

**UN MODELO DE RENDIMIENTO
PARA SORGO GRANIFERO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH.)**

R.A. SEILER (*)

Recibido: 11-10-90

Aceptado: 21-12-90

RESUMEN

Los modelos de cultivos constituyen una herramienta útil en materia de investigaciones científicas, de predicción de estado fenológico de los cultivos y para la evaluación de diferentes alternativas culturales y de manejo en agricultura, entre otros usos posibles. A través de este trabajo se presenta una alternativa de modelo de rendimiento para sorgo granífero, basado en el efecto de determinadas variables agrometeorológicas sobre los distintos estados de desarrollo del cultivo a lo largo del ciclo. El modelo consta de una componente debida a la variabilidad agrometeorológica y otra asociada con el lugar geográfico. Los elementos predictores en el modelo para la componente agrometeorológica son la evapotranspiración real acumulada durante los períodos reproductivo y maduración, el promedio de las temperaturas máximas durante el período de maduración y la interacción entre el promedio de las temperaturas máximas y la precipitación total durante el período reproductivo. Dos variables indicadoras son usadas para cuantificar las diferencias, distintas del ambiente, entre lugares geográficos. El modelo explica el 77% de la variabilidad de los rendimientos de sorgo en la región considerada, siendo posible estimaciones de rendimientos con un error inferior al 15%.

Palabras clave: modelo estadístico de rendimiento, sorgo granífero, variables ambientales (predictoras)

A CROP YIELD MODEL FOR GRAIN SORGHUM (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH.)

SUMMARY

Crop models are important tools for scientific research, for crop development prediction and for the evaluation of different cropping alternatives and management in agriculture, among other use. An alternative crop yield model for grain sorghum was developed based on the effect of specific agrometeorological variability and another component associated with location. The sum of the actual evapotranspiration during reproductive and maturity periods, the average of the maximum temperature during the maturity period, and the interaction between the average maximum temperature and total precipitation during the reproductive period were the predictor variables in the agrometeorological component. Two indicator variables were used to account for the interlocation differences, other than weather. The model explains 77% of the sorghum yield variability for the region where it was developed and predictions for the model are possible withing an error of 15%.

Key words: yield statistical model, grain sorghum, environmental, variables (predictors).

(*) CONICET- Universidad Nacional de Río Cuarto. Cátedra de Agrometeorología, Fac. de Agronomía y Veterinaria. Estafeta Postal N° 9 - 5800 Río Cuarto, Córdoba.

INTRODUCCION

La producción agrícola constituye la principal fuente de alimentos en el mundo y a su vez un importante generador de divisas para países exportadores. Los rendimientos de los cultivos no son estables en el tiempo sino que por el contrario están sujetos a una variabilidad de año en año, la cual con pocas excepciones está fuertemente relacionada con la variabilidad climática (Burrows, 1977; McQuigg, 1976; Kreaswn, 1980). Además del clima, el suelo y su productividad, completan los recursos naturales necesarios para la producción, que junto con las prácticas de manejo y el potencial productivo de las especies, determinan los rendimientos.

La producción agrícola es entonces el resultado de un sistema en el que interactúan variables y factores. Análisis que contemplen sólo algunos de los componentes del sistema de producción agrícola, sin considerar la interacción con los demás, son incompletos e inadecuados por su simplificación.

El análisis desde el concepto de sistema no es simple y requiere del uso de otros métodos de trabajo, además de los tradicionales. El desarrollo de modelos matemáticos ofrece una interesante posibilidad en el campo de los estudios agronómicos. Estos modelos pueden cuantificar el efecto que causan los cambios en las variables del sistema de producción agrícola en las respuestas de los cultivos. Estudios integrados del sistema mediante el empleo de modelos matemáticos, permiten la cuantificación de los principales componentes que inducen fluctuaciones en la producción y el desarrollo de estrategias de manejo conducentes a un aumento en la producción a la vez que lograr rendimientos más estables en el tiempo.

El objetivo de este trabajo es presentar una posibilidad dentro de los distintos tipos de modelos de

cultivos y de situaciones que se pueden abordar mediante los mismos en el sector agrícola (Baier, 1977; Howell, 1990; Lal et al., 1990; Ritchie, 1989). A los fines de este intento, se desarrolla un modelo de cultivo-tiempo-clima para estimar rendimientos de sorgo granífero, basado en datos e información de la región centro-oeste de los Estados Unidos y en un trabajo de tesis sobre el mismo tema (Seiler, 1983).

MATERIALES Y METODOS

a) Datos biológicos.

Series de rendimiento de sorgo granífero desde 1960 a 1980, fueron obtenidos para estaciones experimentales cuya ubicación geográfica se muestra en la Figura 1. Estos datos son publicados en Kansas grain performance test (1958/80) y Missouri crop performance (1958/80), como el resultado de ensayos territoriales conducidos con fin de proveer a los agricultores información sobre el comportamiento de diferentes híbridos. No obstante la finalidad de estos ensayos, sus resultados son una fuente de información aceptable para el desarrollo de modelos estadísticos biológicos. Además de los rendimientos de los distintos híbridos o variedades, se publican las fechas de siembra, fechas de ocurrencia de plenitud de floración y ocasionalmente información ambiental, como característica del suelo, condiciones meteorológicas durante la estación de cultivo, enfermedades, daños de pájaros y vuelco de plantas.

Para el propósito de este trabajo, el rendimiento de sorgo de cada año en particular y para cada estación experimental, fue calculado como el promedio de rendimiento entre todos los híbridos y variedades ensayadas en el mismo lugar y ese año. Algunos años



Figura 1: Ubicación de las estaciones experimentales seleccionadas para el análisis.

debieron ser excluidos de las series debido a sospechas de efectos de otros factores no identificados y distintos del factor climático.

Los estados fenológicos del cultivo de sorgo se estimaron para cada año de las series de acuerdo a un modelo de regresión propuesto por Neild y Seeley (1977). Este modelo, que considera como variables independientes las temperaturas máxima y mínima diarias, se aplicó a partir de la fecha de siembra para simular las fases que se describen en el Cuadro N° 1.

Para comprobar la bondad del modelo fenológico en el área geográfica en consideración, se compararon mediante la técnica de correlación-regresión, las fechas de ocurrencia de plenitud de floración estimadas, con las observadas cada año. El error estándar de estimación (ESE) y el error medio absoluto (EMA), fueron de 5,5 días y 4,4 días, respectivamente (Figura 2). Estos resultados son un buen indicador de la adaptabilidad del modelo de Neild y Seeley para predicciones en los estados de Missouri y Kansas en EEUU.

b) Datos climáticos y de suelo.

Los datos climáticos básicos usados en el análisis fueron observaciones diarias de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, junto con estimaciones diarias de radiación solar, todos en series de tiempo concurrentes con las de rendimientos. Las series de precipitación fueron obtenidas en todos los casos de la estación meteorológica del lugar del experimento. La misma situación fue válida para temperatura, excepto para dos sitios experimentales (Powhattan y Palmyra) en donde las temperaturas debieron ser obtenidas de las estaciones meteorológicas más próximas a los respectivos lugares. La radiación solar correspondió a la de las estaciones más próximas a los lugares experimentales, siendo estimada a partir de la observación de la nubosidad (National Oceanic and Atmospheric Administration, 1978).

El tipo de suelo de los lugares de ensayo, su descripción y capacidad de retención de agua, se obtuvieron de los relevamientos de suelos por

Cuadro N° 1: Fases del crecimiento y desarrollo del sorgo granífero y su cuantificación mediante una escala apropiada, según Vanderlip y Reeves (1972).

ESTADO DE DESARROLLO	INDICE
Emergencia- Coleoptilo visible	0,0
Collar de la 3a hoja visible	1,0
Collar de la 5a hoja visible	2,0
Diferenciación del ápice	3,0
Ultima hoja visible en la vaina	4,0
Bota - Panoja cubierta por hoja bandera	5,0
Plenitud de Floración	6,0
Madurez cérica	7,0
Madurez vítrea	8,0
Madurez fisiológica	9,0

condados y estados (United States Department of Agriculture, series corrientes). Para cada tipo de suelo, el total de agua disponible se calculó hasta 1,50 m de profundidad.

c) Datos agrometeorológicas

Se calcularon los valores diarios de evapotranspiración máxima del cultivo (ET_{max}) y evapotranspiración real (ET), mediante el empleo de un modelo desarrollado por Kanemasu et al. (1976). La ET_{max} es definida para un clima particular, según el desarrollo de la planta y su fisiología, cuando la misma está en una situación de buena provisión de agua, (Rosenberg et al., 1983). Según su uso en este trabajo, la ET_{max} se define como la evapotranspiración del sorgo con adecuada provisión de agua, en condiciones de no advección y cuando el índice de área foliar (IAF) es igual o superior a 2,7.

El aumento del área foliar, medido como índice de área foliar, fue simulado teniendo en cuenta los grados día de temperatura acumulados desde la emergencia. Para esa simulación se utilizaron funciones empíricas desarrolladas por Seiler (1983), a partir de datos de IAF de Columbia, MO (Knell, 1972).

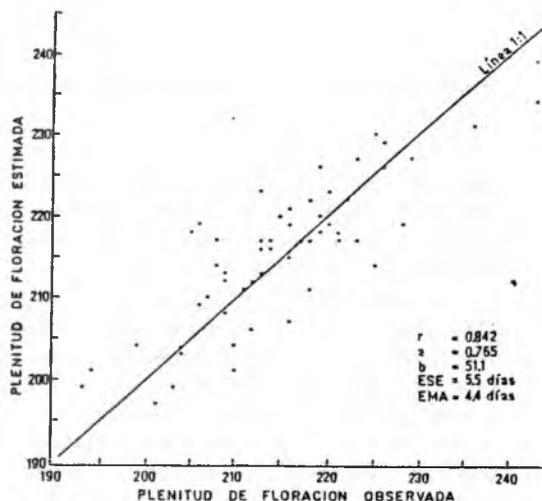


Figura 2: Relación entre plenitud de floración observada y estimada, de 55 fechas de siembra. (r: Coeficiente de correlación; a y b: Parámetros de regresión; ESE: Error estándar de estimación; EMA: Error medio absoluto).

d) Variables ambientales y el modelo de rendimiento

El modelo de rendimiento se basa en variables climáticas que demuestran producir efectos en la fisiología, en

el crecimiento y desarrollo y en el rendimiento, del cultivo de sorgo. Se consideran además los periodos de tiempo durante el ciclo del cultivo, más críticos a los cambios de esas variables. Estas condiciones fueron identificadas usando una metodología aplicada para sorgo por Seiler (1983).

La evapotranspiración, las temperaturas máximas y mínimas y la radiación solar se presentaron como los elementos climáticos dominantes, causales de la variabilidad anual de los rendimientos en la región estudiada. Los periodos críticos del cultivo a esos elementos, ocurren principalmente durante el estado de bota y antes, a principio de maduración, siendo esta manifestación constante para las citadas variables en los distintos lugares experimentales. El periodo de menor sensibilidad a las variables identificadas anteriormente, corresponde al intervalo desde siembra hasta el momento de diferenciación del ápice.

De acuerdo a las respuestas generales observadas, se dividió el ciclo del cultivo del sorgo en tres subperiodos principales, identificados como vegetativo (0 a 4), reproductivo (4 a 7) y madurez (7 a 9). El rendimiento de grano se supone determinado por una magnitud igual a la sumatoria o al promedio del elemento ambiental considerado, dentro de cada uno de los subperiodos definidos. Según este supuesto, los valores diarios de ET fueron acumulados desde el comienzo hasta el final de cada subperiodo, mientras que las temperaturas máximas, mínimas y la radiación solar, fueron respectivamente promediadas dentro de cada subperiodo.

Además de esas nuevas variables, la precipitación acumulada por subperiodos, junto con las transformaciones cuadradas, componen un grupo de posibles predictores del rendimiento los cuales se analizaron por correlación-regresión. La evaluación de esas variables para seleccionar los predic-

tores finales del modelo, se efectuó mediante el Test General de Linearidad (Neter y Wasserman, 1974).

La heterogeneidad entre los lugares experimentales debido a diferencias de factores ambientales (atmosféricos y suelos) y de datos de todos los sitios de experimentación son combinados para un análisis conjunto. A los fines de reducir este error en el análisis de los datos combinados, fueron introducidas variables indicadoras. Estas variables ("dummy variables"), son usadas para contabilizar efectos desconocidos o no medidos en los lugares experimentales, distintos del tiempo y del clima. Cada una de las variables independientes, excepto las indicadoras, se expresaron como desviación respecto de su media regional obtenida de las series disponibles, según se muestran en el Cuadro N° 2 (Neter y Wasserman, 1974).

La variabilidad de los rendimientos de sorgo granifero se asume explicada por el siguiente modelo:

$$Y_i = B_0 + \sum_{k=1}^p B_k Z_{ik} + E_i$$

donde:

$$Y_i = B_0 + \sum_{k=1}^p B_k Z_{ik} + E_i$$

Y_i es el rendimiento en el i -ésimo ensayo; B_0 y B_k son parámetros desconocidos del modelo; E_i es el término del error aleatorio; i se refiere a una observación, asumiendo valores de 1 a n y correspondiendo cada observación a un año y lugar de ensayo particular; p es el número de variables independientes; Z_{ik} representa el valor de la k -ésima variable independiente en el i -ésimo ensayo, expresada como una desviación de la media regional.

La forma general de Z es como sigue:

$$Z_{ik} = (X_{ik} - \bar{X}_{.k})$$

donde X_{ik} es el valor de la k -ésima variable y $\bar{X}_{.k}$ es la media regional de

Cuadro N° 2: Medias regionales utilizadas para calcular los valores de las variables predictoras del modelo de rendimiento de sorgo.

VARIABLE	ETrm	TMXr	TMXr	TPRr
UNIDAD	mm	oC	oC	mm
MEDIA	179,6	32,0	30,2	77,9

ETrm: Evapotranspiración real acumulada en los períodos reproductivo y de maduración; TMXrc: Promedio de las temperaturas máximas durante el período reproductivo; TMXmc: Promedio de las temperaturas máximas durante el período de madurez; TPRr: Precipitación acumulada durante el período reproductivo.

esa variable en particular. Z_{ik} puede representar también una variable indicadora.

Suponiendo que la media de E_i es igual a cero y utilizando los estimadores de los parámetros en la función de respuesta, el rendimiento es estimado según el siguiente modelo:

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

donde y_i es la estimación puntual de la media de rendimiento y b_0 y b_k son los estimadores de los parámetros del modelo.

El modelo de rendimiento consta de dos componentes principales: una componente debida a la variabilidad agrometeorológica y otra componente asociada con el lugar experimental. La primera componente, la cual comprende tres variables agrometeorológicas independientes, en el sentido del modelo, representa las condiciones climáticas que afectan el rendimiento del cultivo durante la estación de crecimiento. Las variables meteorológicas son: la desviación respecto de la sumatoria de la evapotranspiración (mm) entre el comienzo del subperíodo reproductivo y el final del período de madurez (ETrm); el cuadrado de la desviación del promedio de la temperatura máxima (°C) durante el subperíodo de madurez (TMXmc²); y la interacción, computada como el producto de los desvíos de la precipitación acumulada (mm) y del promedio de la temperatura

máxima (°C), ambos durante el período reproductivo (PTMXr²). Para la aplicación del modelo las desviaciones pueden calcularse usando las medias regionales dadas en el Cuadro N° 2.

RESULTADOS Y DISCUSION

a. Verificación del modelo

Los estimadores de los parámetros del modelo de rendimiento se muestran en el Cuadro N° 3. Estos parámetros se determinaron usando rendimientos y variables predictoras de 55 fechas de siembra, de las 71 fechas disponibles. Las restantes 16 fueron usadas para probar el modelo.

R^2 fue igual a 0,77 y el error estándar de estimación de 816,0 kg. Este error representa el 14,3% del promedio de los rendimientos usados para el desarrollo del modelo.

Las variables X_1 y X_2 representan las variables indicadoras; X_1 es igual a 1 cuando las estimaciones de rendimientos son efectuadas por Hutchinson en Kansas, mientras que asume el valor de 0, para estimaciones en los restantes lugares experimentales, X_2 asume el valor de 1 para estimaciones de rendimiento en Palmyra (MO) siendo igual a 0 en las restantes localidades.

Cuadro N° 3: Estimadores de los parámetros del modelo de sorgo e indicadores estadísticos, asociados con datos utilizados para su desarrollo.

	Variables predictoras					
	Intercepción	ETrm	TMXmc2	PTMXr	X1	X2
Estimador	6444,16	13,38	-45,75	3,13	-1523,21	1442,08
	Coeficiente de determinación				0,77	
	Raíz del cuadrado medio del error				816 Kg.ha ⁻¹	

ETrm: desvío respecto de la media regional de la evapotranspiración acumulada durante los períodos reproductivos y de maduración; TMXmc2: cuadrado del desvío respecto de la media regional del promedio de temperatura máxima durante el período de maduración; PTMXr: producto de los desvíos respecto de las medias regionales, de precipitación acumulada y del promedio de temperaturas máximas, durante el período reproductivo; X1 y X2: variables indicadoras.

La variable asociada con temperatura máxima, TMXmc2, no produce impacto en el rendimiento cuando el promedio de las temperaturas máximas durante el subperíodo de madurez del cultivo es igual a la media regional. En este caso, el rendimiento responderá a la magnitud de las otras variables del modelo. Temperaturas más bajas o más altas que la media regional causarán disminución del rendimiento en relación directa con el cuadrado de las desviaciones.

El estimador relacionado con la evapotranspiración muestra la segunda contribución más importante en el modelo. De acuerdo al mismo la contribución parcial de ET es nula cuando su valor es igual al promedio regional. Sin embargo, cuando otras variables en el modelo son constantes, cada mm de ET por encima del promedio, incrementará el rendimiento final en 13,4 kg.ha⁻¹ y una igual magnitud, pero en disminución, se producirá por cada mm por debajo del promedio. La validez de este coeficiente en el modelo se corrobora con resultados experimentales de investigación usando diferentes variedades de sorgo granífero en lugares con diferentes situaciones climáticas y prácticas de

manejo (Garrity et al., 1982; Howel y Hiller, 1975; Stewart et al., 1975).

El estadístico de regresión para la variable de interacción, PTMXr, indica una pequeña contribución en la variación del rendimiento, comparado con los otros estadísticos del modelo. Sin embargo, el efecto de este término en el rendimiento final puede ser bastante importante según la magnitud de los valores de precipitación y temperatura máxima que ocurran durante el subperíodo reproductivo del cultivo. La ocurrencia de valores de ambas variables en igual magnitud que sus respectivas medias regionales, determinará que la contribución parcial de este término sea nula. Precipitación por encima de la media, con ocurrencia simultánea de temperatura máxima por debajo de media, provocarán una disminución del rendimiento. El mismo efecto predictivo se logra con precipitación inferior y temperatura máxima superior a las medias, respectivamente.

La magnitud de los estadísticos asociados con las dos variables indicadoras es grande comparada con la de los otros estadísticos de regresión. El impacto de esta constante en el rendimiento final afecta únicamente

Cuadro N° 4: Rendimiento de sorgo en los años seleccionados para la prueba del modelo y resultados del comportamiento del modelo durante los mismos años.

Estación	Año	Rendimiento (Kg. ha ⁻¹)		Error (%)
		Observado	Estimado	
Columbia	1967	5028	5477	+ 8,9
	1969	6089	5730	- 5,9
	1970	5028	5730	+10,9
	1980	2895	4160	+43,7
Parsons	1971	7596	6946	- 8,6
	1975	5237	5737	+ 8,6
Spickard	1965	4947	5646	+14,1
Powhattan	1971	5399	5694	+ 5,5
	1972	7596	6696	-11,8
Palmyra	1965	7163	6146	-14,2
	1975	5681	7842	+38,0
Hutchinson	1962	4457	5107	+14,6
	1963	4834	4204	-13,0
	1967	4206	51381	+22,1
	1969	2825	3643	+29,0
Mt. Vernon	1975	5345	5711	+ 6,8

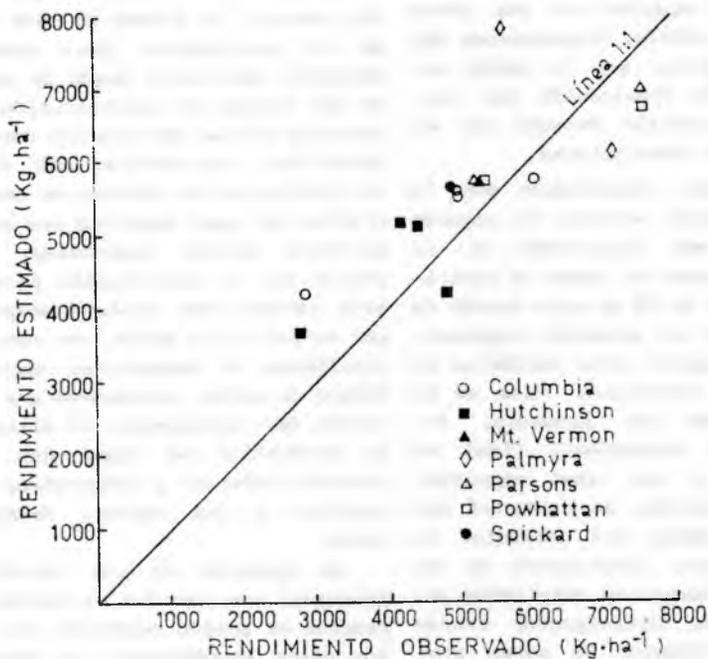


Figura 3: Relación entre los rendimientos estimados por el modelo y los rendimientos observados, de los años seleccionados para la prueba del modelo.

Cuadro N° 5: Indicadores cuantitativos de la bondad del modelo de rendimiento de sorgo, evaluado sobre un conjunto independiente de datos observados (excluido el rendimiento de 1980 - Columbia).

INDICADOR	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Promedio rendimientos observados	\bar{Y}	5431,1	Kg. ha ⁻¹
Promedio rendimientos estimados	$\hat{\bar{Y}}$	5686,3	Kg. ha ⁻¹
Desviación estándar rend. observados	S_y	1283,4	Kg. ha ⁻¹
Desviación estándar rend. estimados	$S\hat{y}$	1019,0	Kg. ha ⁻¹
Pares de valores obser./estimados	N	15	-
Intercepción de la regresión	a	2431,7	Kg. ha ⁻¹
Pendiente de la regresión	b	0,601	-
Error medio absoluto	EMA	729,3	Kg. ha ⁻¹
Error medio de los desvíos	EMD	255,1	Kg. ha ⁻¹ *
Raíz del cuadrado medio del error	RCME	850,5	Kg. ha ⁻¹
Error sistemático	RCMEs	556,6	Kg. ha ⁻¹
Error no sistemático	RCME _n	643,1	Kg. ha ⁻¹
Coefficiente de correlación simple	r	0,757	-

* No significativamente diferente de cero ($t_{0,10} = 1,16$; $t_{0,05} = 1,76$).

las localidades de Palmyra y Hutchinson. Estos términos asociados con las localidades agregan o restan respectivamente una cantidad fija, al rendimiento estimado según las condiciones climáticas particulares.

b. Prueba y evaluación del modelo

El modelo se probó con los rendimientos de 16 fechas de siembra. Para cada una de las fechas se estimó el rendimiento utilizando el modelo desarrollado y las estimaciones se compararon con los rendimientos observados respectivos. Resultados de esas comparaciones pueden verse en la Figura 3, en donde se destaca la correspondencia entre estimaciones y observaciones, excepto para tres casos en donde las diferencias son relativamente grandes.

En el Cuadro N° 4 se calcularon los errores porcentuales para cada uno de los 16 casos comparados. Del análisis del cuadro se destaca que en el 75% de los años los errores son inferiores al 15% y que en el 50% de esos años los errores son inferiores al 10%. Los tres casos de errores

grandes (1980- Columbia; 1975-Palmyra; 1969-Hutchinson) corresponden a sobreestimaciones del modelo.

El rendimiento observado en Columbia en 1980 fue el más bajo en 20 años. Esta reducción fue una consecuencia de condiciones muy severas de calor y sequía que prevalecieron durante la mayor parte del ciclo del cultivo (Missouri crop performance, 1980). En Palmyra en 1975, la magnitud de las variables predictoras fueron muy próximas a sus respectivas medias regionales y de los informes del año (Missouri crop performance, 1975), se deducen condiciones de tiempo favorable. Consecuentemente, el modelo estima un buen rendimiento, no encontrándose razones que expliquen el bajo valor observado. La sobre estimación en Hutchinson en 1969 se sospecha fue debida a un ataque de insectos, aunque para ese año no se informaron daños específicos (Kansas grain sorghum performance test, 1969).

Para evaluar la confiabilidad del modelo se utilizó un conjunto de indicadores (Fox, 1981; Neter y Wasserman, 1974; Willmot, 1982; Wilson et al.,

1980). Según este último autor, cuando las condiciones ocurridas durante un año en particular son muy improbables de ocurrir en el futuro, debería considerarse la remoción del rendimiento de ese año, del conjunto de rendimientos disponibles para la evaluación. De acuerdo con este concepto, el rendimiento correspondiente a 1980 para Columbia fue excluido y los indicadores de confiabilidad del modelo se calcularon sobre los 15 años restantes (Cuadro N° 5). El error estándar de estimación de $850,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ representa un error de 15,6% respecto del promedio de rendimiento de los años seleccionados para la comprobación. El modelo sobre estimó los rendimientos en $255,1 \text{ kg.ha}^{-1}$ según el promedio de los desvíos, valor que no resulta significativamente diferente de cero. El error medio absoluto de $729,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ indica un buen ajuste entre la estimación y el rendimiento actual en cada año, del conjunto seleccionado para la comprobación.

CONCLUSIONES

El modelo de sorgo desarrollado en este estudio está dirigido a diferentes tipos de usuarios relacio-

nados con la producción agrícola. Son potenciales usuarios del modelo, investigadores, planificadores, asesores y economistas del sector agrícola. Aún los agricultores podrían hacer uso del modelo en caso de tener acceso a información meteorológica.

Dentro del área en que fue desarrollado, el modelo permite predicciones confiables alrededor de un mes antes de cosecha. Sin embargo, asumiendo un mayor riesgo, pueden hacerse predicciones de rendimiento a partir del comienzo de llenado de grano, mediante el uso de valores probables de las variables estimadoras durante el resto de la estación. De la misma forma, usando la probabilidad de ocurrencia de las variables durante todo el ciclo del cultivo, el modelo puede ser usado para evaluar rendimientos potenciales en distintos lugares.

Al considerar que el modelo produce información detallada, tal como el rendimiento a nivel de predio, mejoras del modelo serían posibles mediante la inclusión de variables locales, principalmente fertilidad de suelo y prácticas culturales, como variables predictoras adicionales. Este ajuste reduciría la subjetividad introducida con el uso de las variables indicadoras.

BIBLIOGRAFIA

- 1) BAIER, W. 1977. *Crop weather models and their use in yield assessments. Tech. Note N° 151. Geneva: World Meteorol. Organization N° 458, 48 pp.*
- 2) BURROWS, W. 1977. *Committee on Agriculture and Forest Meteorology. In Workshop on the Future of National Atmospheric Research, Amer. Meteorol. Soc., Boston, MA., pp. 64-67.*
- 3) FOX, D.G. 1981. *Judging air quality model performance. A summary of the AMS Workshop on Dispersion Model Performance. Bull. Am. Meteorol. Soc., 62(5):599-609.*
- 4) GARRITY, D.P.; G. WATTS; C.Y. SULLIVAN and J.R. GILLEY. 1982. *Moisture deficits and grain sorghum performances: Evapotranspiration yield relationships. Agron. J., 74:815-820.*
- 5) HOWELL, T.A. and E.A. HILER. 1975. *Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation. I. Evapotranspiration and yield relationship. Tr: ASAE, 18:873-878.*

- 6) HOWELL, T.A. 1990. Grain, dry matter yield relationships for winter wheat and grain sorghum - Southern high planis. *Agron: J.*, 82(5):914-918.
- 7) KANEMASU, E.T.; L.R. STONE and W.L. POWERS. 1976. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. *Agron: J.*, 68:569-572.
- 8) KANSAS GRAIN SORGHUM PERFORMANCES TESTS. 1958/80. *Agr. Exp. Sta. Annual Reports.*
- 9) KNELL, F.A. 1972. Grown and dry matter accumulation in grain sorghum. *Sorghum bicolor*. (L.) Moench. *M.S. Thesis: University of Missouri-Columbia.*
- 10) KREASUWN, T. 1980. Prediction of rice yield of climatic variables in Thailand. *Ph: D: dissertation, University of Missouri Columbia.*
- 11) LAL, H.; F.H. BEINROTH and R.M. PEART. 1990. Using crop models for regional planning decision support system. pp. 18. In *Agron. Abst. Am. Soc. of Agron. Crop Sc. Soc. of Am. Soil Sc. Soc. of Am.*
- 12) McQUIGG, J. 1976. Climate constraints on food grain production. *World Food Conf.*, June 27-July 1, 1976.
- 13) MISSOURI CROP PERFORMANCE. 1958-80. Grain sorghum. *University of Missouri-Columbia, Agr. Exp. Sta.*
- 14) NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 1978. SOLMET. User's Manual. Dept. of Solar Tech., Env. and Res. Br., Vol. 1, TD-9724.
- 15) NEIL, R.E., and M.W. SEELEY. 1977. Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some applications to crop production in Nebraska. *Agr. Exp. Sta., Inst. of Agr. and Nat. Res., Univ. of Nebre., Res: Bull: 280.*
- 16) NETER, J., and W. WASSERMAN. 1974. *Linear statistical models.* Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL. 842 pp.
- 17) RITCHIE, J.T. 1989. Crop models and decision making: Scenario for the future. pp.106-117. In A. Weiss (Ed.) *Climate and agriculture - Systems approaches to decision making.* Charleston, South Carolina, 5-7 March 1989.
- 18) ROSENBERG, N.J.; B.L. BLAD and S.B. VERMA. 1983. *Microclimate; The biological environment.* John Wiley and Sons. 2nd. Edition. 495 pp.
- 19) SEILER, R.A. 1983. A yield model for grain sorghum on the basis of crop responses to prevailing weather and climatic conditions. *Ph: D: Thesis: University of Missouri-Columbia.*
- 20) STEWART, J.I.; R.D. MISRA; W.O. PRUITT and R.M.HAGAN. 1975. Irrigation corn and grain sorghum with a deficient water supply. *Tr: ASAE*, 18:270-280.
- 21) UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, Current series. Soil Conservation Service and Forest Service in cooperation with Missouri *Agr. Exp. Sta.*
- 22) VANDERLIP, R.L. and H.E. REEVES. 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Agron: J.*, 64:13-16.
- 23) WILLMOTT, C.I. 1982. Some comments on evaluation of model performance. *Bull: Am: Meteorol: Soc.*, 63:1309-1313.
- 24) WILSON, W.W.; T.L. BARNETT; S.K. LEDUC and F.B. WARREN. 1980. Crop Yield model test and evaluation criteria. *AGRISTARS YM D 1-1-2(80-2-1).*