

El índice de anomalía de humedad z y su relación con el rendimiento de trigo en Bordenave (Buenos Aires, Argentina)

Scian, B. y M. Donnari

RESUMEN

Se presenta un modelo de regresión lineal para estimar el rendimiento de un cultivo de trigo sembrado en la región subhúmeda seca de la Provincia de Buenos Aires. Se efectuó el ajuste con datos del período 1965-1991. En ese período se introdujeron cultivares con germoplasma mejicano y nuevas tecnologías en el sistema de labranza y sanidad del cultivo.

El modelo contiene factores tecnológicos y agroclimáticos. La componente tecnológica del modelo se la incluyó como un término lineal, estando el término agroclimático constituido por variables independientes que provienen del balance hidrológico propuesto por Palmer.

La ecuación de pronóstico permite estimar el 82.4% de la variación del rendimiento, con un error standard de estimación de 1.43 qq/ha, resultados que fueron validados con información adicional.

Palabras clave: rendimiento de trigo, modelo de regresión, balance de Palmer.

Scian, B. y M. Donnari, 1995. The anomaly moisture index z and its relationship with wheat yields in Bordenave (Buenos Aires, Argentina). Agriscientia, XII (Special Issue): 47-51

SUMMARY

A lineal regression model for the estimation of wheat crop yields in the dry sub-humid region of Buenos Aires Province for the period 1965-1991 is presented. A mexican germoplasm was introduced in the crops as well as new technology in tillage systems and crop sanity.

The model is tecno-agroclimatic with a lineal term accounting for the technological trend and an agroclimatic term with independent variables from the Palmer hidrologic balance.

The regression equation estimates 82.4% of yield variation, with an standard error of 1.43 qq/ha. The model was validated with additional data.

Key words: wheat yield, regression model, Palmer balance.

B. Scian y M. Donnari, Depto. de Agronomía, U.N. del Sur. 8000 Bahía Blanca, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La relación que guardan ciertas variables meteorológicas con el rendimiento de los cultivos permite predecir y planificar las actividades agrícolas con un cierto nivel de confianza. La temperatura y la precipitación han sido usadas frecuentemente como variables meteorológicas en los modelos de regresión para estimar rendimientos (Espoz y Brizuela, 1983). También se han utilizado indicadores de humedad edáfica (Baier y Robertson, 1968; Nix y Fitzpatrick, 1969; Sakamoto y Jensen, 1975; Sakamoto, 1978; Callis y Sakamoto, 1984). Se han desarrollado modelos complejos que incluyen variables tecnológicas, genéticas, climáticas y fenológicas como el CERES-Wheat o CERES-Maize (Ritchie y Otter, 1982; Jones *et al.*, 1983; Magrin *et al.*, 1991).

Meyer *et al.* (1993) desarrollaron un modelo para maíz basado en el índice de Sequía de Palmer, en el que tienen en cuenta el agua usada por el cultivo durante cada fase de su ciclo ontogénico; probado en Nebraska demostró tener una buena precisión para estimar el rendimiento.

El objetivo de este trabajo es seleccionar, mediante técnicas de regresión, variables agroclimáticas derivadas del método de Palmer y relacionarlas con los rendimientos de trigo para la zona de Bordenave, ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en la denominada región semiárida pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variables meteorológicas y agroclimáticas

Los datos meteorológicos utilizados fueron las temperaturas y precipitaciones mensuales observadas en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA-Bordenave. Las variables agroclimáticas fueron extraídas del trabajo "Sequías Edáficas en Bordenave. Método de Palmer" (Donnari y Scian, 1994). En dicho trabajo se aplicó la metodología de Palmer (Palmer, 1965) y se cuantificaron los índices de anomalía de humedad (z) y de sequía (ISP).

El índice z , que indica las variaciones mensuales de humedad en el suelo respecto a la humedad climática para dicho mes, se expresa por la siguiente ecuación:

$$Z=d.k$$

donde d es el desvío de humedad y k es un factor climático de peso. Estas variables se obtienen a partir del balance hidrológico mensual seriado de Palmer, que se realiza con datos de precipitación, evapotranspiración potencial y agua útil.

Para una mayor comprensión y detalles se recomienda la bibliografía citada.

Rendimientos del cultivo.

Los rendimientos anuales del trigo se obtuvieron de ensayos experimentales llevados a cabo en el ámbito de la EEA INTA, Bordenave (comunicación personal del Ing. Agr. A. Glave, 1993), los cuales fueron cultivados con labranzas conservacionistas, sin fertilización. Los datos cubren el lapso 1965-91 habiéndose introducido en ese período cultivares de trigo con germoplasma mejicano, así como nuevas tecnologías en los sistemas de labranza y sanidad del cultivo.

Análisis estadístico

Se emplea el método general de regresión múltiple cuya ecuación general se expresa:

$$\hat{Y}=b_0+\sum b_i x_i+b_T T$$

donde:

\hat{Y} :rendimiento estimado

b_0 :constante

b_i :coeficientes de las variables independientes

x_i :variables climáticas independientes o predictores

b_T : coeficiente del término de tendencia

T : tendencia

Se probaron distintas combinaciones de variables agroclimáticas del método de Palmer: índices de anomalía de humedad z , desvíos de humedad d , índices de sequía x , almacenaje de agua profundo y variables meteorológicas mensuales: temperaturas medias, máximas medias, mínimas absolutas y precipitaciones.

Cuando se analizó la serie de rendimientos se reveló que pese a las fluctuaciones interanuales, existe una tendencia general en aumento como puede observarse en la Figura 1.

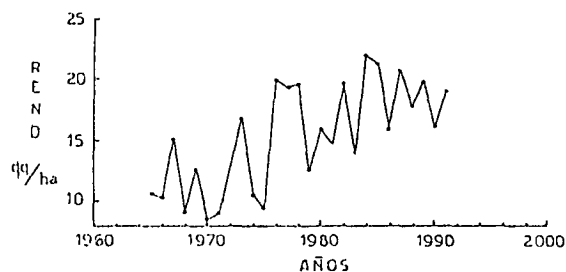


Figura 1: Rendimiento anual de trigo. Bordenave (1965-1991).

En la Pampa húmeda existe una tendencia creciente en el rendimiento de cereales y oleaginosas desde los últimos 50 años debidas en parte, al avance tecnológico aunque, como comprobaron Sierra y Brynsztein (1990) para Tres Arroyos, en las variaciones interanuales de los rendimientos influyen las variables climáticas. Por eso se consideró en el modelo tratar a la tendencia como una variable independiente y cuantificar así los efectos no climáticos tales como prácticas de manejo, maquinarias, herbicidas, pesticidas, etc. Esto no se contradice con el hecho de que las variables climáticas están afectadas por una tendencia, en particular, el incremento en las precipitaciones se refleja en el índice z y en el ISP (Donnari y Scian, 1994). Se incluyó la tendencia como un término lineal con valores desde 1 para 1965 a 27 para 1991.

El procedimiento estadístico específico para seleccionar las variables predictoras en el análisis de regresión, es el conocido como regresión "stepwise" del conjunto de programas para PC, STATGRAPHICS (2.0). Las variables son aceptadas o rechazadas según sean los valores parciales del test de Fisher, que se fijó en 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de regresión múltiple se obtuvo una ecuación con 4 variables que resultó ser:

$$\hat{Y} = 916,0 + 41,34T + 2,32Z_{11} + 1,66Z_{10} + 0,95Z_4$$

donde las variables independientes Z_{11} , Z_{10} y Z_4 son los índices de anomalía de humedad de Palmer para los meses de noviembre, octubre y abril respectivamente y T la tendencia.

El coeficiente de determinación, R^2 es 82,4% y el error absoluto medio es 1,43 qq/ha.

En la Figura 2 se presentan los valores de rendimientos estimados con la ecuación de regresión y los observados, habiéndose trazado la recta 1:1 como referencia. No se distingue una preferencia a subestimar o sobreestimar valores, lo que queda verificado en el gráfico de residuos (Figura 3). La dispersión de los residuos muestra un comportamiento satisfactorio e implica que no es necesario incluir términos cuadráticos en la ecuación (Draper y Smith, 1981).

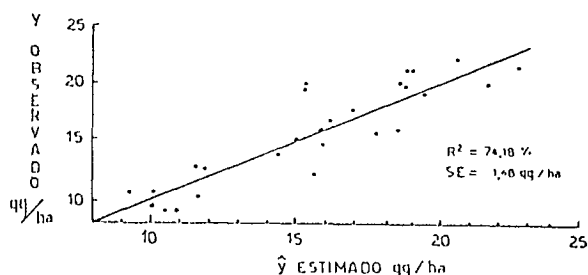


Figura 2: Regresión entre rendimientos observados (Y) y estimados (\hat{Y}). Período 1965-1991

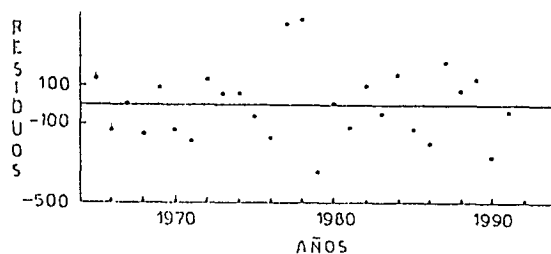


Figura 3: Gráfico de residuos.

Al analizar los efectos individuales de las variables agroclimáticas en la regresión, se pudo determinar que tanto Z_{10} como Z_{11} influyen con un 12 y un 14% respectivamente en el modelo total. Las tres variables agrometeorológicas acumulan un 28% de la variabilidad total de los rendimientos, mientras que la tendencia afecta en un 47%.

En la Figura 4 se han graficado los rendimientos observados y calculados para Bordenave (1965-1991); se observa que las variables seleccionadas reflejan las fluctuaciones de largos periodos como así también las variaciones interanuales que se presentan en la serie de datos.

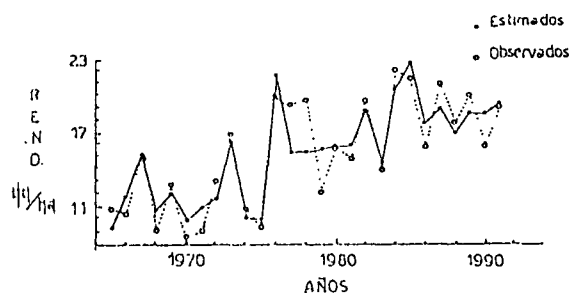


Figura 4: Rendimientos de trigo observados y estimados

Para verificar el grado de estabilidad de las variables se generó un nuevo modelo para el periodo 1965-1981. Tanto los valores de la constante como el de los coeficientes mostraron una variación aceptable, siendo el R^2 del orden del 74,18% y el error de estimación de 1,48 qq/ha como puede verse en la Tabla 1.

Tabla 1 : Comparación de coeficientes del modelo de rendimiento de trigo para las series de datos 1965-91 y 1965-81

Variable	1965-91	1965-81
b_0	916,04	898,35
T	41,34	43,68
Z_4	0,95	0,87
Z_{10}	1,66	1,73
Z_{11}	2,32	2,13
R^2	82,40 %	74,18 %
Error est.	1,43 qq/ha	1,48 qq/ha

Utilizando la ecuación del periodo 1965-81 se calcularon los rendimientos para el periodo 1982-91. En la Figura 5 se comparan dichos rendimientos con los observados y se trazan los límites de confianza para una probabilidad del 95% para el valor medio y para la predicción. Del gráfico se deduce que las variables seleccionadas y sus coeficientes respectivos reflejan un buen ajuste del modelo. Asimismo se verifica que existe una alta correlación entre las predicciones del modelo y los rendimientos, siendo el coeficiente de correlación $r = 0,75$ y el error standard de 1,44 qq/ha.

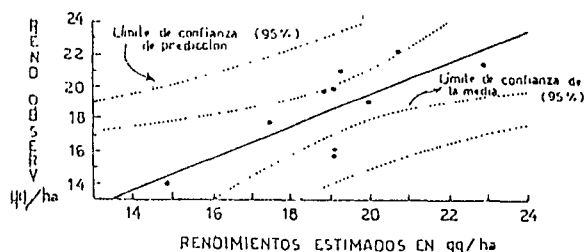


Figura 5: Regresión entre rendimientos observados y estimados (1982-1991).

CONCLUSIONES

- Con el índice de anomalía de humedad del método de Palmer se obtuvo un buen ajuste para la predicción de rendimientos. Este tipo de modelos basados en datos meteorológicos mensuales de fácil obtención son útiles para la predicción de cosechas y para dar una respuesta regional ante variaciones de condiciones climáticas.

- Algunas de las variables meteorológicas que se incluirían en el modelo teniendo en cuenta el calendario del cultivo y sus períodos críticos, como ser la temperatura máxima de los meses de octubre y noviembre y las mínimas absolutas de los meses de septiembre, octubre y noviembre, no demostraron correlaciones significativas con los rendimientos.

- La selección de las variables Z_{10} y Z_{11} muestran la influencia de las condiciones climáticas, especialmente las precipitaciones de octubre y noviembre, para la evolución favorable del trigo. En el modelo se forzó la variable Z_4 por considerar la importancia que tiene la humedad en el suelo al momento de la siembra.

- Las variables agrometeorológicas y la tendencia explican en gran parte la variabilidad de los rendimientos de trigo en el sudoeste bonaerense (los primeros términos influyen en un 30% y la tendencia en un 47%), a diferencia de otras regiones trigueras donde el aporte climático en los modelos de rendimiento es del orden del 60% y la tendencia del 25% (Sakamoto, 1978.)

BIBLIOGRAFÍA

Baier, W. and G W Robertson, 1968. The performance of soil moisture estimates as compared with direct use of climatological data for estimating crop yields. *Agric Meteorol*, 5:17-31.

Callis, S.L and C. Sakamoto, 1984. Argentina wheat yield models, AISC Models Branch, 34 pp.

Donnari M. y B. Scian 1994. Sequías edáficas en Bordenave Método de Palmer, *Revista Geofísica*, N° 39: 85-99

Draper, N R. and H Smith, 1981. *Applied Regression Analysis*. 2nd. Ed. John Wiley and Sons, New York, 709 pp

Duchon, C.E., 1986. Corn yield prediction using climatology. *J.Clim and App Meteorol.* 25,5:581-590.

Espoz, C. y A. Brizuela, 1983. Comunicación sobre el desarrollo de un sistema de predicción y monitoreo del cultivo de trigo para la pradera pampeana. *Meteorológica*. Vol. XIV, N°1 y 2, 757-771.

Jones, C.A., J.T. Ritchie, J.R. Kiniry, D.C. Godwin, and S.I. Otter, 1984. The CERES wheat and maize models. *Proceedings of the International Symposium on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer*, ICRISAT Center, India, pp. 95-100

Magrín, G., R. Díaz, C. Rebella, C. Del Santo y R. Rodríguez, 1991. Simulación del crecimiento y desarrollo de trigo en la Argentina y la necesidad de información meteorológica de entrada. *Anales del Sexto Congreso Argentino de Meteorología (CONGREGMET VI)*, Buenos Aires, Argentina, pp 49-50.

Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite, 1993. A Crop specific drought index for corn. I Model development and validation. *Agron.J.* 86:388-395

Meyer, S.J., K G. Hubbard and D A. Wilhite, 1993. A Crop specific drought monitoring and assessment. *Agron. J.* 86:396-399.

Nix, H A. and E.A. Fitzpatrick, 1969. An index of crop water stress related to wheat and grain sorghum yields. *Agric. Meteorol.*, 6:321-337.

Palmer, W.C., 1965. *Meteorological drought* U S Dep. Commerce, Weather Bur., Res. Paper 45, 58 pp.

Ritchie, J.T and S Otter, 1985. Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented wheat yield model. *Dept. of Agri., Agri. Res Ser ARS-38*, 159-175.

Sakamoto, C.M., 1978. The z index as a variable for crop yield estimation. *Agric. Meteorol.* 19:305-313

Sakamoto, C.M. and R.E. Jensen, 1975. Wheat climate models for Argentina and Australia. Final Report submitted to the Environmental Data Service, Center for Climatic and Environmental Studies Service Center, National Weather Service, NOAA, Auburn University, Auburn, Ala.

Seber, G.A.F., 1977 *Linear Regression Analysis*. John Wiley and Sons, New York. 465 pp.

Sierra, E. M. and S.M. Brynsztein, 1990. Wheat yield variability in the SE of the province of Buenos Aires. *Agric. and Forest. Meteorol.* 49 281-290.