

Modelo estadístico de pronóstico de rendimiento de maíz para la región semiárida de Córdoba basado en datos pluviométricos areales.

Antonio De la Casa.

RESUMEN

Se desarrolla un modelo de pronóstico de rendimiento de naturaleza estadística, con el propósito de estimar la productividad del cultivo de maíz en la región semiárida de la provincia de Córdoba. Se emplearon registros de precipitación a nivel mensual, reformulados en términos areales, como parte de un grupo de variables independientes.

La metodología de análisis multivariado fue realizada mediante un programa de cálculo "stepwise", que incluye o elimina variables predictoras según la incidencia que esto provoca en el estadístico empleado para valorar la significancia de la relación.

El modelo queda conformado por términos pluviométricos, tecnológicos y geográficos, resultando la prueba de evaluación y testeo con un error porcentual medio entre 17 y 18% respecto de los datos testigos. Sólo surgen diferencias significativas de sobreestimación en el departamento Río Cuarto. Las precipitaciones de Octubre y Noviembre son las variables de mayor incidencia sobre el rendimiento departamental.

Palabras clave: Modelo estadístico, maíz, predicción de rendimiento, regresión "paso a paso".

De la Casa, Antonio, 1992. Statistical model of corn yield prediction for the semiarid region in Córdoba based in areal pluviometric data. Agriscientia IX Nº 2 : 87-96.

SUMMARY

An statistical model for corn yield forecasting is developed to estimate the crop productivity in the semiarid region of the Córdoba province. Monthly precipitation data were used to calculate areal precipitation which was utilized as an independent variable set

Fecha de recepción: 13/8/92; fecha de aceptación: 28/7/93.

The methodology consisted of a multivariate analysis with a stepwise program. The predictor variables were included or eliminated from the model one at a time considering the F value used to evaluate the significance of the relationships.

The model considered pluviometric, technology and geographic terms. The error test were 17 y 18% compared with the control data. Significant differences were detected in Río Cuarto department. October and November precipitation are the variables more related to district corn yield

Keywords: Statistical model, corn, yield forecasting, stepwise regression

Antonio de la Casa. Facultad de Ciencias Agropecuarias, CC 509, 5000 - Córdoba, Argentina.

INTRODUCCION

La producción agrícola de secano se encuentra influenciada en forma global por distintas variables climáticas, agrupadas en factores energéticos, térmicos e hídricos.

En regiones semiáridas, el principal factor agroclimático de la productividad vegetal es de naturaleza hidrológica, presentando tres componentes: la entrada de agua (precipitación), su egreso o demanda (evapotranspiración) y el almacenamiento del suelo (Baier y Robertson, 1968). Cualquier procedimiento que en esta región se emplee para explicar la variación o efectuar la predicción del rendimiento de un cultivo, debe considerar a alguno de estos tres componentes del ciclo hidrológico (de la Casa, 1989).

Dentro del amplio espectro de las modalidades de análisis clima/cultivo, el presente estudio corresponde a aquellos de tipo estadístico (Baier, 1979), matemático (Katz, 1979) o de representación matemática (Mead, 1971). Según un criterio de complejidad creciente, estos pueden ser considerados como los más simples (Seiler, 1983), y de acuerdo con el producto final perseguido en forma inmediata, como modelo de rendimiento (Keener, *et al.*, 1980).

Estos modelos empíricos fueron ampliamente usados en la década del 70 y 80 para representar las relaciones clima/cultivo. Los modelos ecofisiológicos constituyen en la actualidad la metodología de análisis más difundida, aunque la gran cantidad de información que requieren para ser aplicados y su carácter puntual conspiran contra su empleo generalizado a escala regional.

Un aspecto crítico en la elaboración de los modelos estadísticos, radica en la adecuada elección de la escala de trabajo. La escala de reso-

lución es parte misma del problema ya que impone límites tanto en su observación y generalización como en los alcances y extensión de las conclusiones formuladas.

La utilización de una escala regional provee totales de rendimiento y de producción de mayor importancia económica, a pesar de cierta pérdida de precisión y seguridad respecto a la escala local (Mostek y Walsh, 1981).

El análisis también se sustenta en la hipótesis de que relaciones previamente demostradas entre rendimiento y anomalías meteorológicas, son detectables en modelos de escala regional (Mostek y Walsh, 1981).

Muchas han sido las contribuciones tendientes a explicar la variación del rendimiento promovida por la acción climática, en particular la ejercida por el agua. En la región agrícola de EE UU. Runge y Odell (1958), Thompson (1969), Nelson y Dale (1978) y Swanson y Nyankori (1979) abordan la temática propuesta, lo mismo que Lomas (1981), da Mota (1983) y Lomas y Herrera (1984) en diversos países latinoamericanos.

En términos generales, todos emplean una metodología de análisis de una estricta base empírica, presentando variables predictoras de distinta naturaleza asociadas con el sitio geográfico de aplicación, dado el carácter no extrapolable de esta metodología. Esta y otras limitaciones comunes a los modelos matemáticos son exploradas en las publicaciones citadas

Destinados a la región de producción maicera nacional pueden citarse los estudios de Marino (1947), Zaffanella y Zaffanella (1960), Sierra y Pórfido (1980) y Ravelo (1981). Sólo este último puede considerarse vinculado directamente a la temática discutida, mientras los primeros permiten fundamentar algunas de las hipótesis verti-

das. En trabajos previos, de la Casa (1987 a, 1989 a y b) corrobora alguna de estas pautas y define la modalidad particular que la región semiárida de Córdoba presenta en la elaboración de los modelos de predicción. El segundo de ellos pone de manifiesto la significativa correlación entre la precipitación y el rendimiento.

La evidente simplificación que dará lugar al modelo de pronóstico, se asume teniendo presente tanto las limitaciones formuladas como las ventajas perseguidas. La precipitación representa sólo un indicador aproximado del contenido de agua accesible para los cultivos si bien se trata del dato meteorológico más difundido en una región. Por otra parte, dado que el objetivo es producir un modelo de pronóstico destinado a una región donde los montos de almacenamiento de agua al comienzo del ciclo son poco significativos (Rodríguez *et al.*, 1981), el empleo de la información pluviométrica reformulada en términos areales constituye una alternativa no descartable.

El objetivo de este trabajo consiste en formular un modelo pluviométrico que prediga el comportamiento productivo del maíz (*Zea mays* L.) de secano en la provincia de Córdoba, por intermedio de procedimientos específicos de regionalización.

MATERIALES Y METODOS

Los datos empleados en la elaboración de los modelos estadísticos corresponden a series temporales de registros fenométricos, indicadores de la respuesta biológica, y de datos meteorológicos, de naturaleza física, indicadores de la aptitud ambiental.

La productividad de un área extensa es cuantificada habitualmente con estimaciones, mas que con datos experimentales (Seiler, 1983). Los datos utilizados en este caso corresponden a series de rendimiento departamental obtenidas a partir del sistema de encuesta a los productores efectuadas por el Ministerio de Agricultura de la provincia de Córdoba.

El empleo de esta información, sin embargo, pone en evidencia dos limitaciones importantes. En primer lugar su nivel de agregación, que condiciona la escala del análisis (Jones, 1982), y en segundo término, el hecho de manejar información catalogada como regional, con elementos subjetivos en su obtención. En las estimaciones regionales es posible advertir un efecto amortiguador, donde las condiciones buenas o favorables se promedian con las desfavorables, atenuando expresiones extremas (Shaw y Thompson, 1964).

Al realizar un análisis de la productividad del maíz en la provincia de Córdoba, es evidente su situación de marginalidad respecto al área óptima de producción (Sierra y Pórfido, 1980). Igual estructura productiva se observa en los departamentos provinciales, que muestran una clara graduación entre aquellos tipificados como buenos productores (Marcos Juárez y Unión) y otros de rendimiento medio histórico inferior (departamentos del oeste provincial).

Además de la situación hidrológica normal que conduce a la condición de productividad marginal, se debe tener presente la ocurrencia frecuente de sequías temporales durante el ciclo de cultivo. Por consiguiente puede advertirse en la variación del rendimiento dos componentes, uno geográfico y otro temporal. Mientras el primero puede ser relacionado con la diferente aptitud productiva que es dado encontrar en distintos ambientes, el segundo está vinculado con la variabilidad interanual característica del fenómeno pluviométrico, común a toda la provincia.

Surgida la necesidad de efectuar la caracterización productiva del maíz para la provincia de Córdoba en función de la variabilidad del rendimiento, por medio del agrupamiento intergeográfico de los departamentos productores, fue dividido el territorio provincial en tres zonas (de la Casa, 1987b), clasificadas como:

- Zona de rendimiento adecuado (Grupo I).
- Zona de rendimiento medianamente adecuado (Grupo II).
- Zona de rendimiento poco adecuado (Grupo III).

De esta forma es posible reducir la componente espacial de la variabilidad del rendimiento, logrando en consecuencia regiones homogéneas, en las cuales la fluctuación pluviométrica podrá evaluarse como principal responsable de la variación productiva.

Variable dependiente: Rendimiento Departamental (Rto).

Las series disponibles de datos de rendimiento abarcan un período de 26 años, desde 1957/58 hasta 1982/83, y por consiguiente el análisis se extendió sólo hasta entonces. Con el objeto de homogeneizar estos datos fue empleado un procedimiento de "Cluster" que dividió a los departamentos productores en tres grupos con un patrón similar de variación interanual. El Gráfico N° 1 muestra la variación interanual de la variable

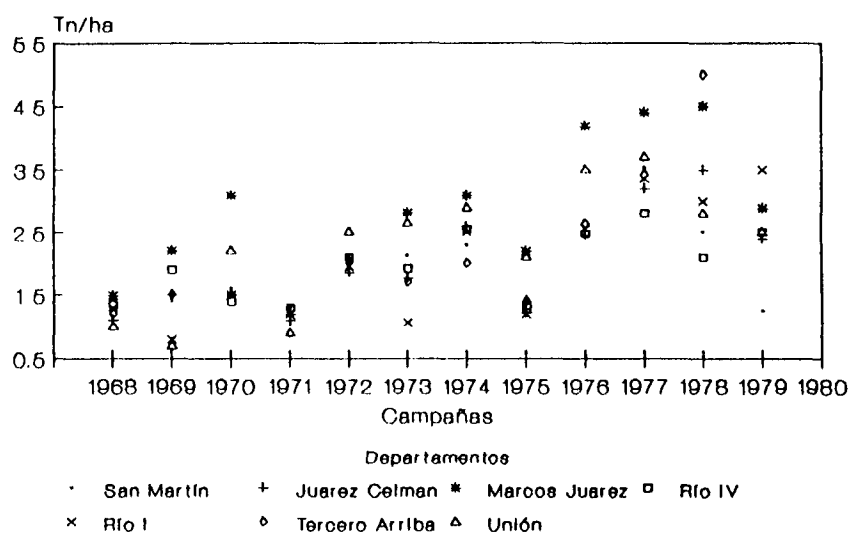


Gráfico N° 1: Variación interanual del rendimiento de maíz en los departamentos que integran el Grupo I (el año indicado corresponde al de la siembra)

dependiente de los departamentos pertenecientes al Grupo I

Atendiendo a la necesidad de poner una cota a la extensión del trabajo, en una primera etapa y a modo de muestra, sólo serán empleados los datos pertenecientes al Grupo I que reúne a los departamentos de rendimiento adecuado: General San Martín, Juárez Celman, Marcos Juárez, Río Cuarto, Río Segundo, Tercero Arriba y Unión. Esta elección se hace sin prejuicio de la mejor performance que a priori se podría esperar empleando los datos de los grupos restantes, pero que contribuyen en menor medida a la producción provincial de maíz.

Fueron elegidos los datos de las campañas 1981/82 y 1982/83 para efectuar la evaluación predictiva del modelo, adquiriendo el carácter de testigos.

Variables independientes o predictoras

a) Pluviométricas.

Los datos de precipitación empleados provienen de la red de observación que opera en la provincia, sistematizados en un archivo electrónico formulado a nivel mensual (Rodríguez *et al.*, 1991).

El agua que ingresa a un sistema agrícola regional es cuantificada en forma precisa por la red pluviométrica de dicha área. A pesar de su objetividad, el dato de lluvia representa una observa-

ción puntual mientras que la problemática planteada corresponde a la totalidad de una extensión geográfica (Lomas, 1981). El procedimiento empleado para hacer contrastable la relación agroclimática propuesta se realizó por medio del cálculo de la variable precipitación acumulada mensual areal, que respetando la escala de resolución, fue formulada a nivel departamental para cada uno de los meses de cultivo.

A pesar de haber pretendido incluir a toda la extensión de la serie en el análisis, los datos pluviométricos presentan un lapso de interrupción que se prolonga durante la década del '60. Estos se componen en el año 1968, siendo a partir de entonces que pudo conformarse la matriz de datos. Si bien los datos de rendimiento imponen restricciones en cuanto a la escala espacial de trabajo, los de lluvia, por su parte, reducen la extensión temporal del análisis, lo cual implica otra limitación importante. Estrictamente hablando, no se puede aludir a una elección de la serie de trabajo.

Esta dotación de datos hubiera conformado una matriz de 84 filas (12 años y 7 departamentos), número que se redujo en una unidad por la falta de los valores de precipitación de la campaña 1972/73 en el departamento Marcos Juárez. Similar reducción se presentó con los datos de validación en los departamentos de Unión y General San Martín. No se pudo incluir la campaña 1981/82 del primero, ni las 1980/81 y 1981/82 del

Tabla 1: Nómina y significado de las variables pluviométricas

Variable	Significado
ppoct	precipitación departamental de octubre.
ppnov	precipitación departamental de noviembre.
ppdic	precipitación departamental de diciembre.
ppene	precipitación departamental de enero.
ppfeb	precipitación departamental de febrero.
ppmar	precipitación departamental de marzo.
ppcicpr	precipitación departamental del ciclo promedio.
ppcic	precipitación departamental del ciclo.

Octubre, noviembre y diciembre corresponden a los meses finales de un año, mientras que enero, febrero y marzo corresponden a los meses iniciales del siguiente. De esta manera y en forma parcial y acumulativa es posible determinar la cantidad de agua precipitada durante el ciclo de cultivo, fijado de octubre a marzo, de cada departamento.

segundo por igual motivo, quedando para la validación una matriz de 11 filas [(2 años y 6 departamentos) - 1].

A partir del archivo electrónico de datos, integrado con información de un promedio de 12 es-

taciones pluviométricas por departamento, fueron obtenidas las variables de precipitación areal que aparecen en la Tabla 1 con la explicación de su significado.

La variable ppcic (Gráfico N° 2) presenta la particularidad de haber sido calculada a partir de la acumulación de todas las localidades con el ciclo de la campaña completo (sin la falta de ningún mes).

De los diferentes métodos citados para el cómputo de la precipitación areal (Rainbird, 1970), fue implementado el de la media aritmética. El nivel departamental de los datos de rendimiento motivó el empleo de la división política como criterio para la regionalización.

b) Tecnológicas.

Los factores ambientales no están bajo el control del agricultor y su manifestación no es constante en el tiempo. En consecuencia, los rendimientos agrícolas fluctúan de un año a otro. Esta fluctuación oculta cambios sistemáticos que tienen lugar en la producción y su eficiencia, como resultado de mejoras en las prácticas agrícolas y en la cantidad y calidad de los insumos aplicados (Shaw y Durost, 1964).

Como la acción climática sobre un cultivo es relevante en función del nivel tecnológico que se da en cada sitio, y dado que esta acción no es inde-

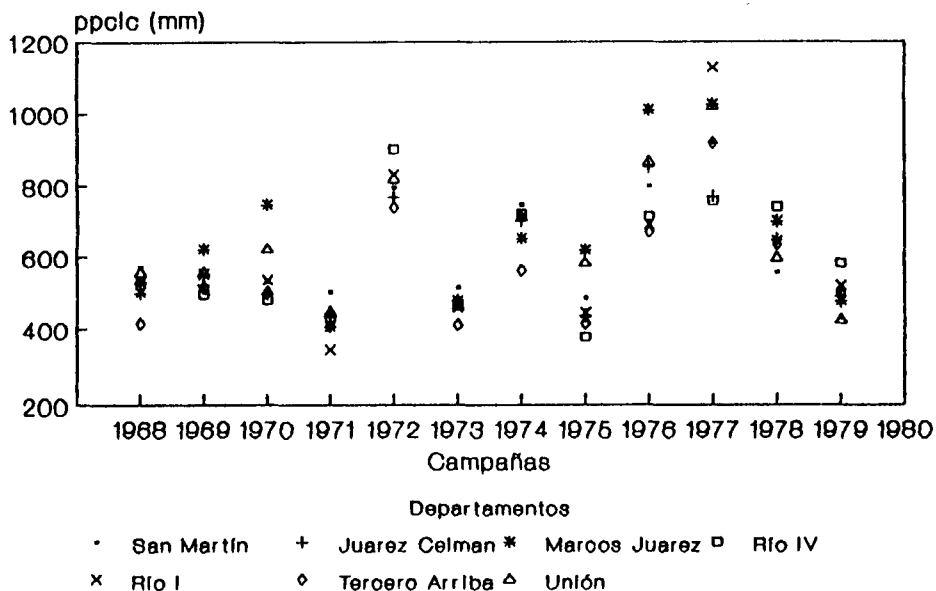


Gráfico N° 2: Variación interanual de la variable ppcic en los departamentos que integran el área de estudio.

pendiente de aquella, en el grupo de variables predictoras fue introducida una variable temporal representativa en el modelo del aspecto tecnológico. Esta variable independiente fue designada "id" y corresponde a una secuencia temporal, siguiendo a Thompson (1986), que se incrementa anualmente en una unidad. No fue analizado otro patrón de variación, en razón de que este es un aspecto dinámico, sujeto a eventuales correcciones operativas (de la Casa, 1989a).

La justificación del empleo de la tendencia en el análisis multivariado, además de lo expuesto en Introducción, encuentra confirmación en el trabajo de Novara (1970), que rechaza la existencia de normalidad en las series de rendimiento provincial de maíz, aceptando por contrapartida la tendencia de aumento.

c) Geográfica o Climática.

Con el objeto de incluir en el modelo el efecto detrimental sobre el rendimiento provocado por la variación regional de la deficiencia de agua en el suelo (de la Casa, 1987a), fue incorporada la variable "def" al grupo de predictoras potenciales. La variable "def" corresponde al valor de deficiencia de agua promedio del período octubre-marzo, estimada a partir de balance hidrológico climático (Thornthwaite y Mather, 1955).

Los departamentos de Marcos Juárez y Unión aparecen con una deficiencia media departamental (def) de 1 y 15 mm., respectivamente. Para el resto de los departamentos, la variable adopta valores climáticos de 80 mm. Se desprende de ello y ante la falta de datos interanuales de deficiencia de agua en el suelo, que el resultado del modelo incluye, al menos, la componente geográfica de la variable.

El modelo de pronóstico fue elaborado siguiendo los lineamientos clásicos de los modelos de regresión lineal múltiple, que en general responden a la expresión:

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots + \beta_p x_p + \epsilon$$

y = variable dependiente (valor observado)

x_1, x_2, \dots, x_p = variables independientes.

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ = coeficientes de regresión.

ϵ = error con media cero.

p = número de variables independientes.

El modelo estima los coeficientes $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ por el método de los mínimos cuadrados, minimizando la expresión:

$$(y - \alpha - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2 - \dots - \beta_p x_p)^2;$$

para obtener los valores de rendimiento predichos (\hat{y}) según la ecuación:

$$\hat{y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p,$$

siendo el residuo ($y - \hat{y}$) la diferencia entre el valor observado y predicho.

Todos los cálculos fueron realizados por medio de un programa de cálculo que "paso a paso" introduce o elimina las variables independientes de una por vez, a partir de un conjunto de predictoras potenciales (Dixon y Jennrich, 1981). El criterio empleado para tal determinación fue establecido fijando límites rígidos en los valores de F para entrar y F para cambiar.

El F para cambiar o remover es igual a la relación:

$$\frac{ss(\text{residual si la variable es eliminada}) - ss(\text{residual})}{ss(\text{residual}) / (n - p)}$$

ss: suma de cuadrados.

n : tamaño de la muestra.

Los límites de F para entrar y cambiar establecidos por el programa fueron 4 y 3.9, respectivamente. Por comparación entre el valor fijado y el calculado, la variable fue removida de la ecuación si el mismo resultaba menor al límite establecido.

Numerosos investigadores han señalado en sus trabajos las principales limitaciones de la técnica de análisis multivariado: Hurst (1964), Nelson y Dale (1978), Katz (1979), Jones (1982), etc. Si estos inconvenientes son tenidos en cuenta, se considera que la técnica es un recurso válido para alcanzar el objetivo planteado.

RESULTADOS Y DISCUSION

La presentación de los resultados se efectuó a través de sucesivas etapas siguiendo simultáneamente dos criterios de avance. En primer término y referido al ajuste del modelo, procurando alcanzar un elevado valor de determinación y un error estándar de estimación lo más pequeño posible. Luego, con el objeto de producir una herramienta de diagnóstico regional, se prestó especial atención a la validación predictiva del modelo.

Luego de cuatro etapas en las que sucesivamente se fueron quitando o agregando los distintos factores considerados: influencia de factores meteorológicos, inclusión del término tecnológico, introducción del término geográfico y eliminación de datos "outlines", se obtuvieron

ron dos ecuaciones de predicción. Estas funciones son posteriormente discutidas en la prueba de evaluación.

Dada la necesidad de producir una herramienta predictiva que suministre resultados con la mayor antelación posible, fueron eliminadas del conjunto de predictoras las variables ppcic y ppcicpr. Asimismo, fue incorporada la componente climática def, a los efectos de reflejar la distinta posición geográfica de los departamentos productores en términos de deficiencia hídrica.

Del resultado de la tercer etapa surgió la siguiente expresión ($R^2 = 0.74$):

$$y = -8751,35 + 131,91 id + 10,13 ppoc + 4,13 ppnov - 4,45 def + 2,35 ppene + 1,96 ppar$$

El último intento de mejorar el ajuste del modelo consistió en eliminar los datos de la campaña 1978/79 para Terceño Arriba. Este departamento aparece con un valor de rendimiento desvinculado totalmente de su comportamiento productivo precedente y subsecuente, y muy diferente ese año del resto de los departamentos incluidos en la región de estudio (dato "outline").

Efectuado nuevamente el procedimiento de cálculo, se obtuvieron los siguientes resultados de ajuste:

r múltiple	R ²	R ² ajustado	error estandar
0,89	0,80	0,78	407,10 Kg/ha

correspondiente a la ecuación de predicción:

$$y = -8006,60 + 121,78 id + 9,99 ppoc + 3,82 ppnov - 4,93 def + 2,52 ppar + 2,16 ppene$$

El ajuste logrado resulta más convincente que el anterior, con aproximadamente el 80% de la variabilidad explicada por las variables predictoras. Su comportamiento general aparece sin modificaciones respecto al anterior, introduciendo la variable ppar antes que ppene como única diferencia. La significación estadística de la regresión, según la prueba de F, en los casos analizados es aceptable al nivel del 1%. La matriz de correlación de los coeficientes de regresión estimados indica, según los reducidos valores que se observan, escasa interrelación entre las variables predictoras.

Interpretación del modelo

En última instancia el modelo predictivo queda conformado por tres componentes, uno tecnológico o temporal, otro pluviométrico y el restante geográfico (regional). El pluviométrico

incluye algunos términos (ppene y ppar) sólo relevantes desde una perspectiva predictiva, contribuyendo a reducir el error estandar de estimación.

El componente tecnológico muestra una buena relación con el fenómeno productivo. Sin embargo, el lapso de tiempo resulta demasiado corto y el comportamiento del rendimiento marcadamente creciente, como para sostener este gradiente positivo de incremento durante mucho tiempo. En caso de aplicarse esta metodología, la influencia del factor debería ser necesariamente reevaluada.

Dentro del aspecto pluviométrico, se manifiesta claramente la importancia relativa de las variables ppoc y ppnov, es decir que la variación del rendimiento departamental en la región estaría mas relacionada con las variaciones de las lluvias en etapas tempranas del cultivo, permitiendo la oportuna reposición de un perfil normalmente seco en esa época. Neild (1982) cita como favorable al efecto de las lluvias que acumulan humedad previo al establecimiento del cultivo. Estas lluvias en la región bajo análisis no constituyen, en general, aportes importantes. En su lugar, la precipitación de octubre y noviembre tendría el doble efecto de representar un aporte hídrico inmediato y permitir la acumulación edáfica para hacer frente a la demanda del resto del ciclo, cubriendo las fluctuaciones típicas.

El período crítico de floración-polenización, cuya ocurrencia se podría presumir entre diciembre y enero, no es detectado por el modelo. Este hecho podría explicarse por la falta de sensibilidad del modelo estadístico, o por el contrario, asumiendo la explicación anterior. Sin embargo, es significativa la influencia global del fenómeno pluviométrico, según la evaluación de las variables referidas a la precipitación acumulada durante todo el ciclo de cultivo.

La variable def introduce en el modelo un factor de ponderación geoclimático, que tiene por objeto representar la diferente aptitud productiva regional, como así también las distintas modalidades que el cultivo de maíz puede adoptar en diferentes puntos del área de estudio. El análisis de los resultados sugiere aceptable la influencia de este factor desde una perspectiva predictiva, poniendo en evidencia cierta heterogeneidad espacial que escapó del procedimiento de agrupamiento aplicado. Alguna mejora en la predicción se podría esperar si se pudieran emplear datos interanuales observados de esta variable.

Tabla 2: Validación y prueba predictiva del modelo para los departamentos del Grupo I

Departamento	Evaluación de la III Etapa				Evaluación de la IV Etapa			
	Obs. (kg/ha)	Est. (kg/ha)	Diferencia		Obs. (kg/ha)	Est. (kg/ha)	Diferencia	
			Abs	Por.			Abs.	Por.
Juárez Celman	3785	4001	216	+ 5.7	3785	3857	72	+1.9
Juárez Celman	3400	3228	172	- 5.0	3400	3073	327	- 9.6
Marcos Juárez	5000	4054	946	-18.9	5000	3961	1039	-20.7
Marcos Juárez	4000	3626	374	- 9.3	4000	3509	491	-12.2
Río Cuarto	2500	3813	1313	+52.5	2500	3685	1185	+47.4
Río Cuarto	2100	3141	1041	+49.5	2100	2998	898	+42.7
Río Segundo	4000	3253	747	-18.6	4000	3126	874	-21.8
Río Segundo	3000	3370	370	+12.3	3000	3231	231	+ 7.7
Tercero Arriba	3500	3488	12	- 0.3	3500	3364	136	- 3.8
Tercero Arriba	3600	3395	205	- 5.6	3600	3282	318	- 8.8
Unión	4500	3975	525	-11.6	4500	3866	634	-14.0
GRUPO I				17.2				17.3

EVALUACION

A los efectos de probar la capacidad predictiva del modelo fue utilizada una muestra de datos que no participaron de su formulación. Los valores estimados y testigos fueron comparados a los fines de diagnosticar sobre la capacidad predictiva alcanzada.

Considerando que los datos que van mas allá de la banda del 95% de confianza son "outliners" y puede justificarse su eliminación del análisis, fueron efectuadas evaluaciones de las dos últimas etapas.

La Tabla 2 presenta un par de columnas con los valores testigos (observados) y estimados, respectivamente. Figuran, además, las columnas correspondientes a las diferencias absolutas y porcentuales, empleando como criterio de evaluación el valor de la diferencia porcentual media. En ambos casos estos valores oscilan entre el 17 y 18%, lo cual confirma la inexistencia de diferencias predictivas de los modelos sometidos a prueba.

El resultado de la prueba de evaluación puede considerarse satisfactorio. Es digno de destacar el 45% de diferencia encontrada en Río Cuarto. Sin embargo, teniendo en cuenta que la diferencia media resulta muy distorsionada sólo por estos valores, en el resto de los departamen-

tos que integran la región el resultado aparece más adecuado y dentro del error aceptable.

La causa de la sobreestimación encontrada en Río Cuarto, puede deberse a otros factores distintos del pluviométrico. Es de destacar la información adicional disponible de la campaña 1981/82, que señala en Río Cuarto un total de 72000 ha. de maíz no cosechadas como consecuencia de un ataque grave del "mal de Río Cuarto", enfermedad que comenzó a detectarse y difundirse en aquel tiempo. Ataques menos severos pudieron afectar los cultivos de maíz reduciendo los rendimientos potenciales de todo el departamento. Aunque la explicación resulte razonable, el modelo carece de términos de ponderación fitopatológicos y de otros factores que también afectan a la producción de maíz de secano, todo lo cual integra la parte no explicada de los resultados.

CONCLUSIONES

La variación del rendimiento departamental explicada por las variables independientes de los modelos evaluados osciló entre el 74 y 80%. El error porcentual de predicción promedio para el conjunto de los departamentos considerados (Grupo I), fue del orden del 17%.

Si bien el resultado obtenido puede considerarse satisfactorio, su empleo como modelo de

pronóstico regional cubre parcialmente la expectativa previa que indujo a emplear valores de precipitación areal para representar la disponibilidad de agua.

Desde el punto de vista predictivo, la validación del modelo deja abiertos algunos interrogantes respecto de otros factores (fitopatológicos), que también influyen en la variación interanual de la variable explicada. En el Dpto. de Río Cuarto esta parece ser la causa del mayor error determinado.

Otro hecho destacable ha sido la mayor influencia relativa en el rendimiento regional de las variables pluviométricas $ppoct$ y $ppnov$, cuando el contenido de agua en el perfil comienza a reestablecerse.

BIBLIOGRAFIA

- Baier, W.; 1979. Note on the terminology of crop-weather models. *Agric. Meteorology*, 20: 137-145.
- Baier, W. y G.W. Robertson; 1968. The performance of soil moisture estimates as compared of the direct use of climatological data for estimating crop yields. *Agric. Meteorology*, 5: 17-31.
- da Mota, F.S.; 1983. Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brazil. *Agric. Meteorology*, 28: 49-64.
- de la Casa, A.C.; 1987a. La deficiencia de agua en el suelo con respecto al cultivo de maíz en la región semiárida de la provincia de Córdoba. *Actas III Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías (Córdoba)*, 133-140.
- de la Casa, A.C.; 1987b. La variabilidad del rendimiento de maíz en la provincia de Córdoba. Informe final Beca de Perfeccionamiento CONICET. Inédito.
- de la Casa, A.C.; 1989a. Un modelo estadístico de predicción de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) para ambientes semiáridos. *Actas IV Reunión Argentina de Agrometeorología Río Cuarto (Córdoba)*, 41-52.
- de la Casa, A.C.; 1989b. El régimen hídrico como responsable de la variación del rendimiento de maíz en el departamento Río Segundo, provincia de Córdoba, a través del análisis del balance hidrológico de Thornthwaite modificado. (Inédito)
- Dixon, W y R. Jennrich, 1981. *BMDP Statistical Software. Manual Operativo. Universidad de California.*
- García Benavidez, J y E. Soto Negrín, 1977. Zonificación ecológica de cultivos V: Relación entre el rendimiento y variables climáticas simples. *Modelos de predicción. Rev. Facultad de Agronomía (Maracay) IX 2.* 69-95
- Hurst, R.; 1964. Statistical techniques which might be useful in further research. *Weather and our food supply* CAED Report 20. Iowa State University
- Jones, D.R., 1982. A statistical inquiry into crop-weather dependence. *Agric. Meteorology*, 26: 91-104
- Katz, R.W., 1979. Sensitivity analysis of statistical crop-weather models. *Agric. Meteorology* 20: 291-300.
- Keener, M.E., E.C.A. Runge y Klugh, Jr., 1980. The testing of a limited-data corn yield model for large area corn yield prediction. *Journal of Applied Meteorology*, 19 (11): 1245-1253
- Lomas, J.; 1981. Simple agroclimatic models as a basis for an information system. *Interciencia*, 6 (4). 219-225
- Lomas, J. y H. Herrera, 1984. Weather and maize relationships in the tropical region of Guanacaste, Costa Rica. *Agric. Meteorology* 31: 33-45.
- Marino, A.E.; 1947. Estudio estadístico de la correlación entre las lluvias y los rendimientos de maíz. *Rev. Argentina de Agronomía*, 14 (3).
- Mead, R.; 1971. Note on the use and misuse of regression models in ecology. *Journal Ecology*, 50: 215-219
- Mostek, A. y J.E. Walsh; 1981. Corn yield variability and weather patterns in the USA. *Agric. Meteorology*, 25: 111-124.
- Neild, R.E.; 1982. Temperature and rainfall influences on the phenology and yield of grain sorghum and maize: a comparison. *Agric. Meteorol.*, 27: 79-88.
- Nelson, W. y R.F. Dale; 1978. Effect of trend or technology variables and record period on prediction of corn yields with weather variables. *Journal of Applied Meteorology*, 17 (7): 926-933.
- Novara, J.J.; 1970. Variabilidad de ingresos y diversificación de la producción agrícola en condiciones de riesgo. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Económicas, U.N.C.
- Rainbird, A.F.; 1970. Methods of estimating areal average precipitation. *W.M.O./IHD. Report N°3.*
- Ravelo, A.; 1981. Modelos matemáticos de rendimientos. Proyecto ARG 78/016. C.N.I.E. Argentina.
- Rodríguez, A.R., A.C. de la Casa, C. Pistone y F. Moore, 1991. Archivo pluviométrico de la provincia de Córdoba. *Actas II Encuentro Académico Tecnológico Córdoba*, 110 p.
- Rodríguez, A.R., R.J. Novo, J.C. Cañadell y J.C. Avaltroni; 1981. El balance hidrológico normal de Manfredi (Córdoba, Argentina). *Rev. Cs. Agropec* 11: 93-105.
- Runge, E.C.A. y R.T. Odell, 1958. The relation between precipitation, temperature and the yield of corn on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. *Agron. Journal*, 50: 448-454
- Seiler, R., 1983. A yield model for grain sorghum on the basis of crop responses to prevailing weather and climate conditions. Tesis para optar al grado de PHD. Universidad de Missouri, Columbia

- Shaw, R.H. y L.M. Thompson; 1964. Grain yields and weather fluctuations. Weather and our food supply CAED Report 20. Iowa State University
- Shaw, L. y D. Durost; 1964. The weather index approach CAED Report 20 Iowa State University.
- Sierra, E.M. y O.D. Pórfido; 1980. Factores que afectan los rendimientos en la región maicera argentina. Rev. de la Facultad de Agronomía. 1 (2): 49-64.
- Swanson, E.R. y J.C. Nyankori; 1979. Influence of weather and technology on corn and soybean trends Agric. Meteorology 20: 327-342.
- Thompson, L.M.; 1969. Weather and technology in the production of corn in the US Corn Belt. Agron. Journal, 61: 453-456.
- Thompson, L.M.; 1986. Climatic change, weather variability and corn production. Agron. Journal, 78 (4): 649-653.
- Thornthwaite, C.W. y J.R. Mather; 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology. Vol. VIII Nº1.
- Zaffanella, M.J. y M.G. Zaffanella; 1960. Rendimientos decrecientes del maíz en relación con factores edafoclimáticos. IDIA 150: 33-43.