

RELACIÓN ENTRE EL FENÓMENO ENOS Y LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ 1965/66-1997/98 EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

E. M. SIERRA y SILVIA PÉREZ¹

Recibido: 16/02/00

Aceptado: 18/05/00

RESUMEN

Con el objeto de evaluar los efectos del ENOS sobre los rendimientos del maíz en la provincia de Tucumán, se correlacionó la serie 1965/66-1997/98, con las series de anomalías mensuales de temperatura superficial del mar, en el Pacífico Ecuatorial de las cuatro áreas testigo del fenómeno ENOS ("El Niño Oscilación del Sur") (Niño 4, 3, 3.4 y 1.2). Se calcularon los desvíos del rendimiento con respecto a la tendencia cronológica, los cuales fueron relacionados por medio de un análisis de correlación y regresión con las anomalías mensuales de temperatura de las cuatro áreas testigo. Las anomalías de temperatura de la zona Niño 3.4 proveen una señal acerca de la puesta en marcha de un mecanismo climático que afecta significativamente el desarrollo de la campaña agrícola maicera en la provincia de Tucumán. La detección de anomalías negativas a partir del mes de junio, indica que pueden esperarse mermas de rendimiento en los resultados de la campaña agrícola próxima a iniciarse. Por el contrario, la aparición de anomalías positivas genera la posibilidad de resultados superiores a los normales. Las anomalías correspondientes al mes de noviembre proveen la señal más fuerte, explicando un 51% de la variancia observada, con 5/6 meses de antelación a la cosecha. No obstante, los resultados indican que existen otros factores climáticos, posiblemente de orden local, que resulta necesario incorporar al análisis a fin de mejorar su eficacia.

Palabras clave. Rendimiento maíz, ENOS, provincia de Tucumán.

RELATION BETWEEN ENSO AND CORN YIELDS 1965/66-1997/98 IN THE PROVINCE OF TUCUMAN

SUMMARY

To evaluate ENSO effects on corn yields in Tucuman Province, the 1965/66-1997/98 series was correlated, with the series of monthly sea surface temperature anomalies of the Equatorial Pacific control areas (Niño 4, 3, 3.4 and 1,2). Yield deviations with respect to the chronological trend were related by means of a correlation and regression analysis to monthly sea surface temperature anomalies of the four control areas. The anomalies of temperature in the Niño 3.4 area provide a signal about the beginning of a climatic process that significantly affects the development of the corn agricultural campaign in the province of Tucumán. The detection of negative anomalies as of the month of June is associated to yield decreases for the agricultural campaign to begin. On the contrary, the appearance of positive anomalies generates the possibility of yield increases. November sea surface temperature anomalies provide the best signal, explaining a 51% of the observed variance, 5/6 months ahead of to the harvest. However, results indicate that that it is necessary to incorporate to the analysis some other climatic factors, probably of local nature, to improve its effectiveness.

Key words. Corn yields, ENSO, Tucumán Province.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno ENOS ("El Niño Oscilación del Sur") posee capacidad de causar la ocurrencia de anomalías climáticas en distintas regiones del globo (Kiladis y Díaz, 1989; Ropelewski y Halpert, 1996;

Díaz *et al.*, 1998; Pérez *et al.*, 1999), los cuales pueden pronosticarse con considerable antelación. Esta capacidad ha sido empleada para pronosticar efectos sobre los procesos productivos agropecuarios (Keplinger y Mjelde, 1994; Hansen *et al.*, 1998).

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

No obstante, el análisis por episodio ENOS tiene el inconveniente de que debe hacerse en forma cualitativa, ya que sólo existen tres categorías "El Niño", "Neutro" y "La Niña", requiriéndose series cronológicas largas para poder probar la significación estadística de las diferencias encontradas, lo cual constituye un problema cuando se emplean series de rendimientos de cultivos.

Ello se debe a que el procedimiento usual para separar los efectos de la innovación tecnológica de los de la variabilidad climática consiste en calcular la tendencia cronológica. Dado que esta última puede atribuirse en su mayor parte a las mejoras técnicas, los desvíos resultantes pueden relacionarse con los factores climáticos, que son las principales causas de que los rendimientos se aparten de la misma. (Thompson, 1963, 1969, 1970). En el caso de series cronológicas de gran extensión los cambios en la innovación tecnológica determinan que las mismas presenten inhomogeneidades que impiden su tratamiento.

Esta dificultad ha podido ser superada gracias a la reciente publicación, por parte del Centro de Pronóstico Climático (CPC, 1999) dependiente de la Administración de la Atmósfera y el Océano (NOAA), de las series mensuales de temperatura desde 1950 a la fecha, de las cuatro áreas testigo (Niño 1.2, 3, 3.4 y 4) situadas sobre el Océano Pacífico Ecuatorial. Mediante las mismas es posible evaluar series de extensión relativamente corta, pudiendo detectarse señales producidas en distintos momentos del año, individualizando las más significativas y precoces.

El objetivo del presente trabajo consiste en llevar a cabo un análisis exploratorio, destinado a evaluar el posible desarrollo de una metodología de alerta y pronóstico climático para los rendimientos del maíz en la provincia de Tucumán sobre la base del monitoreo de anomalías de temperatura en el Océano Pacífico Ecuatorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon las series de rendimientos de maíz (Cuadro N° 1) de la provincia de Tucumán (Figura 1), utilizando los registros de la Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGPyA) durante el

período 1965/66 - 1997/98. Se eligió este período ya que durante el mismo la innovación tecnológica produjo un incremento de rendimientos de tipo lineal que facilitó su filtrado, al mismo tiempo que el número de datos es lo suficientemente grande como para permitir un adecuado análisis estadístico. Los valores correspondientes a períodos anteriores corresponden a un nivel tecnológico muy distinto que no las hace comparables con las más recientes.

Como indicadores climáticos se emplearon las series de anomalías mensuales de temperatura superficial del mar, en el Pacífico Ecuatorial de las cuatro áreas testigo (Niño 4, 3, 3.4 y 1.2) calculadas con respecto al promedio 1951-90.

El procedimiento para separar los efectos de la innovación tecnológica de los de la variabilidad climática consistió en calcular la tendencia cronológica de la serie, mediante un análisis de correlación y regresión (Snedecor y Cochran, 1980). Dicha tendencia es atribuible a los adelantos técnicos, de manera que los desvíos del rendimiento con respecto a la tendencia cronológica, pueden ser relacionados con las anomalías climáticas.

Por lo tanto, los desvíos así calculados fueron modelados en función de las anomalías mensuales de temperatura de las cuatro áreas testigo, por medio de un análisis de correlación y regresión (Snedecor and Cochran, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La serie de rendimientos mostró una tendencia positiva de tipo lineal (Figura 2) altamente significativa, a partir de la cual se calcularon los desvíos empleados en el análisis. (Cuadro N° 1.)

Los mejores resultados de las correlaciones lineales de los desvíos de rendimiento con las anomalías mensuales de temperatura del océano de las cuatro áreas testigo, para el lapso que va desde enero del año de siembra hasta julio del año de cosecha, se obtuvieron mediante los valores correspondientes a la Zona Niño 3.4 (Figura 3), que mostraron correlaciones positivas. La señal climática se hace significativa a partir de mayo del año de siembra, alcanzando su máximo valor en noviembre, y manteniendo su significación hasta marzo del año siguiente.

Puede establecerse la hipótesis de que las anomalías de temperatura del océano dan una señal acerca de la puesta en marcha de un mecanismo climático que afecta significativamente el desarro-

Cuadro N° 1. Rendimientos observados de maíz, tendencia, desvíos, episodios ENOS según la clasificación de Ropelewski y Halpert (1987), anomalías de temperatura del océano Niño 3.4 para el mes de noviembre y desvíos de rendimientos estimados en función de la anomalía de noviembre Niño 3.4.

Campaña	Rend.	Tend.	Desvío	Episodio ENOS	Anomalía T N34 Nov	Desvío
	Obs.					Est T N34 Nov
1965/66	1220	840	380	Niño	1,674	99
1966/67	1656	938	718	Neutro	-0,166	148
1967/68	1309	1036	273	Neutro	-0,266	138
1968/69	1573	1134	439	Neutro	0,904	77
1969/70	1084	1233	-149	Niño	0,784	89
1970/71	1398	1331	67	Niña	-1,386	-502
1971/72	1149	1429	-280	Neutro	-0,876	-69
1972/73	1197	1527	-330	Niño	2,164	293
1973/74	1112	1626	-514	Niña	-1,696	-918
1974/75	1148	1724	-576	Neutro	-0,866	-64
1975/76	2191	1822	369	Niña	-1,226	-335
1976/77	2333	1920	413	Niño	1,024	67
1977/78	1895	2019	-123	Neutro	0,834	84
1978/79	2067	2117	-50	Neutro	-0,056	154
1979/80	2237	2215	22	Neutro	0,424	130
1980/81	2329	2313	15	Neutro	0,144	152
1981/82	2507	2412	95	Neutro	-0,046	154
1982/83	2677	2510	167	Niño	2,364	433
1983/84	2185	2608	-424	Neutro	-0,816	-36
1984/85	2252	2706	-454	Neutro	-1,046	-183
1985/86	3000	2805	195	Neutro	-0,296	133
1986/87	2694	2903	-208	Niño	1,204	58
1987/88	2500	3001	-501	Neutro	1,494	70
1988/89	1011	3099	-2088	Niña	-2,186	-1863
1989/90	2955	3198	-243	Neutro	-0,236	141
1990/91	3650	3296	354	Neutro	0,244	146
1991/92	3800	3394	406	Niño	1,404	63
1992/93	3791	3492	299	Neutro	0,034	155
1993/94	4021	3591	430	Neutro	0,384	134
1994/95	4059	3689	371	Niño	1,344	60
1995/96	2549	3787	-1238	Niña	-0,876	-69
1996/97	4708	3885	823	Neutro	-0,276	136
1997/98	5325	3984	1342	Niño	2,824	923

llo de la campaña agrícola maicera en la provincia de Tucumán. Por lo tanto la detección de anomalías negativas a partir del mes de junio, indica que pueden esperarse mermas de rendimiento en los resultados de la campaña agrícola próxima a iniciarse. Por el contrario, la aparición de anomalías positivas genera la posibilidad de resultados superiores a los normales.

En el Cuadro N°2 se muestran las relaciones entre las anomalías de la Zona Niño 3.4 y los desvíos de rendimiento para los meses que presentaron correlaciones lineales significativas. En todos los casos, el porcentaje de variancia de los desvíos de rendimientos explicados por la señal provista por la anomalía de temperatura del océano, fue mayor empleando un ajuste mediante un



Figura 1. Ubicación geográfica del área maicera en la provincia de Tucumán y áreas lindantes.

polinomio de tercer orden que empleando un ajuste lineal. Ello se hizo particularmente evidente en el caso del mes de noviembre, que provee la señal más fuerte. La regresión lineal explica un 27% de la variancia, mientras que la curva de regresión mediante un polinomio de tercer orden llega a explicar un 51% (Figura 4), lo cual le confiere una capacidad predictiva que podría ser empleada en el desarrollo de una herramienta de pronóstico, con 5 a 6 meses de antelación a la cosecha.

Cuando se comparan los valores de rendimiento observados, con los calculados en función de la tendencia cronológica (efecto tecnológico) y la

Cuadro N°2. Estimadores de los desvíos de rendimiento en función de las anomalías de temperatura del Niño 3.4.

	Estimador lineal				Estimador curvilíneo					
	%R ²	b	a	Sig.	%R ²	b ³	b ²	b	a	Sig.
Junio	18,1	370,80	-58,52	*	31,3	282,42	-358,28	104,69	106,97	**
Julio	22,6	393,07	-52,39	**	37,4	235,08	-368,47	143,33	102,27	**
Agosto	18,5	314,27	-29,15	*	34,2	204,84	-353,60	81,14	129,37	**
Sept.	15,3	273,80	-52,67	*	25,7	191,38	-349,05	84,97	102,38	**
Octubre	23,8	276,69	-43,10	**	45,7	134,43	-235,38	1,05	146,52	**
Nov.	26,9	264,00	-55,39	**	51,4	102,47	-195,21	6,31	154,96	**
Dic.	22,9	226,88	-44,36	**	25,5		-50,66	253,61	34,20	**

Sig. = Nivel de significancia : * = Significativo (5%) ; ** = Muy Significativo (1%)

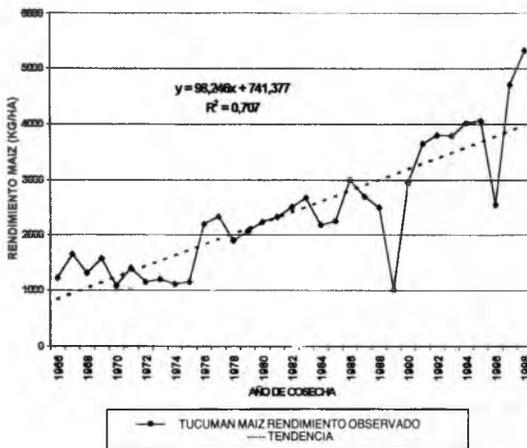


Figura 2. Rendimientos observados y tendencia de maíz en Tucumán para el período 1966/98.

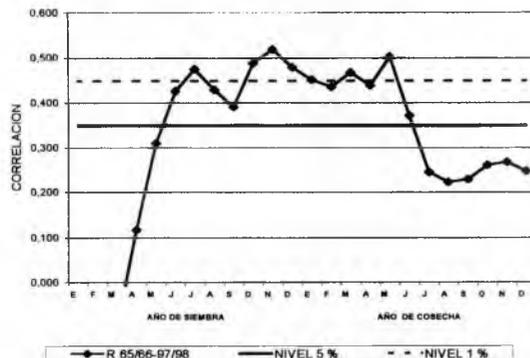


Figura 3. Correlación lineal de los desvíos de rendimiento de maíz con las anomalías mensuales de temperatura del océano del Niño 3.4.

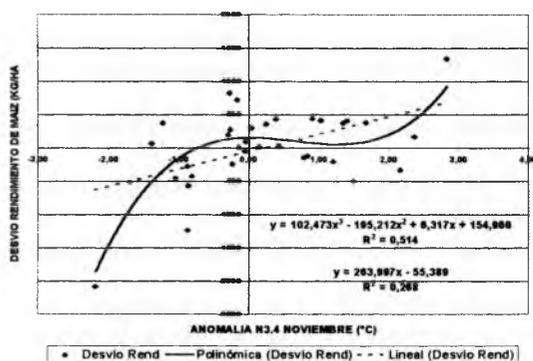


Figura 4. Relación entre la anomalía de temperatura del océano N3.4 del mes de noviembre y los desvíos de rendimiento de maíz.

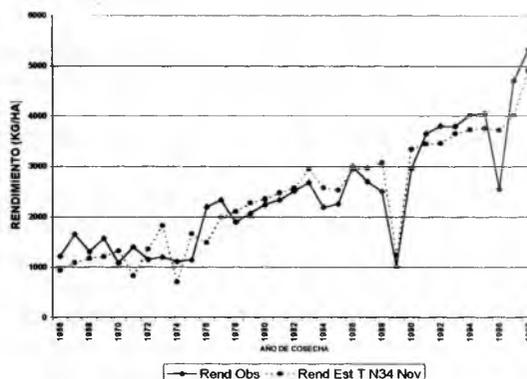


Figura 5. Rendimiento de maíz observado y rendimiento de maíz estimado en función de la anomalía de temperatura del océano N3.4 del mes de noviembre.

señal proveniente de las anomalías del Niño 3.4 de noviembre, se observa un adecuado ajuste (Cuadro N°1 y Figura 5). No obstante, debe señalarse que el moderado enfriamiento del océano registrado en noviembre de 1995 (- 0,88 °C), durante el episodio de “La Niña” iniciado en ese año, no alcanza a explicar la notable disminución de rendimientos observada en dicha campaña. Ello indica que existen otros factores meteorológicos, muy posiblemente de orden local, que resulta necesario incorporar al análisis a fin de mejorar su eficacia.

Sin embargo, en los restantes casos, la capacidad predictiva de la señal provista por el Niño 3.4 es elevada, pudiendo destacarse los notables ajustes correspondientes a “La Niña” 88/89, cuya intensa señal fría (- 2,19 °C) se correlacionó con una fuerte merma de rendimientos, y a “El Niño” 97/98, que cierra el período de análisis con un notable incremento de los mismos debido al pronunciado calentamiento del mar (+ 2,82 °C).

CONCLUSIONES

Las anomalías de temperatura de la zona Niño 3.4 proveen una señal acerca de la puesta en marcha de un mecanismo climático de alta persistencia que afecta significativamente el desarrollo de la campaña agrícola maicera en la provincia de Tucumán. La detección de anomalías negativas a partir del mes de junio, permite dar un aviso de alerta en el sentido de que pueden esperarse mermas de rendimiento en los resultados de la campaña agrícola próxima a iniciarse. Por el contrario, la aparición de anomalías positivas genera la posibilidad de resultados superiores a los normales.

Las anomalías correspondientes al mes de noviembre proveen la señal más fuerte, explicando un 51%, lo cual le confiere una capacidad predictiva suficiente que podría ser empleada en el desarrollo de una herramienta de alerta y pronóstico, con 5 a 6 meses de antelación a la cosecha.

No obstante, los resultados indican que existen otros factores climáticos, muy posiblemente de orden local, que resulta necesario incorporar al análisis a fin de alcanzar un nivel de eficacia compatible con un sistema de alerta y pronóstico.

BIBLIOGRAFÍA

- CLIMATE PREDICTION CENTER. (CPC) 1999. Información disponible en la World Wide Web <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
- DIAZ A.F.; C.D. STUDZINSKI and C.R.MECHOSO, 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate*, 11, 251-271.
- HANSEN J.; A.HODGES and J.JONES, 1998. ENSO influences agricultural in the southeastern United States. *Journal of Climate*, 11 404-411.
- KEPLINGER K.; and W. MJELDE, 1994. The influence of the Southern Oscillations on sorghum yields in selected regions of the world. *Abstract J. Agric. Appl.Econ.*, 26, 324.
- KILADIS, G.N. and H.F.DIAZ. 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2, 1069-1090.
- PEREZ S., E.M.SIERRA, G.CASAGRANDE y G. VERGARA. 1999. Incremento de las precipitaciones (1921/98) en el centro-este de la provincia de La Pampa (Argentina). *Rev.Facultad de Agronomía*, 19 (2): 193-196.
- ROPELEWSKI C.F. and M.S.HALPERT, 1987. Global and Regional Scale Precipitation patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.
- ROPELEWSKI C.F. and M.S.HALPERT, 1996. Quantifying Southern Oscillation-Precipitation Relationships. *Journal of Climate*, 9, 1043-1059.
- SNEDECOR G.W and W.G. COCHRAN, 1980. Statistical methods. The Iowa State University Press. 507 pp.
- THOMPSON, L.M., 1963. Weather and technology in the production of corn and soybeans. C.A.E.D. Rep. 17, Iowa State University, Center for Agric. And Economic Develop.
- THOMPSON, L.M., 1969. Weather and technology in the production of corn in the U.S. corn belt. *Agron. J.* 61: 453-456.
- THOMPSON, L.M., 1970. Weather and Technology in the production of soybeans in the central United States. *Agron. J.* 62: 232-236.