

EVALUACION DEL ENSO COMO PREDICTOR DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN LA REGIÓN PAMPEANA (ARGENTINA)*

R. HURTADO; LILIANA SPESCHA; MARÍA E. FERNANDEZ LONG y G. MURPHY¹

Recibido: 23/07/03

Aceptado: 26/09/03

RESUMEN

Los desvíos de los rendimientos de maíz respecto a la tendencia, correspondientes a 177 departamentos y/o partidos de la Región Pampeana para las campañas agrícolas 1969-70 a 1999-2000, se correlacionaron con las anomalías de la temperatura de la superficie del mar de la Región El Niño 3.4 (TSM) del Pacífico ecuatorial, desde seis meses antes de la época normal de siembra hasta el fin del ciclo. El objetivo fue ubicar las áreas de la Región Pampeana que son influenciadas por dicha señal climática, la época en que la misma se manifiesta con mayor intensidad y tratar de determinar el comportamiento de los rendimientos con la mayor antelación posible. Las correlaciones más elevadas corresponden al mes de diciembre en toda la región de cultivo y el área con respuestas significativas al noroeste de Córdoba, gran parte de la provincia de Santa Fe y Entre Ríos y el norte de Buenos Aires. En esta región la señal climática más fuerte, previa a la iniciación del cultivo, corresponde al mes de julio que, en algunos partidos o departamentos, permite explicar entre el 20% y el 40% de la varianza observada de los rendimientos, y muestran que con anomalías positivas de la TSM se obtendrán rendimientos superiores a los normales.

Palabras clave. Temperaturas de la superficie del mar, rendimientos de maíz, ENSO, Región Pampeana.

AN EVALUATION OF EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) TO PREDICT CORN YIELDS BEHAVIOR IN THE PAMPA REGION (ARGENTINA)

SUMMARY

Corn yield anomalies for 177 counties of the Pampa Region for the period 1969-1970 to 1999-2000 were correlated to sea surface temperature (SST) anomalies for El Niño 3.4 region from six months before the mean sowing date until harvest time. The aims of this study were to find areas where the SST produces the strongest effect, when this occurs and to develop early predictions of corn yield behavior. The highest correlations were found in December, with statistically significant values in an area that covers northwestern part of Cordoba province, most of Santa Fe and Entre Rios provinces, and northern part of Buenos Aires province. In this area, the strongest positive relationship, before mean sowing dates, was found with July SST and accounted for between 20 to 40% of the corn yields observed variation in some of the counties. Greater than normal yields will be obtained with positive SST anomalies.

Key words. Sea surface temperatures, corn yields, ENSO, Pampa Region.

*Trabajo realizado en el marco del proyecto AG053.

¹Cátedra de Climatología Agrícola, Facultad de Agronomía, UBA, Avda. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Argentina.
E-mail: hurtado@mail.agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

El efecto de los eventos de El Niño/Oscilación Sur (ENSO) en la producción agrícola a nivel mundial se analizó en casi todos los países del mundo. Este fue analizado en el artículo de Cane (1994) donde se observó una muy alta correlación entre un índice de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial y la producción de maíz en Zimbabwe. Otros autores también encontraron relaciones estrechas entre el ENSO y rendimientos de diversos cultivos (Nicholls, 1985, 1986; Rimmington *et al.*, 1993; Rosenzweig, 1994). Las fuertes correlaciones entre ENSO y la producción agrícola fueron observadas antes con el evento de El Niño de 1982-83 (Glantz *et al.*, 1987). Handler (1984) utilizó los datos de producción para los estados en el área de granos de EE.UU., y encontró altas producciones asociadas con los eventos de El Niño y bajas producciones con los eventos de La Niña. En años más recientes Philipps *et al.*, (1996) extendieron el trabajo en el área de granos de los EE.UU., ejecutaron un análisis económico del uso de los pronósticos de ENSO para incrementar los márgenes de ganancia y disminuir el riesgo para los agricultores de maíz, Adams *et al.*, (1995) demostraron el valor de un amplio rango de pronóstico relacionado con el ENSO para la economía agrícola de la agricultura en el sureste de EE.UU.

En Perú, el pronóstico del ENSO se utilizó desde los inicios de la década del 80 para determinar la proporción del área sembrada con arroz y algodón. En la Argentina, la Región Pampeana es el área de secano más productiva, contribuyendo con el 90% del total nacional de granos. En este sistema de producción, la variabilidad de los rendimientos está estrechamente asociada a la variabilidad climática. El fenómeno ENSO es una de las principales causas de la variabilidad interanual y estacional. Sus efectos globales en los rendimientos fueron estudiados en la Argentina por Beltrán *et al.*, (1996); Messina *et al.*, (1996); Hurtado y Berry, (1998); Spescha y Berry, (1998).

La información asociada a la ocurrencia del ENSO, el cual puede pronosticarse con suficiente antelación, abre la posibilidad de planificar las decisiones para mitigar sus efectos adversos (Royce, 2002).

El maíz es uno de los cultivos de mayor difusión en la Región Pampeana. Su producción está altamente vinculada a las precipitaciones entre los meses de octubre y enero, siendo este último mes el

correspondiente a la fecha media de floración (Andrade, *et al.*, 1996).

Existe evidencia de que la precipitación estival en esta región está directamente relacionada con la temperatura de la superficie del mar (TSM) del océano Pacífico (Berri y Tanco, 1996). Esta característica hace del cultivo de maíz un caso particular de estudio interesante para explorar los efectos del ENSO en su productividad, y tratar de desarrollar un modelo de pronóstico a escala regional.

En numerosos trabajos se estudió el fenómeno ENSO como una variable discreta asignando el rótulo de años Niños, Niñas o Neutros de acuerdo a distintos índices (Kiladis y Díaz, 1989), que luego fue utilizada para relacionarlo con los rendimientos de diversos cultivos (Magrín, 1998).

Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo son conocer la relación entre el fenómeno ENSO, y la producción del cultivo de maíz en la Región Pampeana argentina e identificar patrones espaciales y temporales para evaluar su utilización en el pronóstico de rendimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de rendimientos del cultivo de maíz para 177 partidos y/o departamentos (Figura 1), correspondientes a las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe de las campañas comprendidas entre los años 1969/70 y 1999/00, información suministrada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP).

Las anomalías de las temperaturas del océano Pacífico Ecuatorial para las zonas Niño (TSM), se obtuvieron del Climate Diagnostics Bulletin editado por el Climate Analysis Center del U.S. National Weather Service.

Desde 1970 a la fecha, la producción del maíz se incrementó entre el 50 y el 100% debido a mejores técnicas de cultivo y al clima. Para separar los efectos de la tecnología, de los climáticos, se calculó su tendencia cronológica, aplicando un filtro lineal y otro polinómico de tercer grado y se la removió de la serie. Las expresiones de cálculo correspondientes a cada filtro son las siguientes:

$$\text{Filtro lineal: } T l = a \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} + b \text{ (kg ha}^{-1}\text{. año}^{-1}\text{)} \cdot (t) \quad [1]$$

$$\text{Filtro polinómico: } T p = a \cdot (t)^3 + b \cdot (t)^2 + c \cdot (t) + d \quad [2]$$

donde: $T l$ y $T p$ son la tendencia lineal y polinómica, respectivamente y t : años.

Una vez filtrada la serie con la tendencia se obtuvieron los desvíos, atribuibles a la variabilidad climática (Thompson, 1963; 1970).

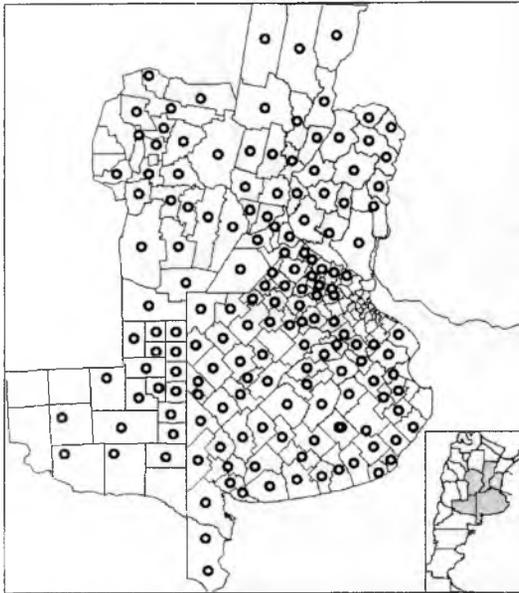


FIGURA 1. Partidos y departamentos con datos de rendimientos de maíz correspondientes a las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa.

Ambas series de desvíos se correlacionaron con las anomalías de la TSM calculadas en forma trimestral solapadas, como variable independiente, para todo el ciclo del cultivo y los 6 meses precedentes; considerando el período comprendido entre abril, correspondiente al año de siembra, hasta marzo del año de cosecha. Como fecha media de siembra se tomó el mes de octubre y de cosecha, marzo. Los coeficientes de correlación lineal (r) obtenidos se graficaron en cartas, delimitándose aquellas áreas de valores significativos al 5% según el test "t" de Student (Snedecor *et al.*, 1980).

Debido a que las correlaciones de mayor significancia se obtuvieron con las series de desvíos resultantes del filtrado con la expresión polinomial de tercer orden [2], se continuó el análisis con los mismos, desechando los residuos obtenidos con el filtro lineal [1].

Por último, con el objetivo de estudiar la influencia del ENSO a través de una variable discreta como predictora de los rendimientos; se generó una serie (NNN) en la cual se asignó un valor de 1 a los años Niño, 0 a los años neutros y -1 a las Niñas de acuerdo a la clasificación realizada por la Japanese Meteo-

rological Agency, y actualizada por el COAPS (Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies) (Cuadro N° 1). Luego se correlacionaron los datos de los desvíos de rendimientos con la serie generada.

CUADRO N° 1. Serie de años generada por los autores (NNN), de acuerdo a los diferentes eventos ENSO (período 1969/70-1999/00).

Años		
valor 1 (Niños)	valor 0 (Neutro)	valor -1 (Niñas)
1969-70	1974-75	1970-71
1972-73	1977-78	1971-72
1976-77	1978-79	1973-74
1982-83	1979-80	1975-76
1986-87	1980-81	1988-89
1987-88	1981-82	1998-99
1991-92	1983-84	1999-00
1997-98	1984-85	
	1985-86	
	1989-90	
	1990-91	
	1992-93	
	1993-94	
	1994-95	
	1995-96	
	1996-97	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las series de rendimientos de las 5 provincias analizadas presentan una tendencia positiva para toda la región (Figura 2).

El incremento anual provincial de los rendimientos obtenidos (Cuadro N° 2) es mayor en la provincia de Entre Ríos y la menor en la provincia de Córdoba.

CUADRO N° 2. Incremento anual provincial de los rendimientos.

Provincia	Incremento en kg ha ⁻¹ año
Entre Ríos	148,9
Buenos Aires	122,6
Santa Fe	122,6
La Pampa	93,4
Córdoba	81,2

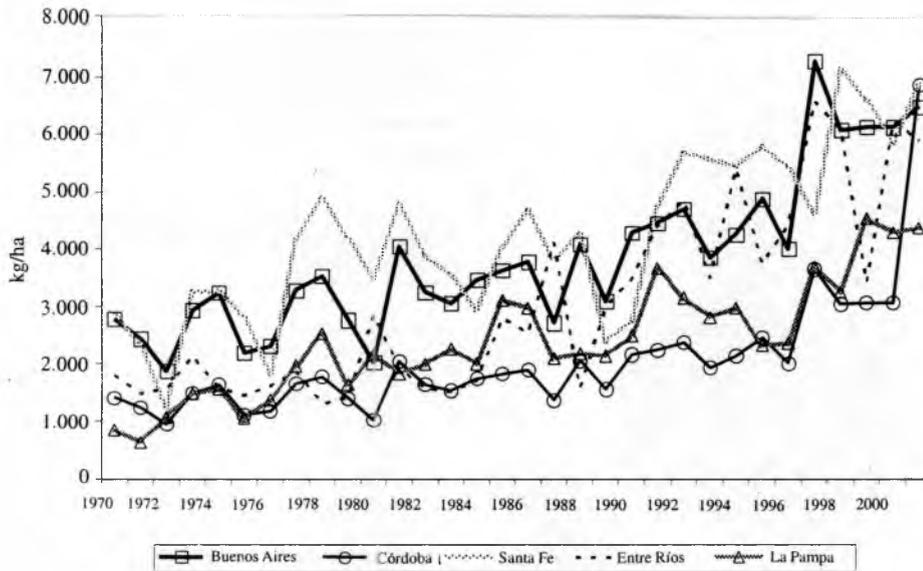


FIGURA 2. Evolución de los rendimientos provinciales de la región en estudio.

De las diferentes regiones, en el Pacífico Ecuatorial donde se toman las temperaturas de la superficie del mar, la región denominada Niño 3-4, es la que presenta mayor respuesta a la zona en estudio; por

lo tanto, las demás fueron descartadas (Hurtado *et al.*, 2000).

Para el primer análisis realizado, para el período del cultivo (octubre a marzo) donde se relacionan

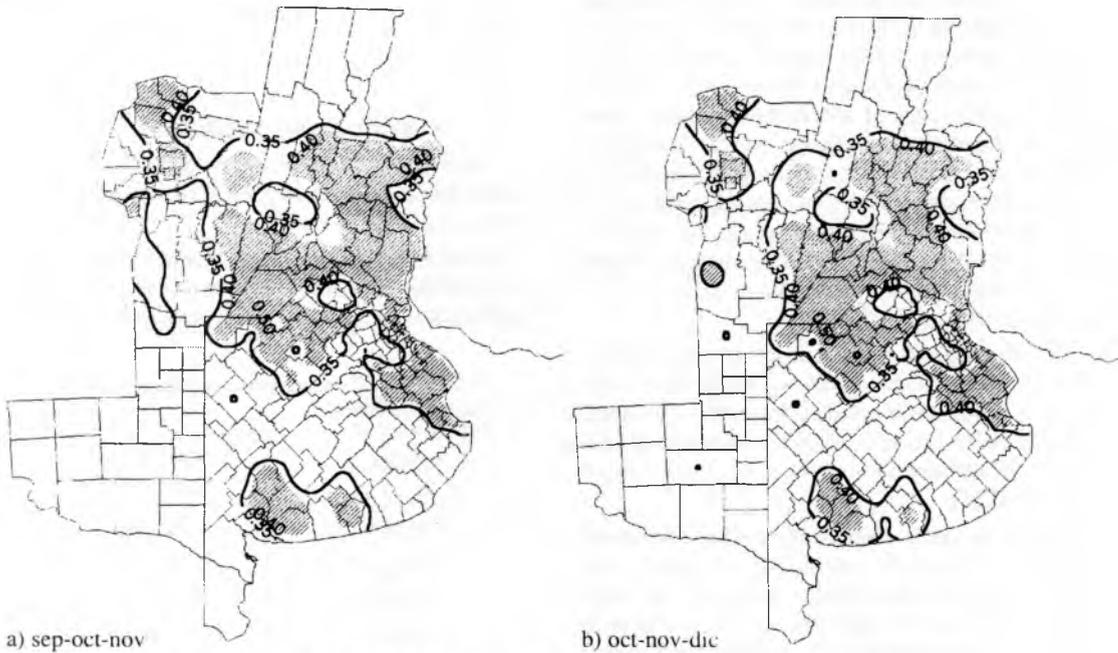


FIGURA 3. a, b, c, d, e y f. Coeficiente de correlación desde septiembre a abril.



continuación FIGURA 3. a, b, c, d, e y f. Coeficiente de correlación desde septiembre a abril.

los desvíos de los rendimientos con las anomalías trimestrales de las temperaturas de la superficie del mar (TSM), se observa que son positivos los valores con significancia estadística al 5%.

En la Figura 3 (a, b, c, d, e y f) se visualiza la distribución espacial de los valores de los coeficientes de correlación obtenidos, delimitándose con un trazo más fuerte los valores significativos al 5%.

Al observar la distribución espacial de los coeficientes se ve que la señal es más fuerte en el área comprendida entre el sudeste de Córdoba, centro-sur de Santa Fe, Entre Ríos y noreste y sur de Buenos Aires.

Para la fecha media de siembra del cultivo (Figura 3 a), se observa que la señal es muy fuerte abarcando el NW de Córdoba y gran parte de las provincias de Santa Fe y Entre Ríos y la zona maicera núcleo, incluyendo el SE de Buenos Aires.

La señal persiste desde el trimestre octubre-noviembre-diciembre (Figura 3 b) hasta diciembre-enero-febrero (Figura 3 d), período en que el área con significancia estadística va disminuyendo, concentrándose en el NW de Córdoba y el área maicera núcleo (SW de Santa Fe y norte de Buenos Aires). En los trimestres posteriores, la zona se va reduciendo considerablemente subsistiendo pequeñas porciones aisladas en la época de cosecha.

Los coeficientes de correlación, que en algunas localidades alcanzan a 0,6, indican además que el

porcentaje de la varianza explicada se encuentra entre el 35 y 40%.

En cuanto a su análisis temporal, la señal empieza a manifestarse fuertemente en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, disminuyendo su magnitud hacia el trimestre febrero-marzo-abril. Los valores más altos de correlación corresponden al trimestre noviembre-diciembre-enero (Figura 4), llegando a ser hasta de 0,6 para algunos departamentos o partidos, posiblemente debido a que en este período es cuando el evento El Niño alcanza su máxima intensidad en el Hemisferio Sur y el cultivo de maíz es más susceptible a la variabilidad climática (Andrade, *et al.*, 1996).

Para el período de los 6 meses precedentes al ciclo del cultivo, en el análisis de los desvíos de los rendimientos con las anomalías trimestrales de las temperaturas de la superficie del mar también se observan correlaciones positivas desde el mes de mayo hasta septiembre. En la Figura 5 (a, b, c, d y e) se puede observar como se va incrementando el

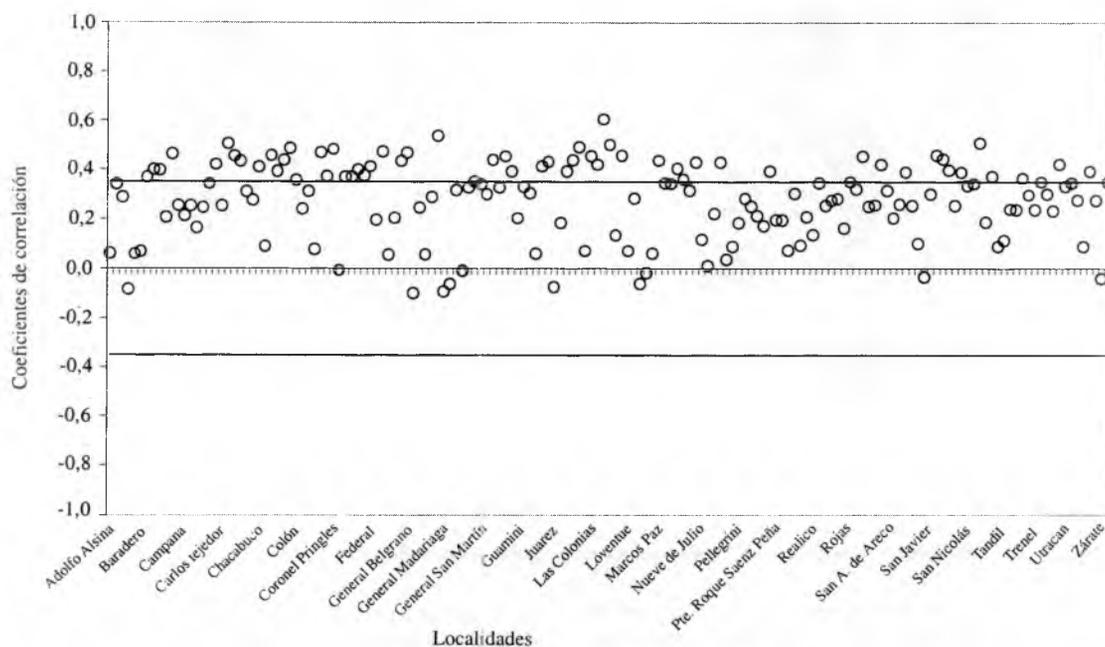


FIGURA 4. Coeficientes de correlación para el trimestre noviembre-diciembre-enero.

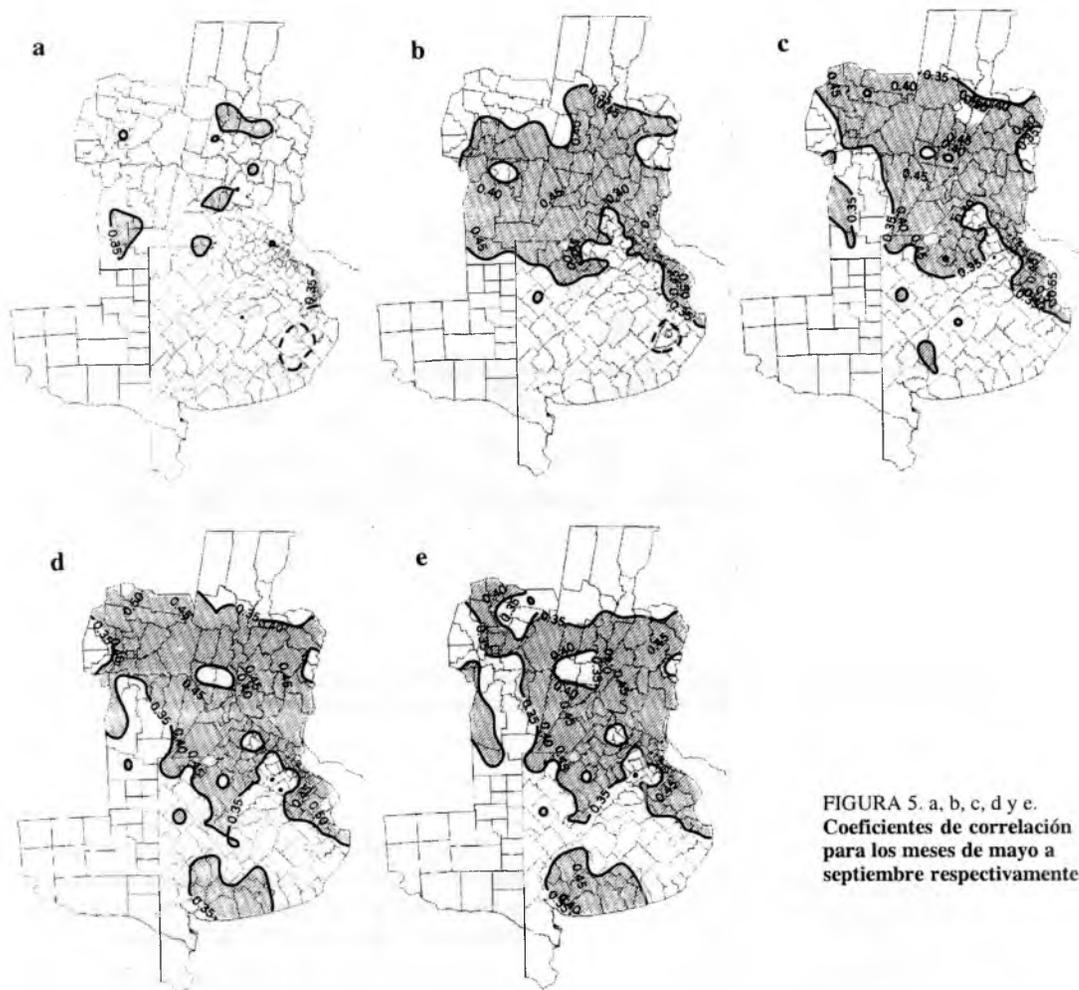


FIGURA 5. a, b, c, d y e. Coeficientes de correlación para los meses de mayo a septiembre respectivamente.

área de significancia estadística a medida que transcurre el período mencionado, siendo los meses de julio y agosto los que presentan la región con mayor superficie de significancia.

Dado que las TSM suelen pronosticarse con hasta 1 año de anticipación a partir de los valores observados previamente, es posible utilizar estas estimaciones como una de las variables a usar en la predicción de la probable evolución del cultivo y los impactos sobre la producción de granos, ya que las TSM permiten explicar entre el 12 y algo más del 40% de la variabilidad observada de los rendimientos en el mes de julio (Figura 6). Es evidente que un análisis más exhaustivo de esta variabilidad deberá con-

siderar otros factores ambientales o de manejo que afectan la productividad del cultivo, dado que las correlaciones encontradas si bien presentan magnitudes interesantes, no son suficientemente elevadas como para constituirse en el único elemento determinante de los rendimientos.

Por último, como resultado del análisis de correlación entre la serie generada (NNN) y los desvíos de los rendimientos, se obtuvo un comportamiento similar al anterior. Los coeficientes de correlación son más bajos, con muchas menos localidades con significancia estadística (Figura 7); lo cual indica que el fenómeno ENSO así analizado representa un porcentaje menor de la varianza explicada.

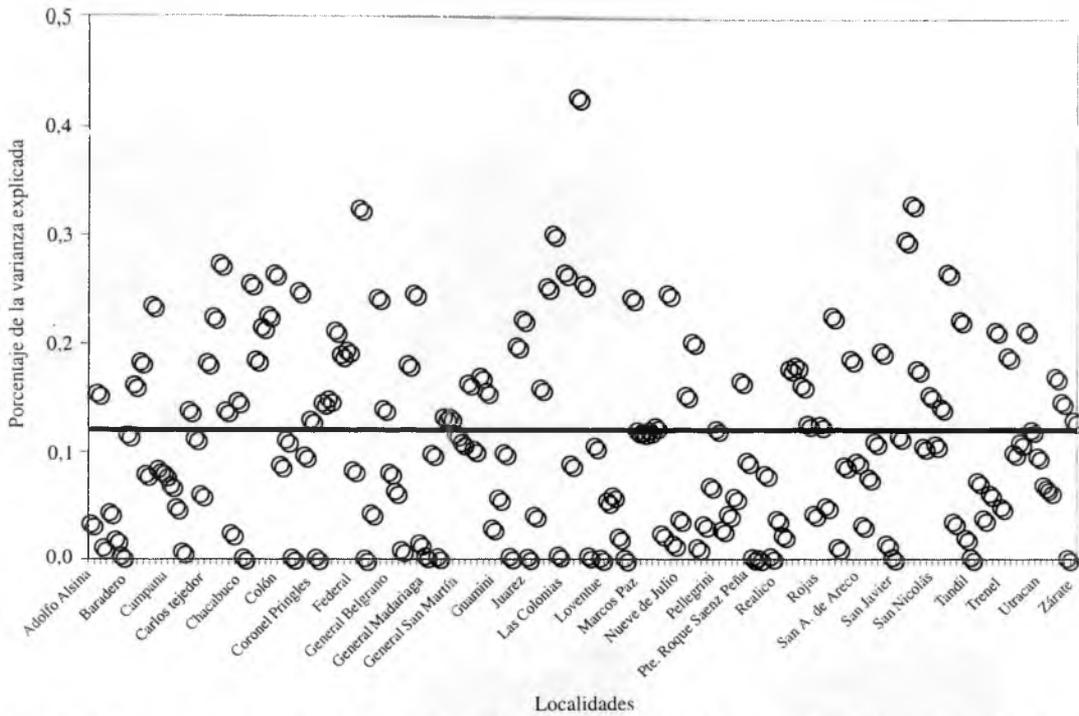


FIGURA 6. Porcentaje de la varianza explicada de la relación entre la TSM y los desvíos de los rendimientos del mes de julio. La línea continua, representa el valor a partir del cual las correlaciones tienen significancia.



FIGURA 7. Coeficientes de correlación de los desvíos de los rendimientos de maíz con la serie generada (NNN).

CONCLUSIONES

Las anomalías de la TSM de la región Niño 3-4 pueden ser utilizadas como una señal climática que permite predecir el comportamiento de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana.

Durante el ciclo del cultivo la señal más fuerte se manifiesta en el mes de diciembre, con correlaciones de hasta 0,61.

Cuando se analiza el período previo al ciclo del cultivo, se observan correlaciones significativas a partir del mes de junio hasta septiembre, siendo julio el mes que manifiesta la mayor asociación con los rendimientos.

La TSM de la región 3.4 del mes de julio puede ser utilizada como una de las variables determinantes del rendimiento del cultivo acompañando a otros factores ambientales o de manejo que afectan la productividad del cultivo.

Se obtienen mejores resultados utilizando la variable continua como la TSM en lugar de una variable discreta del tipo NNN.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, R.M.; K.J. KELLY; B.A. MCCARL; D.M. LEGLER; J. OBRIEN; A. SOLOW and R. WEIHER. 1995: Value of improved long-range weather information. *Contemporary Economic Policy* 13:10-19.
- ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barosa. 292 pag.
- BELTRÁN, A; C. MESSINA y A. RAVELO. 1996. El fenómeno ENSO: su relación con la productividad del maíz en la Región Pampeana argentina. IV Congreso Colombiano de Meteorología, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- BERRI, G. y R. TANCO. 1996. El efecto de "El Niño" en las precipitaciones estivales en la Pampa Húmeda. Taller y conferencia sobre el Niño 1997/98. Montevideo. Uruguay. Pag 6-8.
- CANE, M.; A.G. ESHEL and R.W. BUCKLAND. 1994. Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Nature* 370: 204-205.
- GLANTZ, M.; R. KATZ and M. KRENZ. 1987: *The Societal Impacts Associated with the 1982-83 Worldwide Climate Anomalies*. UCAR/UNEP: Boulder.
- HANDLER, P. 1984: Corn yields in the United States and sea surface temperature anomalies in the equatorial Pacific Ocean during the period 1868-1982. *Ag. Fo. Met.* 31: 25-32.
- HURTADO, R. y G. BERRI. 1998. Relación entre los rendimientos trigueros y el fenómeno del ENSO en la Región Pampeana, en el período 1970-1997. Publicado en CD-ROM por SBMET (Sociedade Brasileira de Meteorología). Sección Agrometeorología. 4 pag.
- HURTADO, R.; L. SPESCHA y M. FERNANDEZ LONG. 2000. Relación entre los diferentes indicadores del ENSO y los rendimientos de los cultivos en la Región Pampeana. Inédito.
- KILADIS, G.N. and H.F. DIAZ. 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 1069-1990.
- MAGRÍN, G.; M. GRONDONA; M. TRAVASSO; D. BOULLON; G. RODRÍGUEZ y C. MESSINA. 1998. Impacto del fenómeno "El Niño" sobre la producción de cultivos en la Región Pampeana. Publicación interna, INTA. 16 pag.
- MESSINA, C.; A. BELTRAN y A. RAVELO. 1996. La variabilidad interanual de los rendimientos de trigo en la Región Pampeana y su relación con el fenómeno ENSO (El Niño/Southern Oscillation). *VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. Sección Recursos hídricos-ganaderos. 55-56
- NICHOLLS, N. 1985: Impact of the Southern Oscillation on Australian crops. *J. Climatology* 5: 553-560.
- NICHOLLS, N. 1986: Use of the Southern Oscillation to predict Australian sorghum yield. *Ag. Fo. Met.* 38: 9-15.
- PHILLIPS, J.G.; C. ROSENZWEIG and M. CANE. 1996. Exploring the potential for using ENSO forecasts in the U. S. Corn Belt. *Drought Network News*. 8(3):6-10.
- RIMMINGTON, G.M. and N. NICHOLLS. 1993: Forecasting Wheat Yields in Australia with the Southern Oscillation Index. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 625-632.
- ROSENZWEIG, C. 1994: Maize suffers a sea-change. *Nature* 370:175-177.
- ROYCE, F.S. 2002. A systems approach to ENSO-based crop management with applications in Argentina, Costa Rica and Mexico. Adisertation presented to the graduate school of the University of Florida. 272 pag.
- SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN. 1980. Statistical methods. The Iowa State University Press, 507 pag. USA.
- SPESCHA, L. y G. BERRI. 1998. Acerca del efecto de El Niño sobre los rendimientos de la soja en la Región Pampeana Argentina Publicado en CD-ROM por SBMET (Sociedade Brasileira de Meteorología) Sección Agrometeorología. 4 pag.
- THOMPSON, I.M. 1963. Weather and tecnologia in the production of corn and soybeans C.A.E.d. Rep 17, Iowa State University, Center for and Economic develop.
- THOMPSON, I.M. 1970. Weather and tecnologia in the production of soybeans in the central United State. *Aayron J.* 62: 232-236.