del período octubre-diciembre en el sudeste de Córdoba. De la Casa y Nasello (2011) evaluaron siete índices, entre ellos el SOI y el ONI, con las precipitaciones en la provincia de Córdoba.

El ONI de los trimestres abril-mayo-junio (AMJ), mayo-junio-julio (MJJ) y junio-julio-agosto (JJA) presentó correlaciones positivas con las precipitaciones del semestre cálido de las localidades de Laboulaye, Marcos Juárez y Río Cuarto. Coronel y Sacchi (2006) detectaron una relación lineal importante entre las anomalías de las precipitaciones en Zavalla -sur de Santa Fe- en primavera y comienzo del verano, y la circulación del Océano Pacífico, caracterizada a través del ONI, llegando a explicar en algunos casos hasta un 36 % de la variabilidad total de las precipitaciones. A su vez, para dicha localidad, la ocurrencia de déficit y excesos de precipitaciones durante los trimestres septiembre-octubre-noviembre (SON) y octubre-noviembre-diciembre (OND) podrían anticiparse con los valores del ONI del trimestre AMJ para el primer caso y julio-agosto-septiembre (JAS) para el segundo.

Cabe destacar que otros autores han reportado influencias de las temperaturas superficiales del Atlántico sobre el comportamiento de las precipitaciones en la región sur de Sudamérica. Travasso *et al.* (2003) encontraron, para la región norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba una correlación significativa e inversa entre las anomalías de marzo a julio del “Sea Surface Temperature del Océano Sur Atlántico” (SST_SA) y las precipitaciones del período octubre-febrero. Camilloni (2006), citado por Travasso *et al.* (2009), también reportó correlación significativa de la temperatura superficial del Atlántico (5°N - 20°S) entre junio y septiembre con las precipitaciones estivales de la cuenca baja del Paraná.

El objetivo del trabajo fue determinar si existieron relaciones estadísticamente significativas entre las precipitaciones de las localidades Paraná y Lucas González y el ONI en el período 1982-2011, con fines diagnósticos y predictivos.

2. Metodología

La información de precipitaciones se obtuvo de las estaciones meteorológicas convencionales (EMC): Paraná INTA ($31^{\circ}50'S$, $60^{\circ}32'O$) y Lucas González ($32^{\circ}22'S$; $59^{\circ}31'O$) (figura 1) de la Dirección Hidráulica de Entre Ríos, para el período 1982-2011. Para reducir la variabilidad interanual de las precipitaciones, las mismas se agruparon en doce trimestres móviles solapados por año (Podestá *et al.*, 1999) quedando definidos como: diciembre-enero-febrero (DEF); enero-febrero-marzo (EFM); y así sucesivamente hasta NDE. Se determinaron los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre precipitaciones de cada trimestre y el ONI de trimestres previos. Para evaluar el comportamiento del ONI como predictor, se analizó en cada caso la significancia de r ($p < 0,05$). Se seleccionaron los trimestres en los cuales la correlación fue significativa. Para fines predictivos se eligió el ONI del trimestre que, presentando correlación significativa, permitiese tomar decisiones de manejo con anticipación a las fechas comunes de siembra de los cultivos de verano de la región.

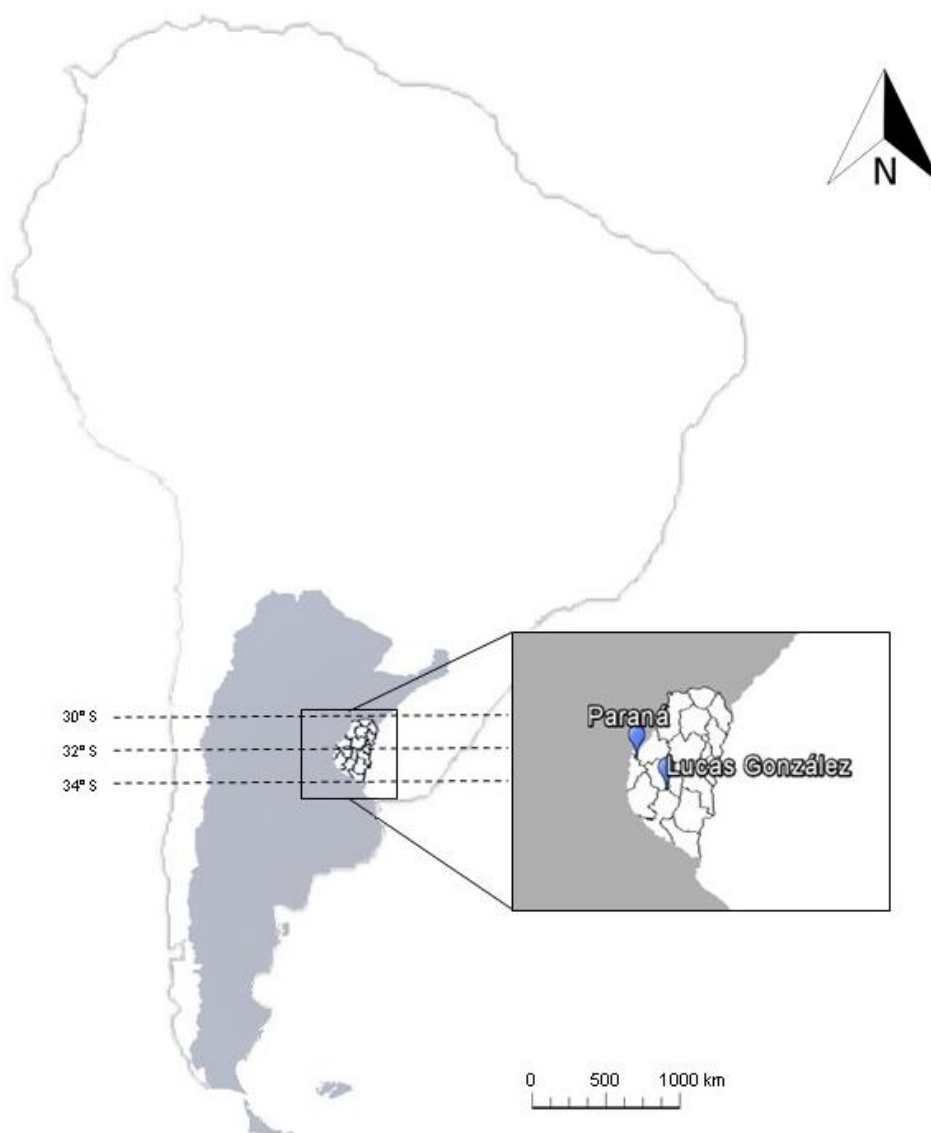


Fig. 1: Ubicación de las estaciones Paraná (PAR) y Lucas González (LG).

Para el trimestre con mayor correlación entre el ONI y las precipitaciones se graficó, para cada fase, la frecuencia acumulada de precipitación, a fin de observar las diferencias de las precipitaciones entre fases del ENOS.

Para los trimestres que presentaron correlaciones significativas, se construyó una tabla de contingencia entre las fases extremas del ENOS (Niño y Niña) y las frecuencias porcentuales de las anomalías positivas y negativas trimestrales de precipitación. Para evaluar el grado de acierto del ONI como predictor de las precipitaciones, se aplicó el test de Chi cuadrado para determinar la existencia significativa de asociación ($\alpha < 0,05$) entre la fase del ENOS y el signo de la anomalía de las precipitaciones trimestrales. Se realizó una regresión lineal entre dicho índice y las precipitaciones del trimestre con el cual presentó la mayor correlación.

3. Resultados y discusión

En la figura 2 se observan las precipitaciones medias mensuales de PAR y LG. Se observa claramente el régimen pluviométrico semimonzónico (precipitaciones concentradas en el semestre cálido sin inviernos secos) característico de la región.

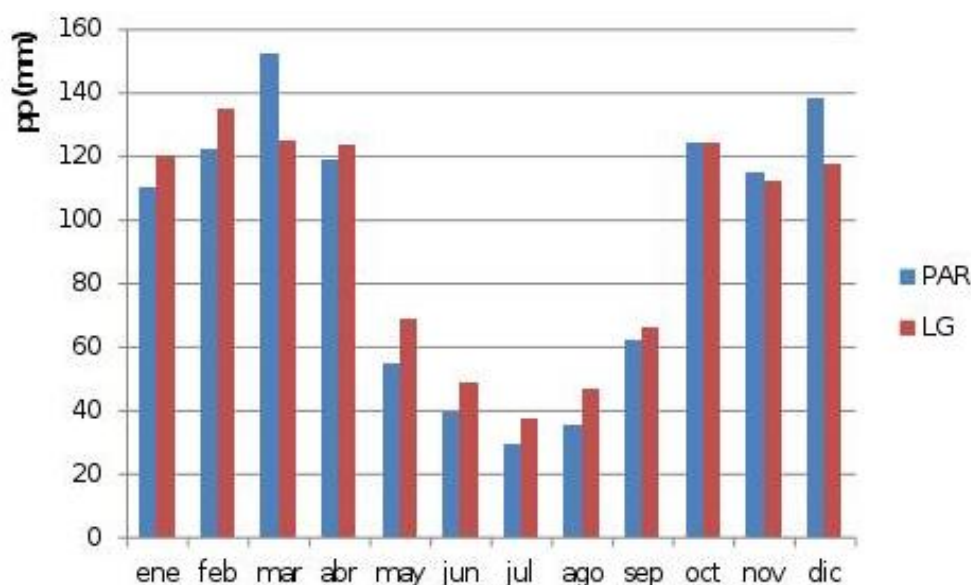


Fig. 2: Precipitaciones medias mensuales de PAR y LG (1982-2011).

El promedio de las precipitaciones anuales de ambas localidades es de 1100 mm, oscilando en ambas entre 650 y 1800 mm, observándose una importante variabilidad interanual.

En la tabla 1 se observa la distribución de fases del ENOS en función del ONI de JJA. Para el período considerado (1982-2011) ocurrieron 6 fases La Niña, 7 El Niño y 18 Neutrales.

Sólo en tres de los doce trimestres móviles las precipitaciones se correlacionaron significativamente con el ONI: OND, NDE y DEF (figura 3). El de mayor correlación fue NDE tanto en PAR como en LG (r entre 0,4 y 0,65). A su vez fue el único que presentó correlación significativa con el ONI desde AMJ. En todos los casos, la correlación aumentó al disminuir el desfase temporal entre el ONI considerado y las precipitaciones.

Las precipitaciones de OND muestran correlaciones significativas con los ONI desde MJJ en adelante con valores poco variables en PAR (0,4) y crecientes en LG (0,4-0,5). En cuanto a DEF, LG mostró correlación significativa sólo con los ONI de dos trimestres (MJJ y DEF), mientras que en PAR la correlación tuvo valores elevados y crecientes con el tiempo (0,45-0,55).

Tabla 1: Fases El Niño, La Niña y Neutro del período 1982-2011 según el ONI de JJA.

El Niño	La Niña	Neutro	
1982	1985	1983	1996
1987	1988	1984	2001
1991	1998	1986	2003
1997	1999	1989	2005
2002	2000	1990	2006
2004	2010	1992	2007
2009		1993	2008
		1994	2011
		1995	2012

Teniendo en cuenta que las precipitaciones de los trimestres OND y NDE resultan críticas para los rendimientos de los principales cultivos de verano de la región (Magrin *et al.*, 2005), y que la decisión de la selección de los cultivos estivales y fechas de siembra suele realizarse previo a septiembre o a inicios de dicho mes (donde comienza la siembra de maíz), en ambas localidades el ONI de JJA (disponible en septiembre) resulta el más adecuado como predictor de las precipitaciones de los mencionados trimestres. Esto se debe a su aceptable correlación (figura 3) y a que el mismo está disponible los primeros días de septiembre, dando tiempo suficiente para definir las decisiones de manejo más apropiadas. En función de lo antedicho se seleccionó el ONI del trimestre JJA como predictor de las precipitaciones de los meses de octubre a enero. Cabe aclarar que con el término “predictor” los autores hacen referencia a poder estimar la probabilidad de ocurrencia de anomalías positivas o negativas de precipitación y no al monto que alcancen las mismas.

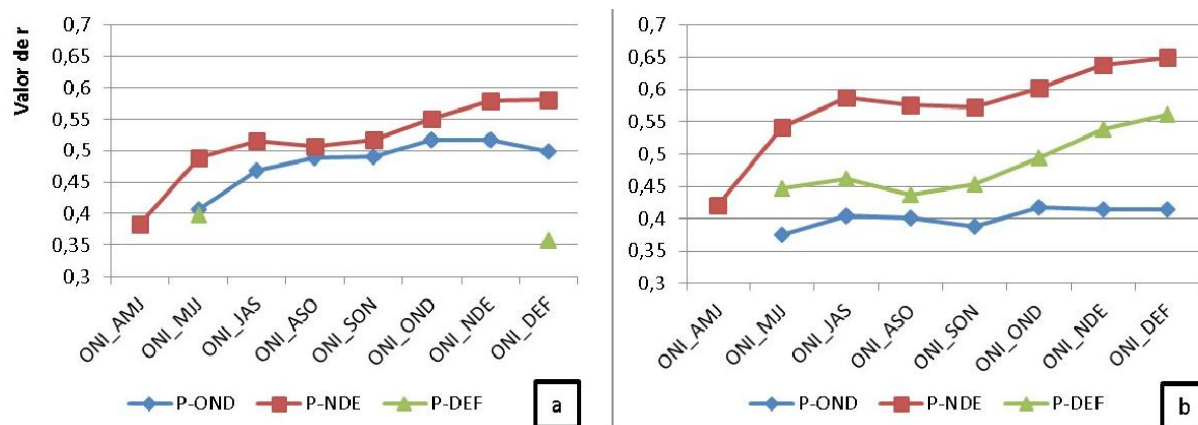


Fig. 3: Coeficientes de correlación significativos entre los ONI y las precipitaciones trimestrales de LG (a) y PAR (b).

A fin de evaluar el comportamiento del ONI de JJA como predictor, en la tabla 2 se representa el porcentaje de anomalías de precipitaciones positivas y negativas trimestrales desde octubre a febrero para cada fase del ENOS.

De la tabla 2 se destaca la mayor frecuencia de anomalías negativas en las fases La Niña para ambas localidades en todos los trimestres. La situación en la fase El Niño es inversa aunque con menores diferencias en el porcentaje de ocurrencia de anomalías positivas y negativas. Esto coincide con otros trabajos que observaron en esta región, una mayor extensión y persistencia en el tiempo de los eventos secos asociados a la fase fría del ENOS que el impacto de los eventos cálidos (Tanco y Berri 1996).

Mediante el test Chi cuadrado se observaron en PAR relaciones significativas entre la fase y el signo de las anomalías de precipitación (fase Niño asociada a anomalías positivas de precipitación y viceversa) en los trimestres NDE y DEF, mientras que en LG sólo en OND.

Tabla 2: Frecuencias porcentuales de anomalías positivas y negativas de las precipitaciones trimestrales en función de la fase del ENOS caracterizada por el valor en ONI de JJA.

		Anomalías positivas	Anomalías negativas	Anomalías positivas	Anomalías negativas	Anomalías positivas	Anomalías negativas
Paraná	Niña	17 %	83 %	17 %	83 %	17 %	83 %
	Niño	57 %	43 %	71 %	29 %	100 %	0 %
Lucas González	Niña	0 %	100 %	33 %	67 %	33 %	67 %
	Niño	57 %	43 %	57 %	43 %	71 %	29 %

En la figura 4 se presenta la regresión entre las precipitaciones de NDE y el ONI de JJA para ambas localidades cuyos R^2 son 0,27 y 0,35 para LG y PAR respectivamente. En ambas regresiones se observa cómo, con valores negativos del ONI, los residuales son de menor magnitud que con valores de ONI positivos, por lo tanto la dispersión aumenta a mayores valores del ONI.

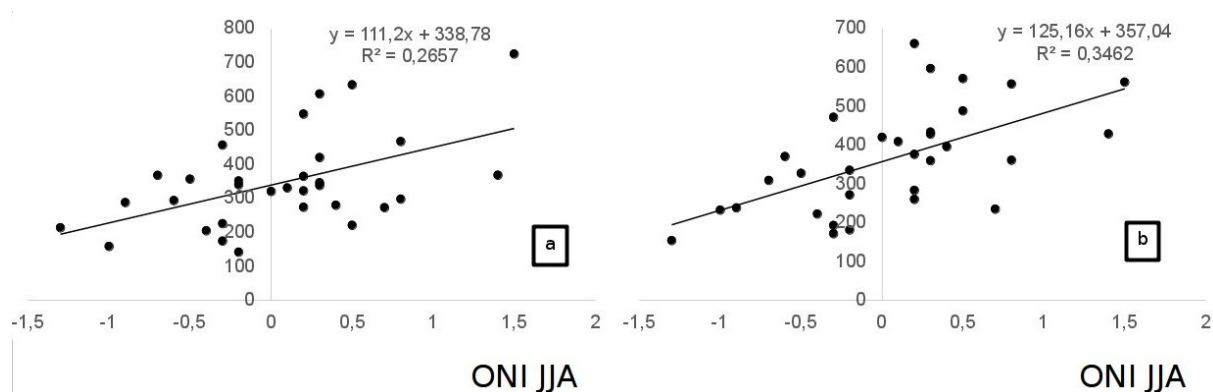


Fig. 4: Regresión lineal entre el ONI de JJA y las precipitaciones de NDE en LG (a) y PAR (b).

En la figura 5 se observan las frecuencias acumuladas de precipitación de NDE en LG y PAR discriminadas por las fases del ENOS caracterizadas por el ONI de JJA. En PAR las fases se separan de forma mucho más evidente mientras que en LG no se observa una clara diferenciación entre fases para montos bajos de precipitación (menores a 300 mm) en coincidencia con el mayor R^2 hallado en PAR (figura 3). En ambas localidades las precipitaciones de la fase La Niña son menores a la media en el 80-100 % de los años en consonancia con lo expuesto en la tabla 2. En LG la fase Neutra presenta anomalías negativas de precipitación en el 60 % de los años mientras que en PAR se da en el 50 %. Respecto a las fases El Niño, en el 70 % de los años se superó el valor medio de precipitación en PAR mientras que en LG esto sucedió sólo en el 50 % de los casos.

Las correlaciones obtenidas entre el ENOS y las precipitaciones estivales en ambas localidades bajo estudio son coincidentes con datos presentados por otros autores para esta región citados en la introducción del presente trabajo. Este estudio muestra que el ONI del trimestre JJA, es útil para proyectar el comportamiento de las precipitaciones de octubre a enero (principalmente NDE) en cuanto a si las mismas estarán por debajo o por encima de la media. En las localidades analizadas la ocurrencia de La Niña muestra una mayor asociación con anomalías negativas de precipitación que la fase El Niño con las anomalías positivas. Esta diferencia puede reflejar en la región un efecto más significativo de las fases frías del ENOS que las cálidas, resultado también encontrado por Ropelewski y Halpert (1996) y

Tanco y Berri (1996). Estos últimos autores hicieron hincapié en la importancia de los eventos fríos para la región pampeana, ya que las anomalías negativas de precipitación en esta fase mostraron una mayor extensión y persistencia en el tiempo que el impacto de los eventos cálidos. En concordancia con estos resultados, pero evaluando el ENOS con rendimientos de cultivos, se han encontrado mayores relaciones de los eventos La Niña con menores rendimientos que de los eventos El Niño asociados a mayores rendimientos (Podestá *et al.*, 1999). Por lo tanto, las decisiones de manejo deberían tener en cuenta este aspecto al hacer planteos de fertilización, siendo recomendable considerar rendimientos objetivos más conservadores para las fases La Niña. Otros criterios a tener en cuenta en función de la fase del ENOS son las fechas de siembra, elección de cultivos y variedades, densidades de siembra, buscando tomar decisiones acordes a escenarios secos en los eventos La Niña y apuntando a aumentar las inversiones en tecnologías de insumos en los eventos El Niño.

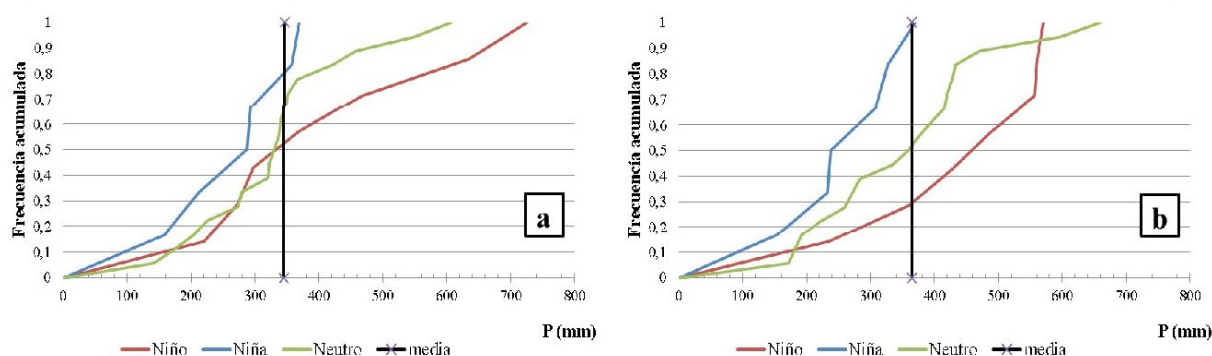


Fig. 5: Frecuencias acumuladas de precipitación del trimestre NDE en las fases Niño, Niña y Neutro definidas por el ONI de JJA en LG (a) y PAR (b).

4. Conclusiones

Se han determinado relaciones significativas entre el ONI y las precipitaciones de PAR y LG durante el período de octubre a enero. El mayor coeficiente de correlación se obtuvo para las precipitaciones de NDE, meses durante los cuales suceden los períodos críticos de los cultivos extensivos de verano. El seguimiento de la evolución de este índice permitirá a los productores de la zona, tomar decisiones respecto a las prácticas de manejo más acertadas para obtener mayores y más estables rendimientos. En el área de estudio se observó que el índice presentó su mejor comportamiento como predictor en la fase La Niña.

Si bien se seleccionó el ONI del trimestre JJA como predictor de las precipitaciones estivales, es recomendable realizar un seguimiento de la evolución posterior de dicho índice debido a la correlación creciente hallada entre éste y las precipitaciones.

5. Bibliografía

- Barros V, Castañeda ME, Doyle M (1996): Variabilidad Interanual de la precipitación: Señales del ENSO y del gradiente meridional hemisférico de temperatura. *Congremet VII*.
- Barros VR, Silvestri GE (2002): The relation between sea surface temperature at the subtropical South-Central Pacific and precipitation in Southeastern South America. *J. Climate*, 15:251-267.
- Camilloni I (2006): Short-term climate predictability of summer rainfall on the Parana Basin based on Atlantic and Pacific Sea Surface Temperatures. En: *8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)*, Foz do Iguaçu., Proceedings., São José dos Campos, INPE, pp. 711-718.
- Coronel A, Sacchi O (2006): Climatología de eventos secos y húmedos en el sur santafesino. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 9:15-24.

De La Casa AC, Nasello OB (2011): Capacidad predictiva del niño-oscilación sur (ENSO) y de otros indicadores climáticos sobre la precipitación en Córdoba, Argentina. En: *Anales Asociación Física Argentina*, 22:114-119.

Grimm AM, Barros VR, Doyle ME (2000): "Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events." *J. Climate*, 13(1): 35-58.

INTA (2013): Influencia del ENSO en el Clima. Sistema de información Clima y Agua.
http://climayagua.inta.gob.ar/influencia_delenso_en_el_clima (acceso en septiembre de 2013).

Lucero OA (1998): Effects of the southern oscillation on the probability for climatic categories of monthly rainfall, in a semi-arid region in the southern mid-latitudes. *Atmos. Res.*, 49:337-348.

Magrin GO, Travasso MI, Rodríguez GR (2005): Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*, 72:229-249.

NOAA (2013): Cold & Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center.
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml (acceso en septiembre de 2013).

Podestá GP, Messina CD, Grondona MO, Magrin GO (1999): Associations between grain crop yields in central-eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *J. of Appl. Meteorol.*, 38:1488-1498.

Ropelewski CF, Halpert MS (1989): Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2:268-284.

Ropelewski CF, Halpert MS (1996): Quantifying Southern Oscillation-precipitation relationships. *J. Climate*, 9:1043-1059.

Scian B (2000): Evidencias de la señal del SOI sobre la variabilidad de las lluvias en la Región Semiárida Pampeana. *Meteorológica*, 25:3-14.

Seiler R, Vinocur M (2004): ENSO events, rainfall variability and the potential of SOI for the seasonal precipitation predictions in the south of Cordoba-Argentina. En: *Proceedings of the 14th Conference on Applied Climatology*, WA, USA.
<http://ams.confex.com/ams/84Annual/techprogram/session16562.htm> (acceso en septiembre de 2013).

Tanco R, Berri GJ (1996): Acerca del efecto del fenómeno El Niño sobre la precipitación en la Pampa húmeda Argentina. *Actas del VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*, Buenos Aires, Argentina, Centro Argentino de Meteorólogos y Federación Latinoamericana e Ibérica de Sociedades de Meteorología, pp. 319-320.

Travasso MI, Magrin GO, Rodríguez GR (2003): Crops yield and climatic variability related to ENSO and South Atlantic Sea Surface Temperature in Argentina. En: *7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (7ICSHMO)*, Wellington, pp. 74-75.

Travasso MI, Magrin GO, Grondona MO, Rodríguez GR (2009): The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability. *Int. J. Climatol.*, 29:23-29.

Vera C, Silvestri G, Barros V, Carril A (2004): Differences in El Niño response over the Southern. *J. climate*, 17:1741-1752.