

Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina

Fernández Long, M. E.; L. Spescha, R. Hurtado y G. M. Murphy

RESUMEN

El fenómeno de "El Niño - Oscilación del Sur" (ENOS) es uno de los principales responsables de la variabilidad climática interanual, con influencia sobre la región pampeana argentina. El objetivo de este trabajo fue analizar el impacto del ENOS sobre las variaciones anuales de la producción de maíz. La región fue dividida en 10 zonas en las cuales los rendimientos tienen una variabilidad interanual homogénea. Se utilizaron diferentes índices del ENOS. Los resultados indicaron que, en la mayor parte de la región, los desvíos de los rendimientos son, en general, positivos durante eventos "El Niño" y negativos durante "La Niña". Sin embargo, el impacto es muy fuerte al norte y centro de la región analizada, y se debilita hacia el sur. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires el comportamiento es diferente que en el resto. Los índices promediados de mayo a julio son, en general, un buen indicador de la influencia del ENOS sobre la productividad de los cultivos, y brindan una adecuada información para la toma de decisiones de la empresa agropecuaria, con suficiente anticipación respecto del comienzo de la campaña.

Palabras clave: ENOS, maíz, rendimientos, región pampeana.

Fernández Long, M. E.; L. Spescha, R. Hurtado and G. M. Murphy, 2011. Impact of the ENSO on corn yields in the Argentinean pampas region. Agriscientia XXVIII: 31-38

SUMMARY

The "El Niño Southern Oscillation" (ENSO) phenomenon is one of the main responsible factor for interannual climate variability in the "pampas" region. This work aims to analyze the impact of ENSO on the annual variations of corn production. The region was divided into 10 areas in which yields have a homogeneous interannual variability. Five ENSO indexes were used. The results indicated that, in most parts of the region, the deviations of trend line yields are, in general, positive during "El Niño" events and negative during "La Niña". However, the impact is very strong in the North and Centre of the analyzed region and weakens southward. In the southeast of the province of Buenos Aires, the behavior is different than the rest. Averaging indexes from May to July we obtained a good

indicator of the ENSO impact on maize production, providing valuable information to make decisions with enough anticipation for the crop year.

Key words: ENSO, maize, corn yields, "pampas region".

M. E. Fernández Long, L. Spescha, R. Hurtado y G. M. Murphy: Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina. Correspondencia a: flong@agro.uba.ar

INTRODUCCION

El fenómeno de "El Niño, Oscilación del Sur" (ENOS) empieza a estudiarse como tal en los años 70', cuando los científicos comienzan a reconocer la relación entre el calentamiento de la superficial del océano Pacífico ecuatorial (El Niño) con las anomalías en las diferencias de presión entre el Pacífico Sur y la región de Indonesia, denominada Oscilación del Sur (OS) (Trocchi, 2010). El ENOS es considerado en la actualidad como uno de los principales responsable de la variabilidad climática interanual en varias regiones del mundo (Trenberth & Caron, 2000). La evolución del fenómeno es lenta, generalmente comienza durante la primera parte del año, y alcanza su máxima expresión hacia el final del año y comienzos del siguiente, y desaparece sobre la segunda mitad de este año. Por lo tanto el ciclo del ENOS abarca dos años consecutivos (Ahrens, 2000).

Las distintas fases del ENOS han sido asociadas a cambios en la circulación de la atmósfera con impacto en el clima global (Trenberth, 1991). Ropelewski y Halpert (1987) son los primeros en documentar la influencia del ENOS en la variabilidad interanual de la precipitación en Sudamérica. En particular en el noreste de Sudamérica existe una comprobada relación con la precipitación; los estudios muestran que en los años "Niño" la región experimenta anomalías de las precipitaciones positivas durante el periodo que va desde noviembre del año donde empieza el evento, hasta febrero del año siguiente (Ropelewski & Halpert, 1987; Barros & Silvestri, 2002; Vera *et al.* 2004).

Este fenómeno de acoplamiento entre los océanos y la atmósfera se manifiesta en variaciones en el sistema climático, que afectan la productividad de los cultivos de la región pampeana argentina (Podestá *et al.*, 1999; Hurtado *et al.*, 2003, 2005; Travasso *et al.*, 2009). Las variaciones climáticas interanuales e interestacionales se traducen en una gran variabilidad en la producción de culti-

vos y pasturas. La importancia de este tipo de estudios para el sector agropecuario consiste en avanzar hacia la planificación de las actividades productivas basándose en información que tiene una probabilidad de ocurrencia mayor que el clima (Baethgen *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo fue analizar el impacto de distintos índices del ENOS sobre la producción del maíz en la región pampeana argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron datos de rendimientos de maíz de 186 departamentos ubicados en las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba y La Pampa (Argentina), las cuales forman parte de la región pampeana, a través del Sistema Integrado de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina (SIIA, 2010), para las campañas comprendidas entre 1969/70-2004/05.

Los indicadores del fenómeno del ENOS usados fueron, el índice de oscilación del sur (SOI), el índice multivariado del ENOS (MEI), la temperatura de la superficie del mar (TSM) del océano Pacífico en la región Niño-3.4, el índice oceánico del Niño (ONI), y el índice bivariado BEST (<http://www.cdc.noaa.gov/ClimatIndices>), para la misma serie de años de los rendimientos.

Para confeccionar grupos de rendimiento de maíz departamental homogéneos, en los cuales la variabilidad interanual dentro de cada uno fuera mínima, se seleccionó en primer lugar el departamento que tuviera los mejores rindes en promedio de los últimos 10 años, tomándolo como cabecera de zona. A partir de allí, se correlacionaron todas las demás series con ésta, y se seleccionaron todas aquellas que tuvieran una correlación mayor a 0,8, quedando formada así la primera zona. Este hecho no implica que todos los departamentos incluidos posean iguales rindes, sino que la variación de los rendimientos a través de los años se

comporta de manera similar. Con el resto de las series no seleccionadas se repitió este procedimiento, y se obtuvieron un total de 10 zonas. Una vez finalizado, se realizó un análisis geográfico para comprobar que existiera una relación espacial dentro de cada zona. Aquellos departamentos que por el valor de correlación formaban parte de una zona y no quedaban geográficamente dentro, se analizaron aparte y fueron reubicados cuando la correlación con el departamento cabecera fuera superior a 0,8; de lo contrario, la serie fue suprimida del análisis. Además, se descartaron aquellas series que tuvieran más de 20% de datos faltantes, quedando así un total de 142 departamentos.

Los rendimientos de los departamentos que integran cada una de los grupos homogéneos que conforman las 10 zonas, se promediaron para cada campaña agrícola. Dado que su evolución temporal presenta una clara tendencia positiva, que en gran parte puede ser atribuida a la tecnología (Vossen, 1989; Hough, 1990), se procedió a filtrar dicha tendencia y se trabajó posteriormente con los desvíos de los rendimientos respecto de

la línea de tendencia, la cual se calculó a partir de un polinomio de tercer orden; esta metodología ha sido utilizada anteriormente con este mismo fin por diferentes autores (Thompson, 1963, 1970; Hurtado *et al.*, 2003, 2005). Debido a la gran diversidad de ambientes agroecológicos que presenta la Argentina, los calendarios agrícolas varían notablemente entre zonas. No obstante, se considera un calendario medio con siembra en octubre, período crítico entre el 15 de diciembre y 15 de enero, y cosecha a fines de marzo, según el ciclo del cultivo.

Cada una de las series de los índices del ENOS se agrupó promediando lapsos de 3, 6, 8 y 12 meses correspondientes a distintas épocas, que incluyen desde los últimos meses del año anterior ($i-1$) al de la siembra de la campaña agrícola analizada hasta los primeros del año posterior ($i+1$), pasando por diciembre del año de la siembra (i), momento en el cual en ENOS tiene su mayor intensidad. En la Tabla 1 puede observarse el total de los 48 promedios calculados para cada uno de los índices utilizados, los cuales fueron luego correlacionados con los desvíos de los rendimientos de maíz para

Tabla 1. Período de tiempo que abarcan los promedios (de anuales a trimestrales) de cada uno de los índices del ENOS usados para correlacionar con los desvíos de los rendimientos de maíz de cada una de las zonas generadas. (El año i corresponde al año de siembra de la campaña.)

Número de meses promediados	período		Número de meses promediados	período	
12 meses	Oct ($i-1$)	Sep (i)	6 meses	Ene (i)	Jun (i)
	Nov ($i-1$)	Oct (i)		Feb (i)	Jul (i)
	Dic ($i-1$)	Nov (i)		Mar (i)	Ago (i)
	Ene (i)	Dic (i)		Abr (i)	Sep (i)
	Feb (i)	Ene ($i+1$)		May (i)	Oct (i)
	Mar (i)	Feb ($i+1$)		Jun (i)	Nov (i)
	Abr (i)	Mar ($i+1$)		Jul (i)	Dic (i)
	May (i)	Abr ($i+1$)		Ago (i)	Ene ($i+1$)
	Jun (i)	May ($i+1$)		Sep (i)	Feb ($i+1$)
	Jul (i)	Jun ($i+1$)		Oct (i)	Mar ($i+1$)
	Ago (i)	Jul ($i+1$)		Nov (i)	Abr ($i+1$)
	Sep (i)	Ago ($i+1$)		Dic (i)	May ($i+1$)
8 meses	Nov ($i-1$)	Jun (i)	3 meses	Ene (i)	Mar (i)
	Dic ($i-1$)	Jul (i)		Feb (i)	Abr (i)
	Ene (i)	Ago (i)		Mar (i)	May (i)
	Feb (i)	Sep (i)		Abr (i)	Jun (i)
	Mar (i)	Oct (i)		May (i)	Jul (i)
	Abr (i)	Nov (i)		Jun (i)	Ago (i)
	May (i)	Dic (i)		Jul (i)	Sep (i)
	Jun (i)	Ene ($i+1$)		Ago (i)	Oct (i)
	Jul (i)	Feb ($i+1$)		Sep (i)	Nov (i)
	Ago (i)	Mar ($i+1$)		Oct (i)	Dic (i)
	Sep (i)	Abr ($i+1$)		Nov (i)	Ene ($i+1$)
	Oct (i)	May ($i+1$)		Dic (i)	Feb ($i+1$)

cada campaña agrícola. Por ejemplo, para correlacionar con la anomalía de los rendimientos de la campaña 69/70, se generaron promedios de índices del ENOS desde octubre de 1968 (oct i-1) hasta setiembre de 1969 (set i), en el caso del primer promedio de 12 meses, hasta medias trimestrales que finalizan con el período diciembre de 1969 (dic i) hasta febrero de 1970 (feb i+1). De esta forma se buscó determinar la mejor asociación entre las variables y establecer la época y el índice con mayor relación con la producción de la futura campaña de maíz en la región pampeana.

Una vez realizadas las correlaciones, se eligieron los máximos valores absolutos de "r" obtenidos para cada zona con el índice BEST de los distintos períodos de tiempo analizados, de manera de visualizar las zonas con mayor respuesta. Los resultados se presentan en la Figura 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra las 10 regiones homogéneas obtenidas, en las que la variabilidad interanual de los rendimientos tiene un comportamiento similar. La referencia a la homogeneidad de las regiones se basa exclusivamente en la variabilidad temporal de los rendimientos, y no en la uniformidad de otros componentes de los sistemas productivos como podrían ser el tipo y fertilidad de suelos, métodos de labranza, épocas de siembra, material genético u otros. El promedio de los rendimientos por zona en los últimos 10 años muestra que la zona 1, debido a sus condiciones edafoclimáticas, es la que presenta los mejores rindes (7300 kg/ha), seguida por la zona 2 (5800 kg/ha) y la zona 7 (5700 kg/ha). Las zonas 8 y 10 son las que registraron los rindes más bajos (4100 kg/ha aproximadamente).

En la Figura 2 se aprecia que, si bien la tendencia de los rendimientos es positiva en toda la región estudiada, cada una de las zonas homogéneas presenta un comportamiento particular que difiere del resto, por lo que se filtró la tendencia atribuida a la tecnología y se utilizaron los desvíos resultantes. Se asume que los desvíos son atribuidos, principalmente, a las condiciones meteorológicas, como se ha demostrado en trabajos anteriores (Thompson, 1963, 1970; Hurtado, 2008; Spescha, 2008).

Las correlaciones entre éstos y los promedios de distinta duración de los índices del ENOS pusieron de manifiesto la relación existente entre ambos. Cabe señalar que coeficientes de correlación (r) alrededor de 0,33 son significativos al 95% (Snedecor and Cochran, 1980), aunque este umbral puede variar ligeramente en función del número

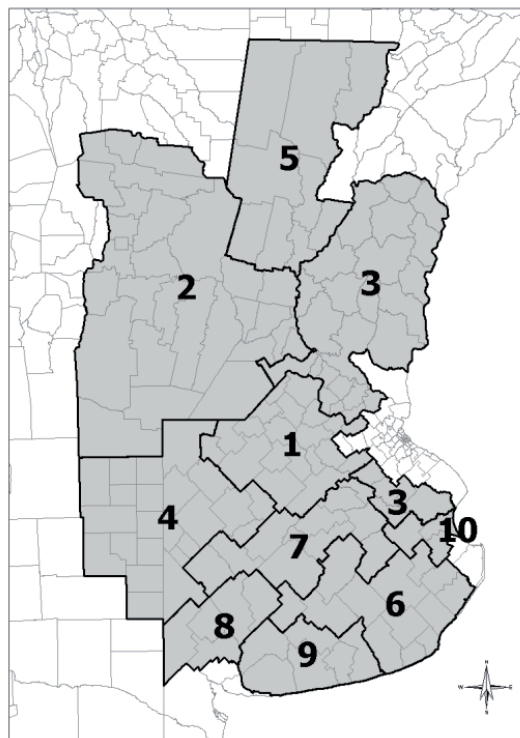


Figura 1. Agrupamiento de los rendimientos de maíz departamentales de la región pampeana argentina, en zonas homogéneas en función de una similar variabilidad interanual de los rendimientos de maíz.

de datos analizados, que no fue igual en todos los casos.

Los valores máximos de correlación encontrados entre los desvíos de los rendimientos para cada zona y los índices del ENOS, corresponden a distintos períodos de tiempo (Tabla 2). Por ejemplo, para la zona 1 los coeficientes de correlación son significativos al 99% para cualquiera de los cinco índices utilizados, destacándose el ONI y el BEST (0,61 y 0,60 respectivamente) para promedios de 12 meses entre enero y diciembre del año "i", y el MEI (0,60) para el trimestre junio-agosto del mismo año.

Los máximos valores de correlación para la zona 2 se obtienen con el índice SOI para el período mayo(i)-octubre(i) y el BEST desde mayo(i) a julio(i) con valores de -0,59 y 0,58 respectivamente. En este último caso es posible tener información estadísticamente significativa acerca del comportamiento de los rendimientos al menos un mes antes de la época normal de siembra tomando en consideración valores observados del índice. Para la zona 3 el valor máximo fue 0,54 para el ONI correspondiente al período junio(i)-agosto(i). La zona 5 con el BEST abril(i)-junio(i) o con el ONI mayo(i)-

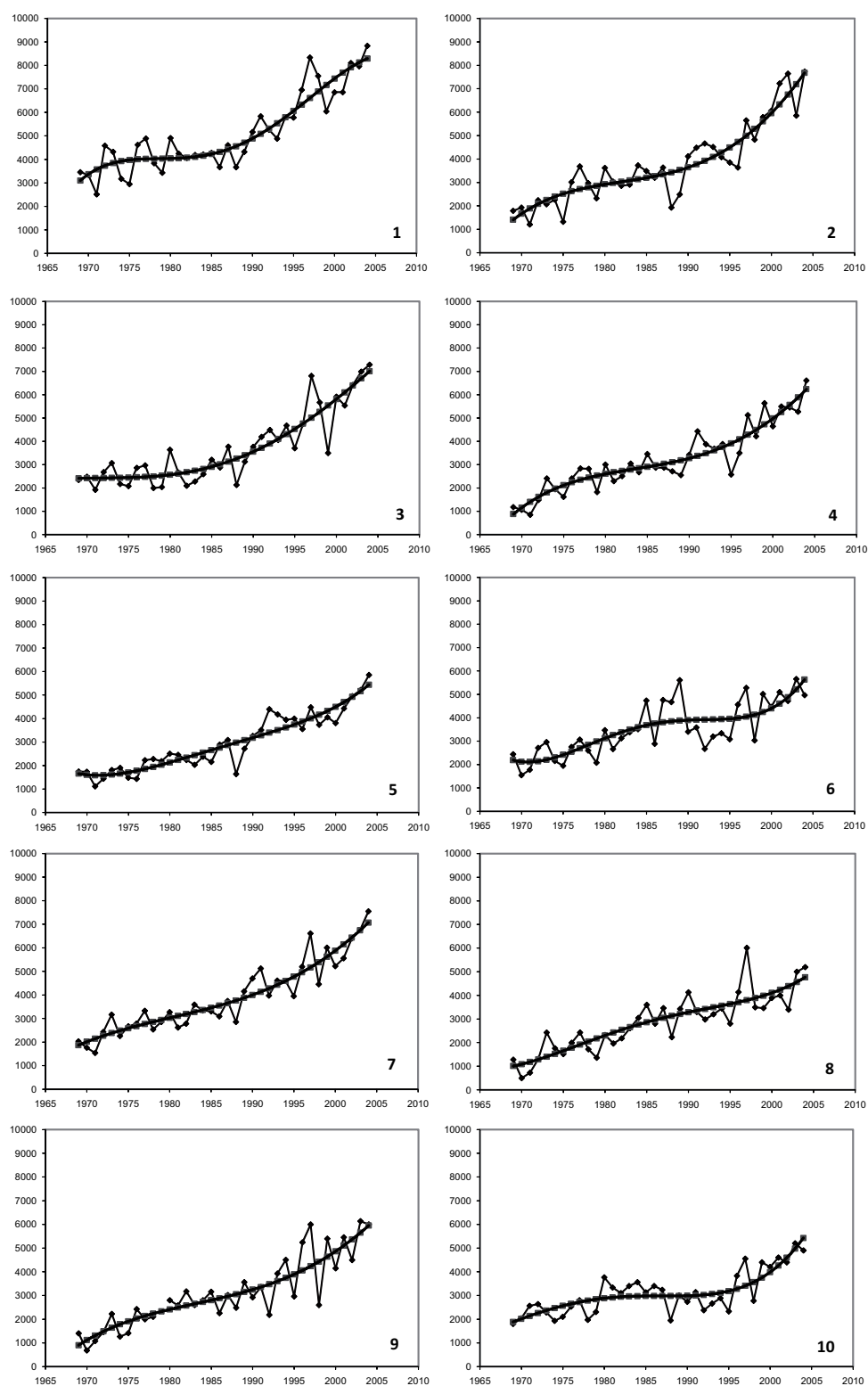


Figura 2. Rendimientos promedio de maíz para cada una de las diez zonas homogéneas representadas en la Figura 1, y el polinomio de tercer orden que marca su tendencia temporal.

Tabla 2. Máximos de correlaciones obtenidos entre cada uno de los índices y los desvíos de los rendimientos de maíz para cada zona, período al que corresponden y grado de significación (significativo al: (*) 90%; (**) 95% y (***) 99%).

Zona	MEI			ONI			SOI			SST 3.4			BEST		
	r	período		r	período		r	período		r	período		r	período	
1	0,60 ***	jun(i)	ago(i)	0,61 ***	ene(i)	dic(i)	-0,59 ***	mar(i)	oct(i)	0,59 ***	ene(i)	dic(i)	0,60 ***	ene (i)	dic(i)
2	0,48 ***	may(i)	oct(i)	0,51 ***	may(i)	jul(i)	-0,59 ***	may(i)	oct(i)	0,52 ***	may(i)	jul(i)	0,58 ***	may(i)	jul(i)
3	0,51 ***	abr(i)	nov(i)	0,54 ***	jun(i)	ago(i)	-0,50 ***	mar(i)	ago(i)	0,52 ***	mar(i)	oct(i)	0,52 ***	mar(i)	ago(i)
4	0,29 *	jun(i)	ago(i)	0,27 **	may(i)	jul(i)	-0,37 **	mar(i)	oct(i)	0,26 **	may(i)	jul(i)	0,30 *	may(i)	jul(i)
5	0,49 ***	feb(i)	ene(i+1)	0,57 ***	may(i)	jul(i)	-0,56 ***	sep(i)	nov(i)	0,56 ***	may(i)	jul(i)	0,58 ***	abr(i)	jun(i)
6	-0,30 *	ene(i)	mar(i)	-0,34 **	feb(i)	abr(i)	0,37 **	ene(i)	mar(i)	-0,35 **	mar(i)	may(i)	-0,35 **	feb(i)	abr(i)
7	0,39 **	jun(i)	nov(i)	0,44 ***	jun(i)	ago(i)	-0,41 **	ago(i)	oct(i)	0,40 **	jul(i)	sep(i)	0,41 **	jul(i)	sep(i)
8	0,31 *	jul(i)	sep(i)	0,35 *	jul(i)	sep(i)	-0,26 **	may(i)	oct(i)	0,35 **	jul(i)	sep(i)	0,30 *	jul(i)	sep(i)
9	0,24 **	sep(i)	nov(i)	0,28 *	jul(i)	sep(i)	-0,37 **	jul(i)	sep(i)	0,28 *	ago(i)	oct(i)	0,33 **	jul(i)	sep(i)
10	0,33 **	jul(i)	sep(i)	0,33 **	jul(i)	sep(i)	-0,33 **	may(i)	jul(i)	0,33 **	ago(i)	oct(i)	0,33 **	jul(i)	sep(i)

julio(i) y la zona 7 con el ONI junio(i)-agosto(i) tienen un comportamiento similar a las anteriores, aunque con correlaciones algo menores.

La zona 4 presenta coeficientes de correlación más bajos, aunque estadísticamente significativos; el mejor valor corresponde al SOI marzo(i)-octubre(i) (0,37), que indica un comportamiento como el antes descrito, pero de menor magnitud. Las zonas 8, 9 y 10 exhiben un comportamiento bastante similar entre sí; los índices que presentaron mejores valores de correlación son el SOI y el ONI. En ellas el comienzo de la respuesta a las variaciones del ENOS se produce a partir de julio aproximadamente.

Resumiendo, la zona 1 es la que presenta los coeficientes de correlación más altos con todos los índices utilizados, seguida por la 5, la 2 y la 3. En la primera, los valores de correlación son de 0,6 en promedio, mientras que para las otras tres son de algo más de 0,5. Las zonas 1 y 3 responden a periodos largos tanto como a trimestrales, mientras que el resto lo hace, principalmente, a periodos de 3 meses. En todas ellas el comienzo de la respuesta se produce, en general, a partir de mayo o junio. La zona 7 es la que sigue en orden de valores de correlación, con coeficientes alrededor de 0,4. A partir de allí las correlaciones bajan considerablemente para las zonas 10, 8, 9 y 4; aunque significativas todavía, muestran valores de 0,3 aproximadamente. La zona 6 presenta un comportamiento totalmente distinto al resto.

El cultivo de maíz en la Argentina es, en su mayoría, conducido en condiciones de secano, por lo que la principal limitación climática es la oferta de agua alrededor de la floración, es decir el período

crítico para la fijación de grano (Tollenaar *et al.*, 1992). En la región pampeana, las bajas precipitaciones del mes de enero junto con la alta demanda atmosférica, determinan una sequía climática estacional. Por otro lado, los ambientes agroecológicos son más homogéneos en la zona 1. Esta zona es la mejor región de producción de la Argentina (zona núcleo), donde se utilizan híbridos de alta calidad y tecnología de avanzada. A medida que el cultivo se extiende hacia el sur y oeste las condiciones edafo-climáticas son más desfavorables, y generan mayor variabilidad intradepartamental de los rendimientos. Estas situaciones, sumadas a que la señal del ENOS sobre las precipitación de la región pampeana se debilita hacia el sur (Barros y Silvestri, 2002), explican en parte los resultados obtenidos.

En la Figura 3 se muestran los máximos valores absolutos de correlación estadísticamente significativos obtenidos para cada zona con el índice BEST. Existe una fuerte respuesta al ENOS en las zonas del norte y centro de la región pampeana (1, 2, 3 y 5), que se debilita hacia el sur, llegando a presentar un comportamiento muy diferente en el sureste (zona 6) con valores de correlación negativos. Este resultado concuerda con lo hallado por Carnelos y Fernández Long (2008), quienes encontraron que los partidos del sudeste de Buenos Aires (Ayacucho, Balcarce, Lobería, Maipú y Mar Chiquita), pertenecientes a la zona 6, registran mayores rendimientos cuando los índices del ENOS promediados entre los meses de enero a marzo del año de la siembra son negativos y viceversa. Esto indica que para la campaña siguiente a un evento "El Niño" se esperan rendimientos menores

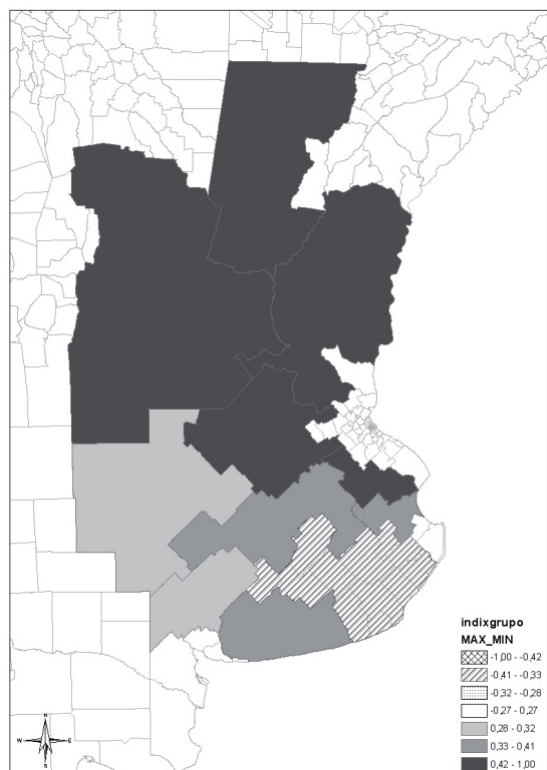


Figura 3. Máximos valores de correlación entre las anomalías de los rendimientos de maíz de cada una de las zonas y el índice BEST.

a lo normal, y luego de un año “La Niña” los rindes esperados son mayores a lo normal.

En general, los cinco índices analizados presentan una buena respuesta con variaciones de un lugar a otro. El ONI y el SOI son los que mostraron los valores más altos, y en algunos casos el BEST. El MEI fue el índice con menor respuesta, a excepción de la zona 1 donde se obtuvo un coeficiente de 0,6, casi igual a los otros índices.

Todos los índices utilizados son pronosticados con varios meses de anticipación y con un muy buen grado de precisión (Smith y Reynolds, 2003; Smith *et al.*, 2008). De esta manera es posible plantear la posibilidad de realizar la prognosis de los rendimientos de maíz, estableciendo si pueden estar por encima o debajo de la línea de tendencia, o establecer rangos, a semejanza de lo que se realiza con las perspectivas climáticas, que expresen si los rendimientos serán normales o estarán arriba o debajo de este rango. Por ejemplo, para la zona 1, al finalizar el mes de marzo sería posible tener una perspectiva de los rindes de la próxima campaña a iniciarse en setiembre, considerando el ONI ene(i)-dic(i) calculado con tres datos observados y el resto pronosticados. Durante los meses

subsiguientes podría monitorearse la evolución del índice reemplazando datos pronosticados por datos observados. Al finalizar agosto podría utilizarse también el MEI jun(i)-ago(i), determinado con valores observados, para reafirmar o no lo establecido con el índice anterior. Esta prognosis está basada en la asociación entre las variaciones de la temperatura del Pacífico ecuatorial con los rendimientos de grandes áreas de la región pampeana y puede explicar alrededor del 36% de éstos. Por lo tanto, no puede ser interpretada ni utilizada como un pronóstico de rendimientos, que dependen de otros múltiples factores, pero constituye una herramienta de gran utilidad indicativa de si el clima favorecería o no la producción de maíz en cada zona.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto UBACyT G078. Se agradece al Sr. Danilo Carneiros por su colaboración en la elaboración de los mapas.

BIBLIOGRAFIA

- Ahrens, C.D., 2000. *Meteorology today. An Introduction to weather, climate, and the environment*. Brooks Cole. 528 pp.
- 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. *Journal of climate* 15:251-267.
- Baethgen, W., 2004. *La Variabilidad Climática, el Cambio del Clima y el Sector Agropecuario*. Informe N° 12 IFDC, Oficina Regional Uruguay
- Carnelos, D. y M.E. Fernández Long, 2008. Relación del ENOS con los de rendimientos de maíz en un grupo de partidos del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas XII Congreso Argentino de Agrometeorología*. Jujuy.
- Hough, M.N, 1990. *Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland. A review for sugar beet, rape, peas, wheat, barley, oats, potatoes, apples and pears*. EUR 13039 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, 310 pp.
- 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., 2008. Relación entre el rendimiento del cul-

- tivo del trigo y el almacenaje estimado de agua en el suelo, en las cinco provincias pampeanas. Tesis de Maestría en Meteorología Agrícola. Buenos Aires, octubre de 2008, 117 pp.
- Podestá, G.; C. Messina, M. Grondona and G. Magrin, 1999. Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of applied meteorology*. Vol. 30, pp. 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.
- SIIA, 2010. Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina. (<http://www.siiia.gov.ar/>)
- Smith, T.M. and R.W. Reynolds, 2003. Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS Data (1854-1997). *Journal of Climate* 16:1495-1510.
- Smith, T.M.; R.W. Reynolds, T.C. Peterson and J. Lawrimore, 2008. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006). *J. Climate* 21: 2283-2296.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran, 1980. Statistical methods. The Iowa State Univ. Press, 507 pp.
- Spescha, L.B., 2008. Relación entre el almacenaje de agua en el suelo y los rendimientos de soja en la región oriental de secano de Argentina. Tesis de Maestría en Meteorología Agrícola. Buenos Aires, octubre de 2008, 97 pp.
- Thompson, L.M., 1963. Weather and technology in the production of corn and soybeans. C.A. E.d. Rep 17, Iowa State University, Centre for and Economic Develop.
- Thompson, L.M., 1970. Weather and technology in the production of soybeans in the central United State. *Agronomy Journal* 62:232-236.
- Tollenaar, M.; Dwyer, L.M. and K.W. Stewart, 1992. Ear and Kernel Formation in Maize Hybrids Representing Three Decades of Grain Yield Improvement in Ontario. *Crop. Sci.* 32: 432-438.
- 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.
- Trenberth, K.E., 1991. The definition of "El niño". *Bulletin of the American Meteorological* 78: 2771-2777.
- Trenberth, K.E. and J. M. Caron, 2000. The southern Oscillation Revisited: Sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *J. Climate* 13: 4358-4365.
- Troccoli, A., 2010. Seasonal climate forecasting. *Meteorological Applications*. 17: 251-268. DOI: 10.1002/met.184.
- Vera, C.; G. Silvestri, V. Barros and A. Carril, 2004. Differences in El Niño response over the Southern. *Journal of climate* 17 (9): 1741-1752.
- Vossen, P., 1989. An agro meteorological contribution to quantitative and qualitative rainy season quality monitoring in Botswana. Ph.D. thesis. Faculty of Agricultural Sciences, State University of Gent, Belgium.