

## EL IMPACTO DEL CLIMA Y LA TECNOLOGIA EN LA VARIABILIDAD REGIONAL DE LOS RENDIMIENTOS DE GIRASOL

R.A. Seiler, R.A. Fabricius y V.H. Rotondo  
 CONICET - Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Est. Postal N°9 - 5800, Río Cuarto, Cba. - Argentina

### RESUMEN

De los múltiples factores que afectan el rendimiento de los cultivos, la fluctuación del clima y la tecnología, asociada esta última con cambios de manejo, mejoras tecnológicas, causas económicas e históricas, son los que más variabilidad producen en grandes áreas geográficas. En base a estos factores se desarrollaron modelos de predicción de rendimientos de girasol (*Helianthus annuus L.*), para la región centro - sur de Córdoba (Argentina). Para el período de tiempo analizado, desde 1960 hasta 1982, un 50% de la variabilidad de los rendimientos es explicado por la tecnología y el clima, mientras que un 23% se debe a las fluctuaciones climáticas. El test y la evaluación de los modelos demostró buena capacidad predictiva de los mismos siendo los errores inferiores al 15%.

Among all factors affecting crop yield, technology, as an indicator of crop management, technological improvements, economics and historical causes, and weather are the main causes of yield variability on a regional scale. Based on those factors yield models for sunflower (*Helianthus annuus L.*) were developed for the central south region of Córdoba (Argentina). For the analyzed period of time from 1960 to 1982, technology and climate explained 50% of the yield variability and, 23% was due to weather. Testing and evaluation of the models have shown their good predictive capabilities with errors less than 15%.

### INTRODUCCION

El análisis de la evolución histórica del cultivo de girasol y su estado actual en la provincia de Córdoba demuestran la importancia del mismo, tanto por el área sembrada anualmente como por la producción total y los rendimientos físicos y económicos.

Esa significancia del cultivo en la economía regional induce a que todos los sectores participantes en el sistema productivo del girasol se interesen por optimizar el manejo dentro de sus esferas de acción, entre ellos los que tienen a su cargo el ordenamiento de la producción. A este sector le corresponde fijar pautas de política agrícola, las cuales deberán basarse entre otras cosas, en la cuantificación anticipada y en tiempo real de la producción agrícola en distintas escalas geográficas.

Los modelos de cultivos en sus distintas categorías (Baier, 1977; Kogan, 1983), son herramientas capaces de generar estimaciones de rendimientos, evaluar el impacto de las fluctuaciones climáticas en la producción de granos, apoyar a la investigación e indicar prácticas de manejo más eficientes de los cultivos. La tecnología de modelos para cultivos agrícolas ha adquirido gran desarrollo en varios países del mundo (Arkin et al, 1976; Baier, 1973; Baker y Horrocks, 1976; Changnon y Neill, 1968; Shawcroft et al, 1974) disponiendo de aplicaciones también en la República Argentina (Ravelo,

1981; Sierra y Pórfido, 1980).

En este trabajo se intenta cuantificar, a través de un análisis de las variaciones históricas de los rendimientos de girasol, los factores tecnológicos y climáticos que afectan las repuestas del cultivo e integrarlos en modelos de estimación de rendimientos para la región centro-sur de Córdoba.

## MATERIALES Y METODOS

Para el presente estudio se seleccionaron cinco departamentos de la región centro-sur de la provincia de Córdoba: Gral. San Martín, Juárez Celman, Río Cuarto, Pte. Roque Saenz Peña y Tercero Arriba. Del ámbito geográfico delimitado se obtuvieron series de rendimientos de girasol desde el período de cultivo 1960/61 hasta 1982/83. Estas series responden a los registros de Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura y se componen de valores departamentales de área sembrada, superficie cosechada, producción y rendimiento por hectárea. Años de las series afectados de posible error o dudosos, fueron excluidos del análisis.

Se dispuso de valores de precipitación mensual para una serie de localidades pertenecientes a los departamentos seleccionados (Dirección Provincial de Hidráulica - Dirección Provincial de Asuntos Agrarios, series mensuales) lográndose un período de tiempo común para los cinco departamentos desde 1969 a 1976. Para las mismas localidades se contó con las temperaturas medias mensuales normales calculadas según Ravelo y Seiler (1975). Agrupando las localidades por los departamentos respectivos se calcularon medias mensuales departamentales de precipitación y temperatura por el método de simples promedios. A partir de la información meteorológica precedente se generaron mediante técnica de balance hidrológico (Palmer, 1975), valores de evapotranspiración potencial, evapotranspiración real y humedad de suelo. Estas variables se utilizaron para el cómputo de índices agrometeorológicos (Yao, 1974; Ravelo y Decker, 1979; World Meteorological Organization, 1982).

La técnica de modelos empleada es la del tipo de regresión múltiple. Estos modelos se basan en los conocidos principios de partición de los rendimientos de las series en dos componentes: 1) tendencia, la cual resulta de la tecnología y la influencia del clima y 2) las fluctuaciones de rendimientos alrededor de la tendencia las cuales dependen de la variabilidad climática (Thompson, 1963; McQuigg, 1975). Debido a la distinta longitud entre las series de rendimientos y datos meteorológicos, estas dos componentes se analizaron mediante modelos independientes. La tendencia para cada uno de los departamentos se aproximó mediante un modelo cuadrático del tiempo en años para el período disponible de rendimientos. La segunda componente, constituida por los desvíos de los rendimientos de las respectivas tendencias, se modeló para el conjunto de los departamentos, en función de las condiciones particulares de cada año expresadas a través de las variables meteorológicas e índices mencionados. El grupo más adecuado de variables independientes, se seleccionó en base a los coeficientes de correlación parcial y errores estándar de estimación (Neter y Wasserman, 1974). En última instancia, la significancia biológica de cada una de las variables determinó la inclusión o exclusión de las mismas del modelo.

La prueba de los modelos se efectuó estimando rendimientos de siete años para cada departamento. Las estimaciones se efectuaron

aplicando conjuntamente los modelos para las dos componentes. Previo a la estimación y para cada año, se recalcularon los coeficientes del modelo de la variabilidad climática excluyendo de la serie disponible el año a estimar. La evaluación se realizó mediante parámetros estadísticos desarrollados a partir de los valores estimados y observados (Wilson et al, 1980).

## RESULTADOS Y DISCUSION

La tendencia para cada departamento responde al siguiente modelo:

$$Y = \bar{Y} + b_1 (X_1 - \bar{X}_1) + b_2 (X_1^2 - \bar{X}_1^2).$$

donde Y es el nivel de rendimiento esperado según clima y tecnología existente;  $\bar{Y}$  es el rendimiento promedio de la serie departamental;  $b_1$  y  $b_2$  son los estimadores de los parámetros del modelo;  $X_1$  y  $X_1^2$  representan respectivamente la variable tiempo en años y el cuadrado de la misma, asumiendo valores según la siguiente codificación: 1960 = 1, 1961 = 2, ..... 1982 = 23;  $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_1^2$  son las respectivas medias de  $X_1$  y  $X_1^2$ . Los resultados del desarrollo de los modelos se presentan en el Cuadro 1. Los errores estándar de estimación y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) no deberían ser considerados como medidas del comportamiento de los modelos en este estado intermedio de estimación ya que el principal objetivo es la estimación satisfactoria del rendimiento final. No obstante, a través de los  $R^2$  se puede inferir el porcentaje de variabilidad de los rendimientos que se supone debido a la tendencia. Para el conjunto de los departamentos, el  $R^2$  promedio calculado según Faller (1981) es igual a 0,50.

CUADRO 1 - Coeficientes y significancia estadística de los modelos de estimación de la tendencia

Departamento	Rendimiento promedio (1960 / 82)	N	$b_1$	$b_2$	Error Estándar (Kg ha <sup>-1</sup> )	$R^2$
G.S. Martín	705,7	20	-14,89	0,958	93,7	0,38
J. Celman	699,4	20	-15,87	1,359	100,2	0,65
Río Cuarto	753,1	22	-11,43	1,044	152,6	0,34
P.R.S. Peña	675,8	20	- 8,43	1,159	106,1	0,67
T. Arriba	720,0	20	-21,00	1,205	97,7	0,40

N: número de años;  $b_1$  y  $b_2$ : coeficientes del modelo;  $R^2$ : coeficiente de determinación

El número de años utilizado en el análisis (Cuadro 1) es menor en todos los casos que la longitud de la serie considerada. Esto se debe a que en cada una de las series (Figura 1), rendimientos muy altos o muy bajos comparados con el resto, se suponen debidos a situaciones ambientales raras o poco frecuentes o tal vez afectados de error y que por lo tanto no deben incluirse en la aproximación de la tendencia. De acuerdo a esto se excluyen, únicamente para el ajuste de esta componente, los rendimientos de los años con una fuerte reducción del área cosechada y aquellos años cuyos rendimientos superan  $\pm 50\%$  del promedio de la serie completa.

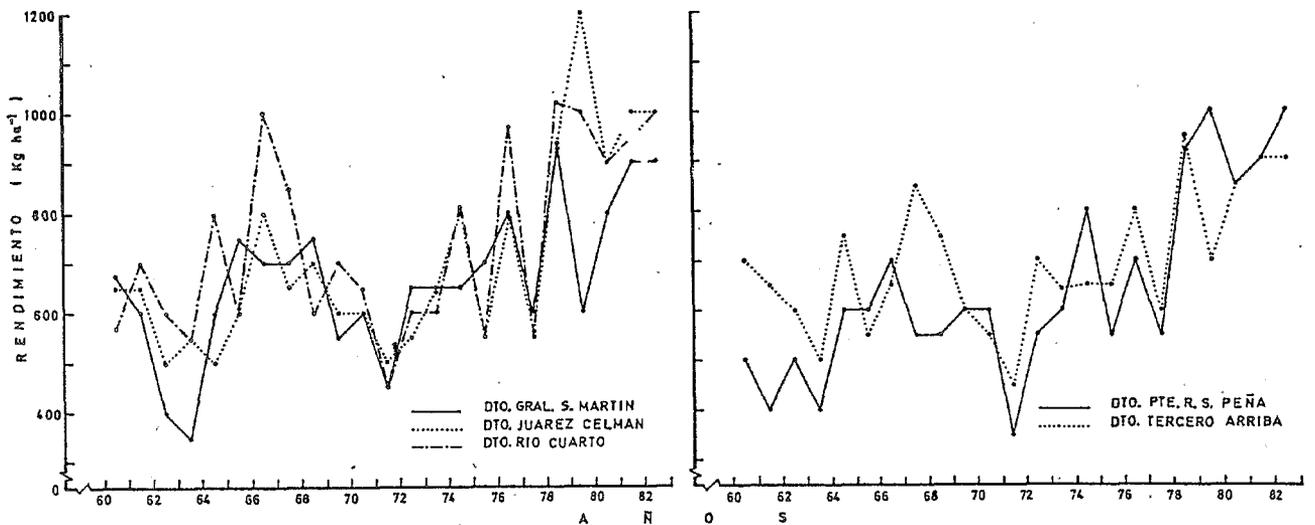


FIGURA 1 - Series de rendimientos departamentales de girasol

La variabilidad de los rendimientos debido a las condiciones meteorológicas particulares se ajusta el siguiente modelo:

$$Y_i = b_0 + \sum_{k=1}^P b_k Z_{ik}$$

donde  $Y_i$  es el desvío respecto de la tendencia para un año;  $b_0$  y  $b_k$  son los estimadores de los parámetros del modelo;  $P$  es el número de variables independientes y  $Z_{ik}$  representa el valor de la  $k$ -ésima variable independiente para la observación  $i$  ( $i$  asume valores de 1 a  $n$ ).

Las variables independientes seleccionadas son la precipitación del mes de noviembre, la precipitación del mes de diciembre y la precipitación de enero. Cada una de estas variables interviene en el modelo (Cuadro 2), como un desvío entre el valor registrado en un año y la media respectiva de la serie disponible. La contribución de los coeficientes  $b_2$  y  $b_3$  es altamente significativa (Prob.  $\geq t$  inferior al 1%). La aparente contribución no significativa de  $b_1$  no permitió excluir del modelo la variable asociada, ya que conjuntamente todas las variables seleccionadas son estadísticamente significativas (Prob.  $\geq F$  inferior al 5%). El modelo desarrollado explica el 46% de la variabilidad respecto de la tendencia.

CUADRO - 2 - Coeficientes y significancia estadística del modelo de estimación de la variabilidad respecto de la tendencia

Variable	Coeficientes del modelo	Test "t"		Error estándar (Kg ha <sup>-1</sup> )	Test "F"		R <sup>2</sup>
		t	Prob $\geq t$		F	Prob $\geq F$	
Precipitación Noviembre	0,191( $b_1$ )	0,51	0,30	80,1	8,86	<0,05	0,46
Precipitación Diciembre	0,689( $b_2$ )	2,57	<0,01				
Precipitación Enero	1,024( $b_3$ )	2,84	<0,01				

$b_0 = -43,63$

El comportamiento de los modelos en la estimación del rendimiento final puede observarse en el Cuadro 3 para cada uno de los cinco departamentos. En todos los casos el error medio no es significativamente diferente de cero ( $t_c < t$ ) siendo el error medio absoluto similar en magnitud para todos los departamentos, aunque ligeramente mayor para estimaciones en Pte. R.S. Peña. Esa menor exactitud para este departamento se refleja también en una menor precisión, cuantificada por un error estándar de estimación de 99,7 Kg ha<sup>-1</sup>, el cual representa un 16,6% de error con respecto a la media de los rendimientos observados. En el resto de los departamentos el error estándar de estimación no supera el 14% del promedio de los rendimientos observados durante los siete años.

CUADRO 3 - Medidas cuantitativas de la confiabilidad de los modelos testeados por departamento

Dpto.	N	$\bar{Y}$ (S <sub>y</sub> )	$\bar{\hat{Y}}$ (S <sub><math>\hat{Y}</math></sub> )	EM	t <sub>c</sub>	EMA	ESE	E
G.S. Martín	7	629 (111,3)	623 (99,7)	- 5,6	0,17	60,4	85,7	10,6
J. Celman	7	642 (117,0)	620 (121,1)	-21,6	0,85	59,6	67,0	9,2
R. Cuarto	7	676 (172,4)	670 (89,9)	- 5,1	0,17	60,3	80,3	9,4
P.R.S. Peña	7	600 (138,4)	615 (129,4)	14,9	0,40	78,3	99,7	13,7
T. Arriba	7	620 (107,2)	623 (60,3)	2,2	0,07	67,8	86,9	12,2

$$t_{0,95;6} = 1,943$$

N: número de años;  $\bar{Y}$ ,  $\bar{\hat{Y}}$ , S<sub>y</sub>, S <sub>$\hat{Y}$</sub> : medias y desviaciones estándar de los rendimientos observados y estimados respectivamente (Kg ha<sup>-1</sup>); EM: error medio (Kg ha<sup>-1</sup>); t<sub>c</sub>: t calculado; EMA: error medio absoluto (Kg ha<sup>-1</sup>); ESE: error estándar de estimación (Kg ha<sup>-1</sup>); E: error porcentual.

### CONCLUSIONES

De la variabilidad total de los rendimientos de girasol durante el período analizado y para los cinco departamentos en consideración, la tecnología y el clima explican un 50%, mientras que un 23% es explicado por la variabilidad climática. La simple precipitación mensual fue la variable mejor relacionada estadísticamente con los rendimientos. Los modelos resultantes en este primer intento de relacionar respuestas biológicas a causas ambientales, muestran un comportamiento aceptable, son sencillos de desarrollar y operar y de bajo costo, pero mayor énfasis deberá ser puesto en la calidad y cantidad de información básica a ser usada en ajustes futuros y en la estimación de la tendencia. Usando los modelos desarrollados en este trabajo, pueden efectuarse predicciones de rendimientos tan pronto como a fin de enero.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con aporte parcial de subsidios del Consejo de Investigaciones de Córdoba (CONICOR). Los autores agradecen a la Sra. de Vivas y al Sr. Fenoglio de la Secretaría de Agricultura, por la colaboración prestada en la recopilación de información biológica; al Sr. Palacios de la Dirección de Hidráulica de Córdoba por el suministro de datos meteorológicos y al Sr. R. Branquer por el apoyo en computación y elaboración de gráficos.

## BIBLIOGRAFIA

- ARKIN, G.F., VANDERLIP, R.L. y RITCHIE, J.T. 1976. A dynamic grain sorghum model. Transaction of the ASAE. 19, 622-626, 630.
- BAIER, W. 1973. Crop weather analysis model; review and model development. Journal of Applied Meteorology. 12, 937-947.
- BAIER, W. 1977. Crop weather models and their use in yield assessments. Tech. Note N°151. Geneva: World Meteorological Organization N° 458, 48 pp.
- BAKER, C.H. y HORROCKS, R.D. 1976. Cornmod: A dynamic simulator of corn production. Agricultural Systems. 57-77.
- CHANGNON, S.A., Jr y NEILL, J.C. 1968. A mesoscale study of corn weather response on cash-grain farms. Journal of Applied Meteorology. 7, 94-104.
- DIRECCION PROVINCIAL DE HIDRAULICA - DIRECCION PROVINCIAL DE ASUNTOS AGRARIOS, series mensuales. Boletín Agrometeorológico Provincial. Córdoba.
- FALLER, A.J. 1981. An average correlation coefficient. Journal of Applied Meteorology. 20, 303-205.
- KOGAN, F. 1983. Environment - crop models and considerations for their utilization for crop production estimates on a large area. American Meteorology Society, 16th Conference of Agriculture and Forest Meteorology, 106-120.
- MCQUIGG, J. 1975. Modelling of the impact of climatic variability for the purpose of estimating grain yields. Third Conference on Biometeorology, American Meteorology Society, August 18-23, 1975. College Park, MD.
- NETER, J. y WASSERMAN, W. 1974. Applied linear statistical models Homewood, IL: Richard D. Irwin, Inc. 842 pp.
- PALMER, W.C. 1965. Meteorological drought. U.S. Department of Commerce, Research Paper N° 45. Washington, DC. 60 pp.
- RAVELO, A.C. 1981. Modelos matemáticos de rendimientos. Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Informe Final. Buenos Aires. Argentina. 86 pp.
- RAVELO, A.C. y DECKER, W.L. 1979. The probability distribution of a soil moisture index. Agricultural Meteorology. 20, 301-312.
- RAVELO, A.C. y SEILER, R.A. 1975. Agroclima de Córdoba: Temperaturas normales. Cátedra de Agroclimatología, Universidad Nacional de Río Cuarto. No publicado.
- SHAWCROFT, R.W., LEMON, E.R., ALLEN, L.H., STEWART, D.W. y JENSEN, S.E. 1974. The soil-plant-atmosphere model and some of its predictions. Agricultural Meteorology. 14, 287-307.
- SIERRA, E.M. y PORFIDO, O.D. 1980. Factores que afectan los rendimientos en la región maicera argentina. Revista de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires. 1, 49-64.
- THOMPSON, L.M. 1963. Evaluation of weather factors in the production of grain sorghums. Agronomy Journal. 55, 182-185.
- WILSON, W.W., BARNETT, T.L., LEDUC, S.K. y WARREN, F.B. 1980. Crop yield model test and evaluation criteria. AGRISTARS YM D 1-1-2 (80 - 2.1).
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1982. The effect of meteorological factors on crops yields and methods of forecasting the yield. Tech. Note N° 174. Geneva: World Meteorological Organization N° 566, 54 pp.
- YAO, A.Y.M. 1974. Agricultural potential estimated from the ratio of actual to potencial evapotranspiration. Agricultural Meteorology. 13, 405-417.