INFLUENCIA DE EPISODIOS EI NIÑO-OSCILACIÓN SUR (ENOS) SOBRE LA PRECIPITACIÓN Y EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

The influence of El Niño Southern Oscillation (ENSO) episodes on rainfall and corn yields in Cordoba province, Argentina

Antonio Carlos de la Casa¹ *y Gustavo Gabriel Ovando¹

ABSTRACT

Studies of the influence of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon on atmospheric conditions of different regions, have determined characteristic trends in rainfall patterns of El Niño and La Niña years. The possibility of anticipating those conditions by using the Southern Oscillation Index (IOS), or other indicators, has created the expectation of using this information for forecasting. An analysis of quarterly and semestral rain information of six localities of Cordoba province, and of the entire region (Zona), verified the inverse association between rain anomaly and the IOS. This relation is more consistent for the warm semester that provides the greater proportion (80%) of annual rainfall in the region. During El Niño years, that correspond to positive rain anomalies, there is a greater frequency of positive anomalies of corn (Zea mays L.) yields, but they are of scarce magnitude. Negative rain anomalies occur predominantly in La Niña years, and are related to negative anomalies of yield, with frequencies statistically different not only to El Niño years, but also to those of Neutral years. Finally, some of the difficulties with the use of ENOS information for forecasting are discussed.

Key words: Southern Oscillation Index, rain anomaly, yield anomaly, corn, meteorology.

RESUMEN

Estudios de la influencia del fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENSO) sobre las condiciones atmosféricas de distintas regiones, han determinado patrones característicos en el régimen de lluvia durante los años de El Niño y La Niña. La posibilidad de anticipar tales condiciones por medio del Índice de Oscilación Sur (IOS), entre otros indicadores, ha creado la expectativa de utilizar esta información con fines de pronóstico. Un análisis de la precipitación trimestral y semestral de seis localidades de la provincia de Córdoba, y de la región en su conjunto (Zona), verifica la asociación inversa entre la anomalía de lluvia y el IOS. Esta relación es más consistente para el semestre cálido que aporta la mayor proporción (80%) de la precipitación anual en la región. Durante los años El Niño, que corresponden a anomalías positivas de precipitación, existe mayor frecuencia de anomalías positivas de rendimiento departamental de maíz (Zea mays L.), pero son de escasa magnitud. Las anomalías negativas de precipitación ocurren de manera preponderante en los años La Niña y se vinculan con anomalías negativas de rendimiento, con frecuencias estadísticamente distintas no sólo a la de los años El Niño, sino también a las que presentan los años Neutros. Se discuten algunas de las dificultades relacionadas con el uso de las señales ENOS con fines de pronóstico.

Palabras clave: Índice de Oscilación Sur, anomalía de lluvia, anomalía de rendimiento, maíz, meteorología.

Recibido: 20 de agosto de 2004. Aceptado: 4 de diciembre de 2004.

¹ Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, CC 509-Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: delacasa@agro.uncor.edu *Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) es reconocido como la principal fuente de variabilidad climática de corto plazo a escala estacional e interanual en los trópicos y en buena parte de las latitudes medias, provocando alteraciones en la interacción entre el océano y la atmósfera. Los vientos tropicales, a través de su influencia sobre las corrientes oceánicas, modulan la temperatura de la superficie del mar (TSM), lo que afecta la localización de la convección tropical y desencadena cambios en la circulación atmosférica global (Salinger et al., 2000).

La interacción del océano y la atmósfera en el Océano Pacífico Tropical fluctúa de manera algo irregular entre la fase cálida (TSM más cálida que lo normal) denominada El Niño, y la fase opuesta conocida como La Niña. La presencia de El Niño se asocia con una migración de agua cálida desde el Oeste hacia el Este del Pacífico Tropical, mientras lo contrario ocurre en la fase fría de La Niña. La variación de la TSM es un indicador oceánico del estado del sistema climático que se emplea para su caracterización y cuantificación (Lucero, 1991).

Por otra parte, cuando se desarrolla El Niño, a medida que las aguas del sector central y oriental del Pacífico Tropical se tornan más cálidas, los vientos alisios se debilitan y se acrecienta la ocurrencia de tormentas de lluvia en la región. A causa del calentamiento, la presión atmosférica se reduce en esta área, en tanto aumenta por encima de lo normal sobre Australia e Indonesia, lo que allí produce condiciones más secas de lo habitual (Quinn et al., 1978). Lo contrario se manifiesta durante La Niña. La variación de la presión atmosférica es, por lo tanto, otro indicador del estado del sistema que ha sido expresado a través del Índice de Oscilación Sur (IOS), el cual pondera la diferencia de la presión atmosférica entre Tahiti y Darwin (Troup, 1965).

En tanto, la localización y el efecto primario de los ENOS se manifiestan sobre el Pacífico Tropical, la influencia que se observa a escala global ha sido atribuida a teleconexiones, a través de las cuales la atmósfera transmite el calentamiento anómalo de los trópicos, produciendo convección a gran escala y la consecuente alteración de la dinámica de los vientos (Diaz y Kiladis, 1992).

En este contexto de variación natural que presenta el sistema climático, las condiciones de temperatura y precipitación de los años La Niña y El Niño muestran patrones típicos en las diferentes regiones del mundo. Mientras la precipitación en el sector continental entre los 30° de latitud norte y sur muestra anomalías negativas, durante la fase caliente, y positivas durante la fase fría, el esquema se invierte entre los 30° y 40° de latitud sur (Eischeid et al., 1991). Fontana y Berlato (1997) observaron que el estado de Río Grande del Sur, Brasil, presenta condiciones de mayor precipitación durante la fase caliente que en la fase fría, y superiores a la media climática. Lucero (1991) asocia la ocurrencia de sequías intensas y de mayor extensión en la República Argentina con episodios La Niña. Sierra y Pérez (2001) confirman para la localidad de Junín en Argentina, las expectativas de lluvias más abundantes en la fase cálida. Las señales térmicas para este sector del Hemisferio Sur, por su parte, no muestran anomalías apreciables ni diferencias significativas entre ambas fases (Díaz y Kiladis, 1992).

Otro hecho destacado es la falta de regularidad temporal del fenómeno. No obstante, el desarrollo de los episodios pasados ha permitido definir las etapas del ENOS típico (Rasmusson y Carpenter, 1982). En general, los eventos cálidos suelen comenzar en noviembre-diciembre, aunque con cierta variabilidad, alcanzando máxima intensidad alrededor de abril, y con una duración mayor a 12 meses en todos los casos. El año calendario en que se desarrolla un evento es identificado como "año 0". Por lo general existe un pico secundario en la fase madura del ENOS que se manifiesta hacia el verano del Hemisferio Sur. Es al final del año 0 v comienzo del año 1 cuando las teleconexiones son más manifiestas fuera de los trópicos (Díaz y Kiladis, 1992). Es necesario considerar esta información cuando se pretende analizar la relación de contemporalidad de los ENOS y la lluvia en algún sector en particular.

Como consecuencia de las alteraciones que se producen principalmente sobre el fenómeno pluviométrico, los episodios ENOS han sido estudiados en su incidencia sobre la productividad agrícola (Berlato y Fontana, 1999; Cunha *et al.*, 1999, 2001). Al evaluar la utilidad de las predicciones del ENOS para el manejo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a nivel de sitio, Phillips *et al.*

(1998) utilizaron estimaciones obtenidas de un modelo de simulación, así como distintos autores también han elaborado pronósticos de rendimientos de cultivos (Nicholls, 1986; Rimmington y Nicholls, 1993; Mjelde y Keplinger, 1998). Handler (1984) determinó que la variación interanual por encima o por debajo de la tendencia del rendimiento de maíz en los Estados Unidos, se encuentra estrechamente asociada con la ocurrencia de anomalías positivas de TSM en el Océano Pacífico ecuatorial.

Frente a las expectativas que se generan en el sector productivo, y en el público en general, respecto a la posibilidad de pronosticar las condiciones ambientales que pueden acompañar el ciclo de producción durante un año El Niño o La Niña, y considerando que tales manifestaciones tienen un alcance geográfico particular o local, el presente trabajo tuvo por objetivo verificar para la región de la provincia de Córdoba, las condiciones pluviométricas que se asocian con las distintas fases del ENOS y evaluar su impacto sobre el rendimiento del cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos de precipitación

Los registros de lluvia utilizados fueron observados por la red de estaciones de superficie que opera el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en la provincia de Córdoba, Argentina. Se trata de datos diarios relevados durante el período que se extiende entre el 1 de enero de 1968 y el 31 de diciembre de 1991. Las estaciones meteorológicas que produjeron la información y su posición geográfica se indican en el Cuadro 1.

Los datos de lluvia acumulada en períodos trimestrales y semestrales se obtuvieron de la

Cuadro 1. Posición geográfica y altitud de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Table 1. Geographical position and altitude of the meteorological stations used.

Estación	Latitud	Longitud	Altura	
	Sur	Oeste	(m.s.n.m.)	
Laboulaye	34°08′	63°22′	137	
Marcos Juárez	32°42′	62°09′	114	
Pilar	31°40′	63°53′	338	
Río Cuarto	33°07′	64°14′	421	
Villa de María				
Río Seco	29°54′	63°41′	341	
Villa Dolores	31°57′	65°08′	569	

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

diferencia con el valor medio (años 1968 a 1991), lo que expresa el valor de la anomalía de lluvia. Dada la naturaleza macroclimática del problema, y a los efectos de atenuar probables efectos de alcance local, la variable precipitación zonal (Zona) se obtuvo como el promedio del total de lluvia producida sobre la región. El análisis se limitó sólo al período entre 1968 y 1991 en razón de la disponibilidad de datos pluviométricos. Ante la imposibilidad de extender las series de lluvia hasta la actualidad en todas las localidades de la región, en términos metodológicos se consideró más apropiado evaluar únicamente series de igual extensión y período.

Índice de Oscilación Sur (IOS)

Para representar la variación de la presión atmosférica sobre el Océano Pacífico Tropical se empleó el IOS de Troup (1965), según la siguiente expresión:

$$IOS = 10 \times \left[\frac{AP_{Tahiti} - AP_{Darwin}}{D.E. \, Dif} \right]$$

siendo AP la anomalía de la presión atmosférica que resulta de la diferencia entre el valor mensual y la media de largo plazo (período base 1933-1992) en los lugares señalados; D.E. Dif es la desviación estándar de la diferencia para el mismo período base.

Secuencia de episodios La Niña y El Niño

En base a distintos criterios empleados en cada caso, los autores señalan la ocurrencia de episodios El Niño y La Niña con alguna discrepancia entre sí (Handler, 1984). A tal efecto, el Cuadro 2 indica la secuencia de casos El Niño y La Niña entre 1968 y 1991 de acuerdo a los reconocidos esquemas de clasificación de Van Loon y Shea (1985), ampliada por Lucero (1991), y Ropelewsky y Jones (1987).

De acuerdo al Cuadro 2, ambos autores determinan de manera absolutamente concordante la ocurrencia de cinco eventos de la fase caliente en el lapso 1968-1991. En el caso de la fase fría, y a fin de evaluar el mismo tamaño de muestra (n = 5), la serie analizada se compone de los tres casos concordantes y dos que son reportados de manera individual. Los años restantes se consideraron Neutros.

Procedimientos

Dada la naturaleza y envergadura geográfica del fenómeno, un aspecto que debe ser considerado es

Cuadro 2. Secuencia de eventos El Niño (fase caliente) y La Niña (fase fría) entre 1968 y 1991 según distintos autores.

Table 2. Sequence of events El Niño (hot phase) and La Niña (cold phase) from 1968 to 1991 according to different

Autor	Evento		Año inic	cial/final del ev	rento	
Van Loon y Shea (1985)	El Niño	1969/70	1972/73	1976/77	1982/83	1986/87
Ampliada por Lucero (1991)	La Niña	1970/71	1973/74	np	1978/79	1988/89
Ropelewsky y Jones (1987)	El Niño	1969/70	1972/73	1976/77	1982/83	1986/87
	La Niña	1970/71	1973/74	1975/76	np	1988/89

np: no se presenta en la serie.

el período de integración temporal de las series de precipitación, a partir del cual puede ser eliminada cierta variabilidad de corto plazo y que es de estricto alcance local. Por medio del coeficiente de correlación lineal se avaluó la asociación entre la precipitación y el IOS de los cuatro trimestres (enero, febrero y marzo (E-F-M); abril, mayo y junio (A-M-J); julio, agosto y septiembre (J-A-S); octubre noviembre y diciembre (O-N-D)) (Rogers, 1988) y de los dos semestres, el cálido (enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre) y el frío (meses restantes). La significación estadística de la diferencia de medias entre la precipitación correspondiente a eventos cálidos y fríos, se analizó por medio del estadístico t de Student, asumiendo varianzas desconocidas pero iguales (Sachs, 1978).

Para sistematizar la información sobre el rendimiento de maíz, se siguió la metodología propuesta por Cunha *et al.* (1999, 2001). En primer lugar se calculó la tendencia interanual del rendimiento departamental de maíz a través de un polinomio de 2º grado y la tendencia se removió usando la fórmula:

$$Yc_{i} = \{Y_{i} - [Y(x_{i}) - Y(x_{0})]\}$$

donde, Yc_i es el rendimiento del año i corregido, Y_i es el rendimiento original del año i, $Y(x_i)$ es el rendimiento del año i estimado por el modelo de regresión, en tanto $Y(x_0)$ es el rendimiento del primer año de la serie histórica estimado por el modelo de regresión.

Las anomalías anuales del rendimiento de maíz se calcularon como la diferencia entre el valor del rendimiento corregido por tendencia y el promedio de la serie corregida. Los registros de rendimiento de maíz provienen de las estadísticas de producción de la provincia de Córdoba (SAGyA, 2002). Los datos provinciales y departamentales de Río Segundo, Río Cuarto, Marcos Juárez y Presidente

Roque Sáenz Peña, se analizaron en correspondencia a los registros de lluvia de Pilar, Río Cuarto, Marcos Juárez y Laboulaye, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se evaluó la asociación entre el IOS y la anomalía de la precipitación en los cuatro períodos trimestrales del año (Rogers, 1988). Los resultados a escala local y regional (Zona) se muestran en el Cuadro 3. En general se destaca una asociación inversa entre el IOS medio y la anomalía de la precipitación trimestral, que alcanza significación estadística (P < 0,05) sólo durante los dos trimestres cálidos: O-N-D y E-F-M. Todas las localidades, excepto Villa Dolores, presentan una correlación negativa significativa (P < 0.05) en O-N-D. A nivel regional (Zona) se aprecia de manera significativa en este trimestre y con una probabilidad ligeramente superior al 5% en E-F-M, que el aumento del IOS se traduce en un aumento de la anomalía de precipitación negativa, esto es, la precipitación es menor en la fase fría. Rogers (1988) también presenta correlaciones negativas para este trimestre, aunque sin alcanzar significación, en las localidades de Corrientes y Goya (Argentina). De esta manera, en Córdoba (región extratropical) se verifica que la teledetección es más manifiesta al final del "año 0" y al comienzo del "año 1" (Díaz y Kiladis, 1992).

Debido al carácter estacional de las lluvias en la región, donde aproximadamente el 80% del total anual se produce entre octubre y marzo (Rodríguez y De la Casa, 1990), y de acuerdo al resultado anterior, se amplió el período de análisis a seis meses consecutivos, discriminando entre los semestres cálidos y fríos. Los coeficientes de correlación que corresponden a los semestres cálido y frío, para el conjunto de localidades y la región se muestran en la Figura 1.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación (r) y su probabilidad (P) entre el Índice de Oscilación Sur (IOS) medio y la anomalía de la precipitación trimestral en distintas localidades de la provincia de Córdoba y la región en su conjunto (Zona).

Table 3. Correlation coefficients (r) and their probability (P) between the mean Southern Oscillation Index (IOS) and the anomaly of quarterly precipitation in different sites of Córdoba province and the whole region (Zona).

Localidad	Trimestres							
	E-F-M		A-M-J		J-A-S		O-N-D	
	r	P	r	P	r	P	r	P
Villa Dolores	-0,498	0,013	-0,194	0,365	-0,074	0,732	-0,153	0,475
Villa María Río Seco	-0,244	0,251	-0,292	0,167	0,014	0,947	-0,521	0,009
Río Cuarto	-0,150	0,484	-0,169	0,429	0,007	0,973	-0,547	0,006
Pilar	-0,534	0,007	-0,228	0,283	-0,093	0,666	-0,446	0,029
Marcos Juárez	-0,205	0,338	-0,176	0,411	0,044	0,836	-0,493	0,015
Laboulaye	-0,119	0,581	-0,084	0,696	0,172	0,421	-0,420	0,041
Zona	-0,390	0,060	-0,266	0,210	0,020	0,925	-0,573	0,004

E-F-M: enero-febrero-marzo; A-M-J: abril-mayo-junio; J-A-S: julio-agosto-septiembre; O-N-D: octubre-noviembre-diciembre.

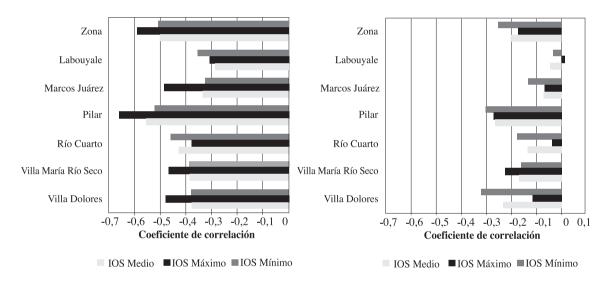


Figura 1. Coeficientes de correlación entre el Índice de Oscilación Sur (IOS) medio, máximo y mínimo y la anomalía de la precipitación del semestre cálido (izquierda) y del semestre frío (derecha). Para el tamaño muestral considerado (n = 23 en el semestre cálido y n = 24 en el semestre frío) las correlaciones son significativas (P < 0,05) cuando el coeficiente supera |0,4|.

Figure 1. Correlation coefficients among the mean, maximum and minimum Southern Oscillation Index (IOS) and the anomaly of precipitation of the warm semester (left) and the cold semester (right). For the size of sample considered (n = 23 in the warm semester and n = 24 in the cold semester) the correlations are significant (P < 0.05) when the coefficient is superior to |0.4|.

Si bien la correlación resulta negativa de manera generalizada, ésta nunca es significativa al 5% durante el semestre frío, es decir, cuando los procesos productores de lluvia son normalmente escasos en Córdoba. En el semestre cálido, la relación entre el IOS, expresado ya sea por el valor medio, máximo o mínimo, y la lluvia, confirma una tendencia de anomalías positivas en

la fase caliente y negativas durante la fase fría. Dicha tendencia se presenta significativa (P < 0,05) en todas las localidades, excepto Laboulaye. En localidades de la Argentina sin marcada estacionalidad en las lluvias, Rogers (1988) obtiene correlaciones negativas entre el IOS y la precipitación anual, muy significativa en Goya y Corrientes.

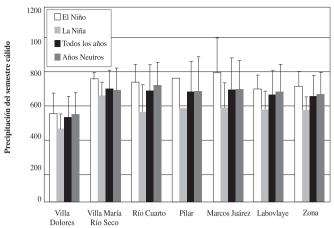


Figura 2. Precipitación media del semestre cálido en distintas localidades de Córdoba en años El Niño, La Niña, Neutros y todo el conjunto. La línea indica la desviación estándar.

Figure 2. Mean precipitation of the warm semester in different sites of Córdoba in El Niño, La Niña and Neutral years and the general average. The line indicates the standard deviation.

Otro aspecto que se analizó fue la variación que experimenta la precipitación trimestral y semestral en los años extremos de la OS. La Figura 2 muestra la precipitación media del semestre cálido para los cinco eventos Niño, cinco eventos Niña, los años Neutros, y el promedio general, correspondientes al período analizado. Mientras la precipitación semestral media del conjunto completo de años no muestra diferencias con los años Neutros, resulta superior a ellos durante los episodios El Niño (Sierra y Pérez, 2001), y es inferior al promedio general y a los años Neutros en los episodios La Niña.

Si bien el comportamiento general es consistente y el promedio de los años El Niño se muestra superior al de los años La Niña, tanto a nivel semestral como trimestral, la prueba de *t* del Cuadro 4 indica que la diferencia de medias resulta sólo distinta al 5% de probabilidad para la Zona en el semestre cálido y en el trimestre E-F-M.

Influencia de los ENOS sobre el rendimiento regional de maíz

Habiendo constatado la manifestación de años relativamente más lluviosos durante la fase cálida,

Cuadro 4. Diferencia de la precipitación (PP) media entre años El Niño y La Niña en distintas localidades de Córdoba y períodos del año. El valor crítico de t es 2,306 (P < 0,05).

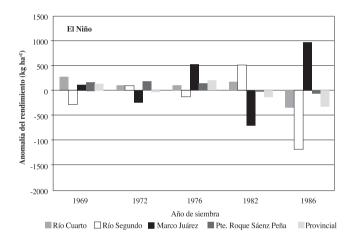
Table 4. Difference of mean precipitation (PP) between El Niño and La Niña years in different sites of Córdoba and periods of the year. The critical value of t is 2,306 (P < 0,05).

	Localidades									
	Villa Dolores	Villa María	Río Cuarto	Pilar	Marcos Juárez	Laboulaye	Zona			
		Río Seco								
	Niño Niña	Niño Niña	Niño Niña	Niño Niña	Niño Niña	Niño Niña	Niño Niña			
			Se	emestre cálido)					
PP media (mm)	541,2 446,7	752,3 648,4	731,8 552,4	752,2 574,3	789,9 577	694,3 568,7	710,3 561,3			
t de Student	1,212	2,167	1,795	1,884	1,596	1,819	2,39			
Probabilidad	0,26	0,062	0,11	0,096	0,149	0,106	0,044			
DD 1' ()	Trimestre enero-febrero-marzo (E-F-M)									
PP media (mm) t de Student	319,5 237,7	468,6 419	330,2 295,5	433,5 331,3	447,9 327,9	363,2 338,5	393,8 325			
Probabilidad	2,208	1,182	0,959	1,61	1,381	0,513	2,589			
Probabilidad	0,058	0,271	0,366	0,146	0,205	0,622	0,032			
	Trimestre octubre-noviembre-diciembre (O-N-D)									
PP media (mm)	221,7 209	283,7 229,5	401,6 257	318,6 243	342 249,1	331,1 230,2	316,5 236,3			
t de Student	0,209	1,381	1,983	1,209	1,205	1,437	1,59			
Probabilidad	0,84	0,205	0,083	0,261	0,262	0,189	0,15			

lo que configura condiciones ambientales de potencialidad productiva contrastante con la fase fría, se evaluó la capacidad predictiva que los extremos de la OS tienen sobre el rendimiento de maíz en la Provincia de Córdoba, restringiendo el análisis a los sectores donde el cultivo se realiza de secano. La Figura 3 presenta las anomalías del rendimiento departamental de maíz de los años clasificados El Niño y La Niña, de acuerdo al Cuadro 2.

La Figura 3 rescata ciertas diferencias de orden productivo entre años El Niño y La Niña que son evaluadas en la tabla de contingencia del Cuadro 5. Durante la fase caliente se aprecia que predominan anomalías positivas del rendimiento (12/25), sin embargo, su magnitud es escasa. Mientras las

frecuencias de las anomalías positivas, nulas y negativas en los años El Niño son estadísticamente distintas de los años La Niña, no lo son con respecto a los años Neutros, a diferencia de lo determinado por Handler (1984) en EE.UU. La ocurrencia de la fase fría, por el contrario, presenta el predominio de anomalías negativas (16/25) de precipitación, en correspondencia a reducciones de rendimiento de mayor magnitud. En este caso, las frecuencias de años con anomalías positivas, nulas y negativas también se diferencian significativamente de las que presentan los años Neutros. Los resultados muestran la consecuencia esperada para los años La Niña, cuando predomina la situación de lluvias escasas o por debajo de la media, que originan mermas sobre los rendimientos de maíz en la región. También se pone de manifiesto una dependencia



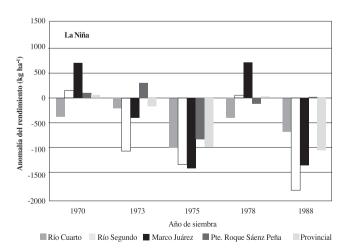


Figura 3. Anomalía del rendimiento departamental de maíz (kg ha⁻¹) en los años El Niño (arriba) y La Niña (abajo) del período 1968-1991.

Figure 3. Anomalies of departmental corn yields (kg ha⁻¹) in the years of El Niño (above) and La Niña (below) in the period 1968-1991.

Cuadro 5. Frecuencia de anomalías de rendimiento departamental de maíz en diferentes estados del Índice de Oscilación Sur (IOS).

Table 5. Frequency of anomalies of departmental corn yields in different states of the Southern Oscillation Index (SOI).

Anomalía	El Niñ	o Neutro	La Niña
Positivos	12	35	4
Entre +/-100	5	7	5
Negativos	8	23	16
Total	25	65	25
	X^2		
Niño/Neutro:	1,332	No significa	ıtivo
Niño/Niña:	6,66	P < 5%	
Niña/Neutro:	10,533	P < 5%	

más consistente de los rendimientos y el IOS en su fase fría, que por otra parte presentaría mayor capacidad predictiva, según Sierra y Pérez (2001).

Sin embargo, otra información se desprende de la Figura 3, y pone de manifiesto algunas de las dificultades relacionadas con el uso de las señales ENOS con fines de pronóstico. Excepto los episodios La Niña que afectaron los cultivos de maíz de manera extendida en la provincia los ciclos 1975-

1976 y 1988-1989, con reducciones de rendimiento en todos los departamentos considerados, el resto de los eventos no repiten de igual forma una manifestación espacial generalizada. De acuerdo a esta evidencia, la posibilidad de proyectar la información sobre los ENOS, a los efectos de pronosticar la productividad agrícola, es limitada para la región, en particular cuando se pretende hacerlo a partir de esta única señal. De igual forma, Phillips et al. (1998) señalan que aunque los valores de precipitación y rendimiento medio varían con relación a las distintas fases del fenómeno, el grado de variabilidad dentro de las fases puede limitar la utilidad de esta información a los efectos del pronóstico agrícola. Como muestra la Figura 3, la anomalía del rendimiento en la provincia no siempre presenta el mismo signo que los valores departamentales correspondientes. En el orden pluviométrico, si bien los años El Niño corresponden a lluvias por encima del promedio, el episodio de 1982 configura la excepción más notable por tratarse de uno de los fenómenos de calentamiento de mayor intensidad del siglo XX.

La Figura 4 muestra la relación entre el IOS y la anomalía de la precipitación del semestre cálido,

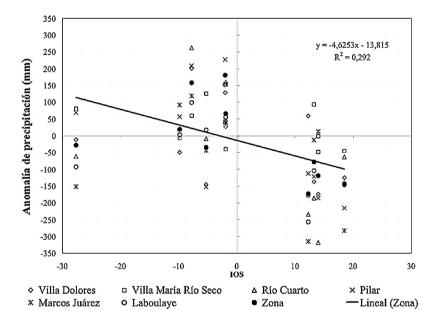


Figura 4. Relación entre los diez casos extremos el Índice de Oscilación Sur (IOS) del período 1968-1991 y la anomalía de precipitación del semestre cálido en distintas localidades de Córdoba y la región en conjunto (Zona). La recta de regresión y el coeficiente de determinación corresponden a los valores de la Zona.

Figure 4. Relation among ten extreme cases of the Southern Oscillation Index (IOS) in 1968-1991 period and the anomaly of rain of the warm semester in different sites of Córdoba and the region as a whole (Zona). The straight regression line and the coefficient of determination correspond to the Zona values.

restringida sólo a los 10 eventos extremos de la OS, de acuerdo a lo que consigna el Cuadro 2 en el período 1968-1991. Con un IOS promedio de -27,65, El Niño de 1982 presenta, sin embargo, una condición pluviométrica semestral de carácter aproximadamente normal en la provincia.

La exclusión de El Niño más intenso de la serie duplica el coeficiente de determinación de 0,29 a 0,61, para la relación lineal de la región (Zona), y pone de manifiesto el apartamiento más conspicuo de esta asociación. Del mismo modo, se explica el comportamiento ambiguo que presenta la anomalía del rendimiento la campaña 1981-1982, siendo positivo en Río Cuarto y Río Segundo, negativo en Marcos Juárez y para el valor provincial, y aproximadamente nulo en Presidente Roque Sáenz Peña. Phillips et al. (1998) sostienen que la aplicación de esta información al nivel de sitio puede requerir una definición más precisa de las fases del ENOS, o del uso de pronósticos climáticos específicos para cada año basados en modelos numéricos que consideren otros fenómenos atmosféricos de gran escala además del ENOS. Es importante destacar el riesgo que implicaría para el sector agrícola suponer la posibilidad de pronosticar el comportamiento productivo de los cultivos basado en la utilización de esta única señal.

Con respecto a la influencia directa del IOS sobre el rendimiento de maíz, a fin de evaluar su empleo potencial en un procedimiento de pronóstico, el Cuadro 6 presenta los coeficientes de correlación que se obtienen entre el IOS promedio durante ciclo de cultivo (entre octubre y marzo) y la anomalía del rendimiento, en los distintos departamentos y para la provincia. Mientras la señal confirma una tendencia significativa de la relación en Río Cuarto

y Río Segundo, cuando se considera toda la serie o al incluir sólo los casos extremos de la OS, respectivamente, la misma no es estadísticamente aceptable en Marcos Juárez y Presidente Roque Sáenz Peña, confirmando una capacidad de pronóstico del rendimiento ambigua de este indicador ENOS en el área de producción maicera de secano de Córdoba.

CONCLUSIONES

- 1) En la provincia de Córdoba se ha verificado la relación negativa entre el IOS y la anomalía de lluvia estacional. Esta relación es significativa durante el semestre cálido (al final del "año 0" y comienzo del "año 1"), período que concentra la mayor cantidad de lluvia anual y coincide con el ciclo de los cultivos estivales.
- 2) Durante los años El Niño predominan anomalías positivas de rendimiento departamental de maíz aunque son de poca magnitud. Por el contrario, en los años bajo la influencia de La Niña ocurren anomalías negativas de rendimiento, más importantes y con una frecuencia distinta tanto a la de los años El Niño como también a la de los años Neutros, es decir, que se presentan de manera claramente diferenciada.
- 3) En la región de Córdoba el impacto de la OS sobre la producción de maíz tiene mayor relevancia durante su extremo frío, cuando la frecuencia de las anomalías de rendimiento negativas ocurren como consecuencia de lluvias escasas. Asimismo, la señal atmosférica no tiene una capacidad de predicción uniforme en el área de producción de maíz de secano.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre el valor promedio del Índice de Oscilación Sur (IOS) durante el ciclo de cultivo (de octubre a marzo) y la anomalía del rendimiento de maíz en distintos departamentos y a nivel provincial.

Table 6. Correlation coefficients between the mean Southern Oscillation Index (IOS) during the crop cycle (from October to March) and the anomaly of yield in different departments and for the province.

	Departamentos/Provincia						
Período	n	Marcos	Pdte. Roque	Río Cuarto	Río Segundo	Provincia	
		Juárez	Sáenz Peña				
Todos los años	22	0,226 ns	0,084 ns	0,346 ns	0,525 *	0,344 ns	
Años El Niño y La Niña	10	0,221 ns	0,145 ns	0,632 *	0,579 ns	0,395 ns	

n = tamaño de la muestra, ns = no significativo, * = significativo al 5%

LITERATURA CITADA

- Berlato, M.A., e D.C. Fontana. 1999. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no estado do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Agrometeorol. 7:119-125.
- Cunha, G.R., G.A. Dalmago, and V. Estafanel. 1999. ENSO influences on wheat crop in Brazil. Rev. Bras. Agrometeorol. 7:127-138.
- Cunha, G.R., G.A. Dalmago, V. Estafanel, A. Pasinato, e M.B. Moreira. 2001. El Niño-Oscilação do Sul e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil. Rev. Bras. Agrometeorol. 9:137-145.
- Diaz, H.F., and G.N. Kiladis. 1992. Atmospheric teleconnections associated with the extreme phases of the Southern Oscillation. p. 7-28. *In* Diaz, H.F. y
 V. Markgraf (eds.) El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Eischeid, J.K., H.F. Diaz, R.S. Bradley, and P.D. Jones. 1991. A comprehensive precipitation data set for global land areas. 82 p. Technical Report TR051. U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Fontana, D.C., e M.A. Berlato. 1997. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Agrometeorol. 5:127-132.
- Handler, P. 1984. Corn yields in the United States and sea surface temperature anomalies in the Equatorial Pacific Ocean during the period 1868-1982. Agric. For. Meteorol. 31:25-32.
- Lucero, O.A. 1991. Fluctuaciones atmosféricas-oceánicas que impactan sobre Argentina. V Reunión Argentina de Agrometeorología, Vaquerías, Córdoba, Argentina.
 10 de octubre de 1991. Asociación Argentina de Agrometeorología, Córdoba, Argentina.
- Mjelde, J.W., and K. Keplinger. 1998. Using the Southern Oscillation to forecast Texas winter wheat and sorghum crop yields. J. Climate 11:54-60.
- Nicholls, N. 1986. Use of the Southern Oscillation to predict Australian sorghum yield. Agric. For. Meteorol. 38:9-15.
- Phillips, J.G., M.A. Cane, and C. Rosenzweig. 1998. ENSO, seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe. Agric. For. Meteorol. 90:39-50.

- Quinn, W.H., D.O. Zopf, K.S. Short, and R.T.W. Kuo Yank. 1978. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño and Indonesian droughts. Fish. Bull. 76:663-678.
- Rasmusson, E.M., and T.H. Carpenter. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation-El Niño. Monthly Weather Rev. 110:354-384.
- Rimmington, G.M., and N. Nicholls. 1993. Forecasting wheat yields in Australia with the Southern Oscillation Index. Aust. J. Agric. Res. 44:625-632.
- Rodríguez, A.R., y A.C. de la Casa. 1990. Regiones hídricas de la República Argentina. Rev. Cs. Agropecuarias VII:31-40.
- Rogers, J.C. 1988. Precipitation variability over the Caribbean and Tropical Americas associated with the Southern Oscillation. J. Climate 1:172-182.
- Ropelewsky, C.F., and P.D. Jones. 1987. An extension of the Tahiti-Darwin southern oscillation index. Monthly Weather Rev. 115:2161-2165.
- Sachs, L. 1978. Estadística aplicada. 567 p. Ed. Labor S.A., Barcelona, España.
- Salinger, M.J., C.J. Stigter, and H.P. Das. 2000. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. Agric. For. Meteorol. 103:167-184.
- SAGyA. 2002. Estadísticas de producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos (SAGyA) de la Provincia de Córdoba. Disponible en http://www.cba.gov.ar Leído el 10 de febrero de 2002.
- Sierra, E.M., y S.P. Pérez 2001. Efectos del ENSO sobre el régimen de lluvias en Junín, norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Arg. de Agrometeorología 1:51-57.
- Troup, A.J. 1965. The Southern Oscillation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 91:490-506.
- Van Loon, H., and D. Shea. 1985. The Southern Oscillation. Part IV: The precursors south of 15°S to the extremes of the oscillation. Monthly Weather Rev. 113:2063-2074.