

ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD DE DISTINTOS ÍNDICES DEL ENSO PARA EXPLICAR LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN LA REGIÓN PAMPEANA*

R. HURTADO; L. SERIO; LILIANA SPESCHA; MARÍA ELENA FERNÁNDEZ LONG y G. MURPHY¹

Recibido: 16/12/04

Aceptado: 20/04/05

RESUMEN

El fenómeno ENSO (El Niño Oscilación del Sur) tiene repercusión en el sistema climático, siendo también una de las principales causas de la variabilidad interanual y estacional en la producción de cultivos. Los efectos globales sobre los rendimientos y la producción de alimentos abren las posibilidades de planificar las decisiones para potenciar sus impactos benéficos y mitigar los adversos; por lo cual el objetivo del presente estudio fue comparar varios índices que caracterizan al ENSO y determinar cuál o cuáles resultan mejores como indicadores de la variabilidad de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana de la Argentina.

Se determinó que dentro de la Región Pampeana existen áreas donde todos los índices analizados presentan una señal sobre los rendimientos de maíz, pero que evolucionan de manera diferente desde el punto de vista espacial y temporal; poniendo de manifiesto que durante los eventos cálidos los rendimientos tienden a incrementarse y durante los eventos fríos a reducirse. Entre los índices analizados, el MEI, el SOI y la SST presentan la ventaja de que sus pronósticos están ampliamente difundidos, pudiendo entonces ser utilizados como otra herramienta para la planificación del cultivo.

Palabras clave. El Niño-Oscilación del Sur, maíz, Región Pampeana.

SENSIBILITY ANALYSIS OF DIFFERENT ENSO INDEXES TO EXPLAIN CORN YIELDS IN THE ARGENTINE PAMPAS

SUMMARY

The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) has repercussion in the climatic system but also in crop production systems, being one of the main causes of their interannual and seasonal variability. The global effects on yields and food production bring possibilities to plan decisions to capitalize their beneficial impacts and to mitigate the adverse ones. That is why the objective of the present study was to compare several indexes used to characterize the ENSO and to determine which of them are better as indicators of corn yield variability in the Argentine Pampas.

It was determined that in the Pampas exist areas where all the analyzed indexes present a signal on corn yields, but them evolves in a different way from spacial and temporal point of view; showing that yields tend to be increased (decreased) during warm (cold) events. Among the analyzed indexes, the MEI, SOI and SST present the advantage that their prediction are broadly diffused, then they are able to be used as another tool for crop planning.

Key words. El Niño-Southern Oscillation, corn, Argentine Pampas.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno ENSO (El Niño Oscilación del Sur) es una manifestación natural de la variabilidad del clima, que ocurre como consecuencia de la inte-

racción entre el océano y la atmósfera en el océano Pacífico tropical. Presenta dos fases conocidas y contrastantes que afectan al sistema climático global. Una de ellas es la fase cálida, conocida como

*Trabajo realizado en el marco del proyecto, UBACyT G69, 2004-2007.

¹Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina. hurtado@agro.uba.ar

El Niño, y su manifestación más llamativa es el aumento de la temperatura de la superficie del mar en una extensa área del Pacífico ecuatorial, acompañada por el cambio en las presiones atmosféricas y en la intensidad de los vientos. La fase opuesta, conocida como La Niña, presenta temperaturas inferiores a la media climatológica de la superficie del mar del Pacífico tropical central y oriental. Este fenómeno de acoplamiento tiene su repercusión no sólo en el sistema climático sino también en la producción de cultivos, y es una de las principales causas de la variabilidad interanual y estacional de los rendimientos en la Argentina (Messina *et al.*, 1996a, 1996b; Hurtado y Berri, 1998; Spescha y Berri, 1998, Hurtado *et al.*, 2003).

Los efectos globales sobre los rendimientos y la producción de alimentos abren las posibilidades de planificar las decisiones para potenciar sus impactos benéficos y mitigar los adversos.

El sur de Sudamérica es una de las regiones extratropicales más afectadas por los ciclos del ENSO, principalmente por la fuerte variabilidad en las precipitaciones asociadas a ambas fases (Grimm *et al.*, 2000).

Para clasificar si un evento es considerado Niño, Niña o Neutro, se han usado diferentes criterios, la mayoría de ellos basados en la magnitud de algunas variables que intervienen en el fenómeno, como presión, temperatura de la superficie del mar, viento y nubosidad, para determinadas subregiones del Pacífico ecuatorial. Según estudios de sensibilidad, el índice recomendado para utilizar en cada caso dependerá de la fase del ENSO que requiera ser estudiada (Hanley *et al.*, 2003).

Para estudiar las correlaciones entre ENSO y rendimientos, estos índices son comúnmente tomados como variables discretas (1=Niño, 0=neutro, -1=Niña) (Magrín *et al.*, 1998). Sin embargo, para tener en cuenta la intensidad del fenómeno, se requiere usar los índices como variables continuas.

El objetivo del presente estudio es comparar varios índices comúnmente usados para caracterizar el ENSO y determinar cual o cuales explican la variabilidad de los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron datos de rendimiento del cultivo de maíz para 177 distritos (partidos o departamentos) correspondientes a las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba. Entre Ríos y Santa Fe de las campañas 1969/70 a 2001/02, información suministrada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA). Debido al incremento de los rendimientos a través del tiempo, causado por el avance tecnológico, se removió la tendencia aplicando un filtro polinómico de tercer orden a cada uno de las series y se obtuvieron así las anomalías anuales de los rendimientos.

Los índices utilizados fueron seleccionados entre los publicados por el "Climate Prediction Center" (NOAA, 2004). La selección se hizo intentando cubrir los distintos aspectos del fenómeno ENSO, sin categorizar los eventos y para todo el año. Ellos son:

SST ("Sea Surface Temperatura"). Anomalías mensuales de temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3-4 (5°N-5°S; 170-120°W), período 1969-2002, por ser esta región la que presenta mejor asociación con la variabilidad de los rendimientos para maíz en la región pampeana (Hurtado *et al.*, 2003).

SOI ("Southern Oscillation Index"). Anomalías mensuales del Índice de Oscilación del Sur, período 1969-2002. Es un índice estandarizado, calculado a partir de las diferencias de presión entre Tahití y Darwin (Australia). Los valores negativos sostenidos del SOI se asocian a la fase cálida del ENSO y a una disminución de la intensidad de los vientos alisios.

OLR ("Outgoing Longwave Radiation"). Anomalías mensuales de la radiación de onda larga saliente en el Ecuador (160°E-160°W), período 1979-2002. Mide la actividad convectiva, aumentando donde el mar está más caliente, y modifica la posición del jet subtropical por el mecanismo de teleconexión en la atmósfera. Valores negativos indican la fase cálida del ENSO.

U200. Anomalías mensuales de la componente zonal del viento en el Ecuador en el nivel de 200 hPa (165-110°W), período 1979-2002. Indica los cambios que sufre la circulación de la celda de Walker, cuya rama en superficie son los vientos alisios del Pacífico. Valores negativos indican la fase cálida del ENSO.

MEI ("Multivariate ENSO Index"), Anomalías mensuales, período 1969-2002. Índice que combina el efecto de 6 variables del sistema acoplado océano-atmósfera: presión a nivel del mar, componentes zonal y meridional del viento en superficie, temperatura de superficie del mar, temperatura del aire en superficie y cobertura nubosa. Se computa para cada una de las doce estaciones bimensuales (diciembre-enero, enero/febrero, etc.), asignando el valor al segundo mes del bimestre. Valores positivos indican la fase cálida del ENSO.

Las anomalías anuales de los rendimientos de maíz en las cinco provincias pampeanas se correlacionaron con los diferentes índices seis meses antes de la siembra media (abril) hasta la fecha media de cosecha (marzo). En mapas de la región en estudio, se delimitaron las áreas donde los coeficientes de correlación (r) obtenidos resultaron significativos al 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 a 5 se observa que las áreas donde existe una correlación significativa entre los desvíos de los rendimientos de maíz y los índices del ENSO, varían temporalmente y según el índice considerado.

En la Figura 1 se observa que el mes donde es mayor el área con significancia estadística (ASE) entre las anomalías del rendimiento y el índice SST

(ASE_{SST}) es junio. El área abarca norte y este de Córdoba, centro y sur de Santa Fe, noroeste de Buenos Aires y casi todo Entre Ríos. En esta región, todos los valores r son positivos y el máximo fue de 0,58 en el departamento de San Justo (Córdoba) en el mes de junio. A partir de allí, esta área comienza a reducirse de oeste a este, a la vez que disminuyen los valores de r . Al mismo tiempo, comienza a visualizarse otra ASE_{SST} en el sur de Buenos Aires, donde r alcanza un valor máximo de 0,49 en Coronel Pringles y Coronel Dorrego, pero en el mes de septiembre.

En la Figura 2 se presenta el área con significancia estadística entre las anomalías del rendimiento y el índice SOI (ASE_{SOI}). Se observa que a partir del mes de abril el ASE_{SOI} abarca gran parte de Entre Ríos, centro y sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires. A diferencia del índice anterior, en los meses siguientes el área se desplaza hacia el oeste. A par-



FIGURA 1. Áreas con significancia estadística para la correlación entre desvíos de los rendimientos de maíz y el índice SST para los meses de: a) abril; b) junio; c) agosto; d) octubre; e) diciembre y f) febrero.

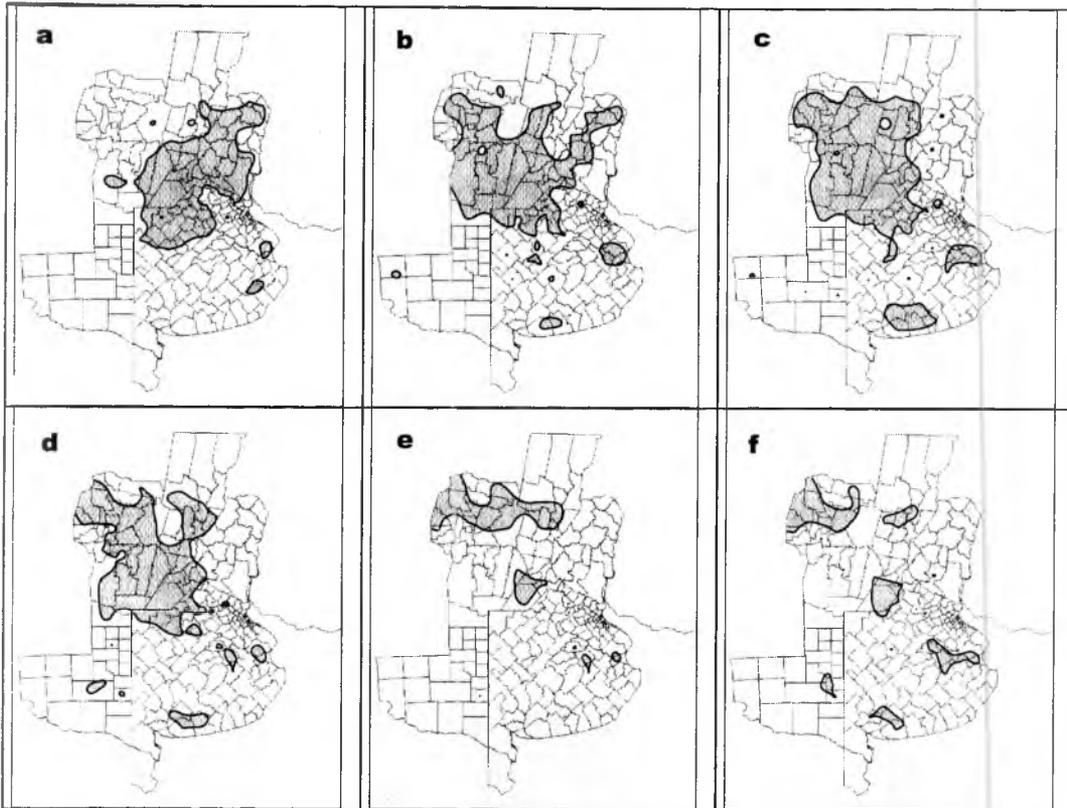


FIGURA 2. Áreas con significancia estadística para la correlación entre desvíos de los rendimientos de maíz y el índice SOI para los meses de: a) abril; b) junio; c) agosto; d) octubre; e) diciembre y f) febrero.

tir de agosto ya no se observa señal en Entre Ríos, pero si en Córdoba. En esta región, todos los valores de r son negativos y los máximos oscilan entre agosto y septiembre, siendo de -0,59 para San Justo (Córdoba) en agosto y -0,66 en General López (Santa Fe) en septiembre. Al igual de lo que ocurre con la SST, en el sur de Buenos Aires se ve una señal entre los meses de junio y octubre. En julio para Coronel Pringles, r alcanza un valor máximo de -0,49.

La Figura 3 muestra el área con significancia estadística entre las anomalías del rendimiento de maíz y el índice MEI (ASE_{MEI}). A partir de junio aparece una señal que abarca Entre Ríos, sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires. Esta se extiende luego al norte de Córdoba y más tarde (octubre) al sudeste de la misma provincia. En esta región, todos los valores r son positivos y los máximos varían entre el mes de julio (0,59 en Rojas, Buenos Aires) y octubre (0,55 en General López,

Santa Fe). Con este índice también hay una señal en el sur de Buenos Aires, pero el área es mucho menor que la observada con los índices anteriores.

En la Figura 4 se presenta el área con significancia estadística entre las anomalías del rendimiento de maíz y el índice OLR (ASE_{OLR}). A partir del mes de abril el índice tiene señal en una importante área situada fundamentalmente en Entre Ríos, sur de Santa Fe, noroeste de Buenos Aires y este de Córdoba. En junio, ASE_{OLR} se extiende hacia el norte y el oeste. Se destaca, además, una nueva ASE_{OLR} en el oeste de Buenos Aires, siendo éste el único índice que muestra este comportamiento. En agosto, el ASE_{OLR} se extiende aun más, llegando al sur de Buenos Aires. Todos los valores de r son negativos y los máximos oscilan entre julio (-0,64 en San Justo, Córdoba) y septiembre (-0,59 en General López, Santa Fe). Al oeste de Buenos Aires se alcanzan valores de r de -0.50 para Guaminí y Trenque



FIGURA 3. Áreas con significancia estadística para la correlación entre desvíos de los rendimientos de maíz y el índice MEI para los meses de: a) abril; b) junio; c) agosto; d) octubre; e) diciembre y f) febrero.

Lauquen en julio, mientras que al sur el máximo es también de $-0,50$, en Coronel Pringles correspondiente al mes de septiembre.

Por último, la Figura 5 muestra el área con significancia estadística entre las anomalías del rendimiento de maíz y el índice U200 (ASE_{U200}). El comportamiento de este índice difiere de los anteriores, ya que durante los primeros meses (abril a junio) el ASE_{U200} no presenta una secuencia creciente o decreciente. Recién a partir de octubre, la señal se estabiliza en el centro y sur de Santa Fe, este de Córdoba, oeste de Entre Ríos y noroeste y sur de Buenos Aires. Todos los valores de r son negativos y los máximos varían entre el mes de octubre ($-0,68$ en San Justo, Santa Fe) y noviembre ($-0,63$ en General López, Santa Fe). En el sur de Buenos Aires el máximo corresponde a Coronel Suárez, con $-0,56$ en noviembre.

Comparando los distintos índices analizados, los signos de las correlaciones indican siempre que existe una mayor probabilidad de obtener mayores (menores) rendimientos durante eventos cálidos (fríos), tal como lo encontrado por Magrin, *et al.*, (1998). Esto podría deberse a una mayor disponibilidad de agua edáfica como consecuencia de la ocurrencia de precipitaciones por encima de lo normal (Grimm *et al.*, 2000).

Cada uno de los índices en estudio, se manifiesta con mayor extensión espacial en diferentes meses. La SST presenta la máxima extensión en junio, OLR y SOI en agosto, MEI en octubre y U200 en diciembre. El índice de mayor respuesta espacial es OLR, en el mes de agosto, seguido por SST en junio.

A partir de agosto se observa una distribución espacial similar, para la señal de la SST y el MEI (Figuras 1 y 3, desde c hasta f). Sin embargo, la se-

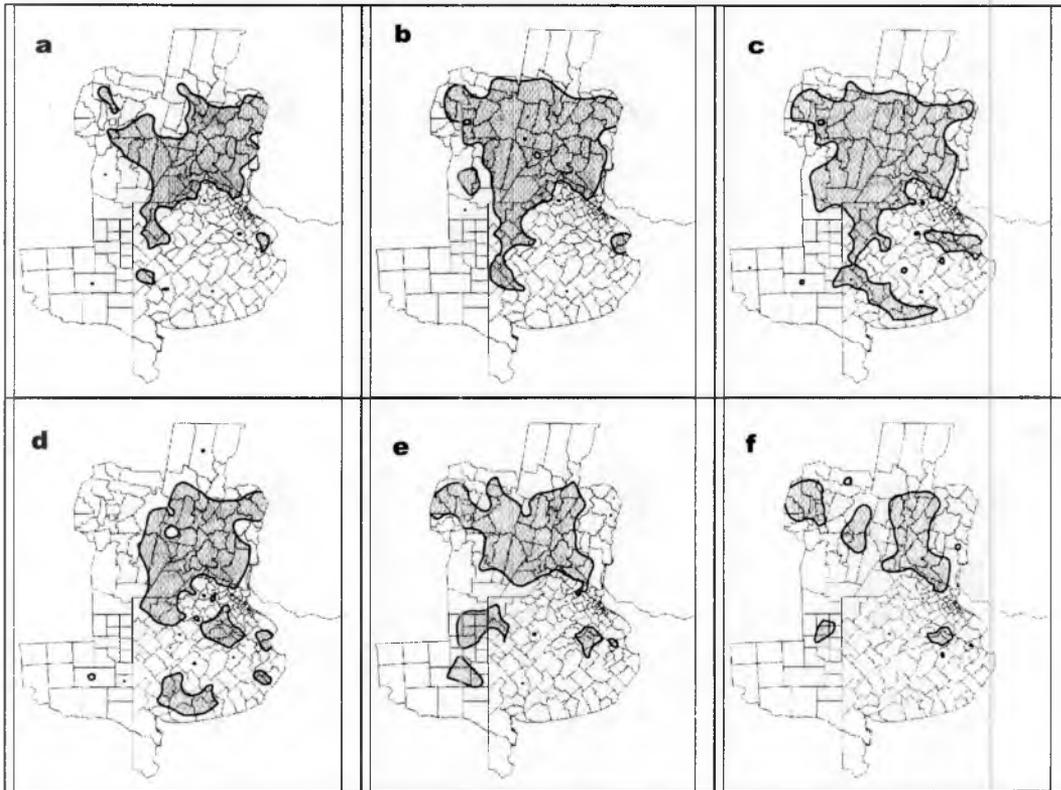


FIGURA 4. Áreas con significancia estadística para la correlación entre desvíos de los rendimientos de maíz y el índice OLR para los meses de: a) abril; b) junio; c) agosto; d) octubre; e) diciembre y f) febrero.

ñal de la SST comienza a manifestarse antes (junio), principalmente al norte de la región en estudio (Figuras 1b y 3b). La señal del SOI y la OLR se manifiesta en el mes de abril en la misma región (figuras 2a y 4a), pero luego evolucionan de manera totalmente diferente y ya en octubre ambas regiones están bien diferenciadas (figuras 2d y 4d). Al inicio del ciclo medio del cultivo, todos los índices presentan alguna señal, aunque en distintas áreas. Sin embargo, U200 es el único índice que se manifiesta durante todo el ciclo.

CONCLUSIONES

Dentro de la Región Pampeana existen áreas donde todos los índices analizados presentan correlación significativa con los desvíos de los rendi-

mientos de maíz. Pero cada índice en particular presenta una señal que evoluciona de manera diferente desde el punto de vista espacial y temporal.

El signo de las correlaciones indica que durante los eventos cálidos (fríos) tienden a incrementarse (reducirse) los rendimientos. Resultados similares fueron encontrados, entre otros, por Magrín *et al.*, (1998) y Podestá *et al.*, (1999). Sin embargo, el hecho de haber utilizado a los índices como variables continuas, permite concluir que los rendimientos de maíz en esta región no sólo están correlacionados con la ocurrencia del fenómeno ENSO, sino también con su intensidad.

Entre los índices analizados, MEI, SOI y SST presentan la ventaja de que sus pronósticos están ampliamente difundidos, pudiendo entonces ser utilizados como otra herramienta para la planificación del cultivo.



FIGURA 5. Áreas con significancia estadística para la correlación entre desvíos de los rendimientos de maíz y el índice U200 para los meses de: a) abril; b) junio; c) agosto; d) octubre; e) diciembre y f) febrero.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.; M. BOURASSA; J. O'BRIEN; S. SMITH and E. SPADE. 2003. A quantitative evaluation of ENSO indices. *J. Climate* 16: 1249-1258.
- 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. X Congreso Brasileiro de Meteorologia. Brasilia, Brasil. Publicado en CD-ROM por SBMET.
- HURTADO, R.; L. SPESCHA; M. FERNANDEZ LONG y G. MURPHY. 2003. Evaluación del ENSO como predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Argentina). *Rev. Fac. Agronomía UBA*, 23 (2-3): 131-140.
- MAGRIN, G.; M. GRONDONA; M. TRAVASSO; D. BOULLON; G. RODRIGUEZ y C. MESSINA. 1998. Impacto del fenómeno «El Niño» sobre la producción de cultivos en la Región Pampeana. Publicación interna. Instituto de Clima y Agua, INTA. 16 p.

- MESSINA, C.; A. BELTRÁN y A. RAVELO. 1996a. 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, 236-241.
- MESSINA, C.; A. BELTRÁN y A. RAVELO. 1996b. La variabilidad interanual de los rendimientos de trigo en la región pampeana y su relación con el fenómeno ENSO. VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Buenos Aires, Argentina, 55-56.
- NOAA - CLIMATE PREDICTION CENTER. 2004. Monthly Atmospheric and Sea Surface Temperatures Indices. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/index.html>
- SPESCHA, L. y G. BERRI. 1998. Acerca del efecto de El Niño sobre los rendimientos de la soja en la región pampeana argentina. X Congresso Brasileiro de Meteorología. Brasilia, Brasil. Publicado en CD-ROM por SBMET.