

Relación clima-rendimiento del maíz mediante el uso de un modelo estadístico

María Paula Llano – Walter Vargas

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (Univ. de Buenos Aires) – CONICET
mpllano@at.fcen.uba.ar

Presentado en XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES

Resumen

En el presente trabajo se estudia la relación entre el clima y el cultivo del maíz en la principal región agrícola de la Argentina. Los datos de rendimiento del maíz, las temperaturas extremas mensuales y los acumulados de precipitación mensuales utilizados comprenden las cuarenta campañas ocurridas entre los años 1969 y 2009, para cuatro localidades: Paraná, Marcos Juárez, Rosario y Junín. Se realizó un estudio climático de las variables empleadas y se emplearon modelos de regresión múltiple.

Las variables climáticas fueron evaluadas en los meses de diciembre, enero y febrero, los cuales forman parte de la etapa crítica en el crecimiento del cultivo, ya que la floración se produce en estos meses. En la mayoría de las estaciones las precipitaciones mensuales son las que mayor influencia presentan en el rendimiento. En el caso de las temperaturas máximas no se observa un patrón uniforme.

El análisis de los resultados de los modelos teóricos de regresión muestra que las variables climáticas elegidas representan en una muy buena medida a los rendimientos locales del maíz. En una segunda etapa se desarrolló un modelo de pronóstico teórico de los rendimientos en las localidades alcanzando resultados significativos.

Palabras clave: rendimiento, precipitación, regresión.

Abstract

In this paper we study the relationship between climate and the cultivation of maize in the agricultural region of Argentina. The maize yield data, temperature extremes, monthly and cumulative monthly rainfall used include the forty campaigns that occurred between 1969 and 2009, to four locations: Paraná, Marcos Juárez, Rosario and Junín. We realized a climatic study and we used multiple regression models.

The climatic variables were assessed in the months of December, January and February, which are part of the critical stage in crop growth. Monthly rainfall is those that have greater influence on performance. In the case of high temperatures is not observed a uniform pattern between the stations.

The analysis of the results of theoretical models of regression showed that climatic variables chosen represent a good measure of local maize yields. In a second step we develop a theoretical prediction model yields reaching significant results.

Key words: yield, precipitation, regression.

Introducción

Una de las preocupaciones de la climatología aplicada es sintetizar las relaciones de los rendimientos de cultivos específicos con las variables climáticas. Esto se basa en la hipótesis que la variabilidad climática introduce una parte de la variabilidad en el rendimiento que es independiente de aquellas surgidas de la tecnología.

Desde comienzos del siglo XX se encuentran trabajos que analizan los factores que pueden afectar a los rendimientos de estos cultivos. Entre las diversas técnicas de estudio se encuentra el análisis de regresión múltiple, el cual fue utilizado para medir la influencia del clima sobre el rendimiento del maíz en diferentes estados de los Estados Unidos, dando como resultado que rendimientos óptimos se producían con temperaturas promedios en la siembra y con valores inferiores a los normales durante la floración. Las precipitaciones superiores en la floración producen buenos rendimientos, pero las lluvias en la cosecha no influyen en el rendimiento. (Thompson, 1969).

Trabajos realizados en la Argentina muestran que en las últimas décadas del siglo XX se produjeron aumentos en los rendimientos de los cultivos de verano principalmente por los aumentos en las precipitaciones y en menor medida se vieron afectados por los cambios en la temperatura. (Magrin et al, 2005).

En el presente trabajo se analizan los rangos de precipitación y temperaturas extremas mensuales y se describe la evolución de estos parámetros climáticos en la etapa crítica del crecimiento del cultivo. Se ajusta el rendimiento mediante modelos que utilizan las precipitaciones y las temperaturas extremas en los meses que integran la etapa de la floración del maíz.

Datos y Metodologías

Los datos climáticos empleados de temperaturas extremas y precipitación mensual fueron suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional los mismos comprenden el período 1969-2009. Los datos de rendimientos del maíz para las localidades de Paraná (provincia de Entre Ríos), Marcos Juárez (provincia de Córdoba), Rosario (provincia de Santa Fe) y Junín (provincia de Buenos Aires) fueron suministrados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) para las cuarenta campañas comprendidas entre 1969-70 y 2008-09.

Las relaciones entre rendimiento y variables climáticas fueron estimadas mediante el ajuste de modelos de regresión múltiple, donde las variables climáticas intervienen en forma diferenciada.

La técnica de regresión múltiple permite reconstruir la variable rendimiento (*Rend*) mediante varios parámetros climáticos. Los parámetros empleados son las temperaturas máximas de diciembre, enero y febrero, como así las precipitaciones acumuladas en cada uno de ellos, la elección de estos meses se debe a que los mismos integran la etapa de floración del maíz. También se empleó la precipitación acumulada durante la siembra. Así mismo, en un segundo modelo de regresión se emplearon las precipitaciones mensuales al cuadrado, ya que se cree su relación es cuadrática, porque la precipitación podría ser demasiado alto o demasiado bajo para el potencial de rendimiento máximo, pero una cantidad ideal entre la extrema sequedad y la humedad, probablemente exista (Tannura, 2008).

El primer modelo teórico de regresión está representado por la siguiente expresión:

$$R_{end}(t) = a_0 + a_1 pp_{12}(t) + a_2 Tmáx_{12}(t) + a_3 pp_1(t) + a_4 Tmáx_1(t) + a_5 pp_2(t) + a_6 Tmáx_2(t) + a_7 pp_{siembra}(t) + resto \quad (1)$$

El segundo modelo también está representado por esta expresión a la que deben agregarse los tres términos de las precipitaciones mensuales al cuadrado.

Resultados:

Tipificación climática:

Las cuatro estaciones elegidas para el estudio están ubicadas en la principal zona agropecuaria de la Argentina, conocida como Pampa Húmeda, la misma se caracteriza por una distribución uniforme de la precipitación con pequeños máximos durante la primavera y el otoño (Hoffmann, 1975).

PARANA	diciembre		enero		febrero		ppsiembra		M.JUAREZ	diciembre		enero		febrero		ppsiembra
	tmax	pp	tmax	pp	tmax	pp				tmax	pp	tmax	pp	tmax	pp	
media	29,4	130,6	30,8	104,1	29,2	111,1	293,9		media	29,7	134,6	30,6	109,2	29,0	107,1	231,5
max	32,4	407,0	33,5	305,6	33,7	352,4	549,1		max	34,1	359,3	34,1	350,4	32,9	347,5	426,3
min	26,5	17,7	27,7	9,0	26,7	2,4	77,0		min	26,6	37,8	28,2	9,0	25,7	29,5	39,3
desvio	1,4	87,3	1,3	73,5	1,3	86,1	106,5		desvio	1,7	78,7	1,5	61,7	1,4	67,4	82,6

ROSARIO	diciembre		enero		febrero		ppsiembra		JUNIN	diciembre		enero		febrero		ppsiembra
	tmax	pp	tmax	pp	tmax	pp				tmax	pp	tmax	pp	tmax	pp	
media	29,1	120,8	30,4	102,2	28,9	106,6	248,4		media	28,7	101,2	29,5	134,8	28,2	97,0	263,1
max	32,4	331,7	33,0	233,0	31,9	379,9	530,9		max	32,3	273,0	32,2	273,0	31,4	261,0	487,0
min	25,4	15,0	27,8	10,0	26,6	7,0	112,0		min	25,2	14,7	27,5	12,8	25,0	18,1	98,1
desvio	1,6	70,1	1,3	58,0	1,3	87,3	99,9		desvio	1,6	62,6	1,2	69,1	1,3	60,4	92,9

Tabla 1: Valor medio, máximo, mínimo y desvío estándar de las temperaturas y precipitaciones mensuales de las estaciones analizadas.

En la Tabla 1 se observan los valores estadísticos de las variables climáticas empleadas en el estudio. En Paraná, Marcos Juárez y Rosario la temperatura máxima en los meses de la floración presenta valores entre los 29° y los 31°, mientras que en términos medios Junín presenta menores valores. Es Marcos Juárez la estación con el mayor valor extremo de más de 34° C. En cuanto a las precipitaciones durante la siembra, si se comparan las 4 estaciones, Paraná alcanza el mayor valor medio cercano a los 300 milímetros. Las otras tres estaciones presentan acumulados medios entre 230 y 260 milímetros. Si se comparan los acumulados medios durante los tres meses de la floración es Rosario la que menor registro presenta con 330 milímetros y Marcos Juárez es la de mayor registro con 350 milímetros en los tres meses.

Del análisis se puede resumir que a nivel mensual existe una cierta homogeneidad en la región debido a la similitud en los valores medios principalmente para la temperatura máxima. Esta homogeneidad también se ve reflejada en las significativas correlaciones que existen tanto para las precipitaciones como para las temperaturas máximas a igual mes entre las cuatro localidades utilizadas en este estudio.

Dado que las series de rendimientos muestran fluctuaciones interanuales y tendencias positivas significativas, para aislar a las primeras se filtraron las últimas. Se hace aquí una aproximación consistente en que la tendencia en los rendimientos es independiente de las variabilidades del clima. En la Figura 1 se grafica a modo de ejemplo, la serie de rendimiento del maíz en la localidad de Junín, en el panel de la izquierda se observa la fuerte tendencia positiva que la misma presenta, y en el panel de la derecha se pueden notar las fluctuaciones entre las diferentes campañas que el rendimiento del maíz presentó en estos 40 años luego de filtrar la tendencia.

Se estudio también la relación existente entre las variables climáticas y el rendimiento con tendencia del maíz, en Paraná encontramos la mayor cantidad de relaciones más significativas (las precipitaciones en los tres meses estudiados y la temperatura máxima en enero), en Junín se repite este patrón con la salvedad de que la precipitación en enero no tiene una relación significativa. Las otras dos estaciones presentan en menor medida correlaciones significativas entre el clima y el rendimiento.

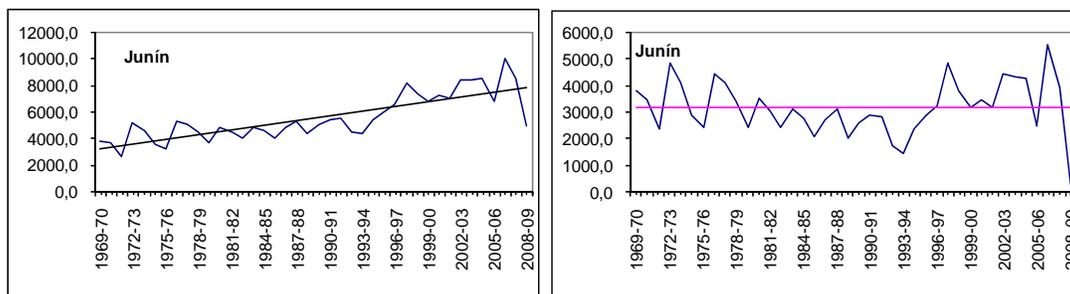


Figura 1: Rendimiento del maíz en la localidad de Junín (Izquierda: con tendencia, Derecha: sin tendencia lineal).

Ajuste de modelos de regresión:

Los modelos de regresión se utilizaron para representar el rendimiento de las primeras 30 campañas de maíz en cada una de las localidades. En la Tabla 2 se presentan los valores de los rendimientos medios originales de las cuatro localidades junto con su desvío estándar, como así también el valor de desvío estándar que presentó el rendimiento generado a partir de los 2 modelos teóricos. En la última columna se muestra el valor del coeficiente de determinación (R^2) como indicador del ajuste realizado por las variables seleccionadas. En todas las localidades el modelo que incluye a los cuadrados de las precipitaciones presenta un coeficiente de determinación mayor que el primer modelo, siendo en todos los casos significativo al 5%.

	PARANA			desvio	R^2
media	654,7	1° mod	631,3	50,6	
desvio	886,9	2° mod	663,7	55,9	

	M.JUAREZ			desvio	R^2
media	1154,7	1° mod	943,5	53,6	
desvio	1288,7	2° mod	986,1	58,5	

	ROSARIO			desvio	R^2
media	2372,6	1° mod	790,7	45,3	
desvio	1174,9	2° mod	932,9	63,1	

	JUNIN			desvio	R^2
media	3058,8	1° mod	577,1	45,3	
desvio	857,6	2° mod	607,4	50,2	

Tabla 2: Valor medio y desvío estándar del rendimiento sin tendencia, desvío estándar de los rendimientos generados por los dos modelos de regresión y coeficiente de determinación (R^2) de cada modelo.

Del análisis de los valores medios y de los desvíos estándar de los rendimientos sin tendencia se puede notar la fuerte variabilidad que los mismos presentan, principalmente en Paraná y Rosario. Cuando se analizan los valores de los desvíos estándar de los dos modelos de regresión se observa que los mismos presentan en todos los casos valores menores a los de los rendimientos originales, lo que estaría demostrando la dificultad de representar las variabilidades que presentan los rendimientos entre una campaña y otra.

En una segunda etapa se calculó el rendimiento de las últimas 10 campañas según los dos modelos teóricos obtenidos con los primeros 30 años de registro. En todas las localidades el segundo modelo que incluye a los cuadrados de las precipitaciones presenta una menor correlación, siendo la misma significativa solamente en Junín. Mientras que el primer modelo empleado es significativo Rosario, Junín y con menor significancia en Paraná.

En la Figura 2 se puede ver en forma gráfica los ajustes de los modelos teóricos de regresión. En ambas figuras se analiza el comportamiento del rendimiento en la estación de Junín, en ellas se

grafica el rendimiento original sin tendencia de las 40 campañas, la reconstrucción mediante los modelos de regresión de las 30 primeras campañas y el pronóstico de las últimas 10 campañas.

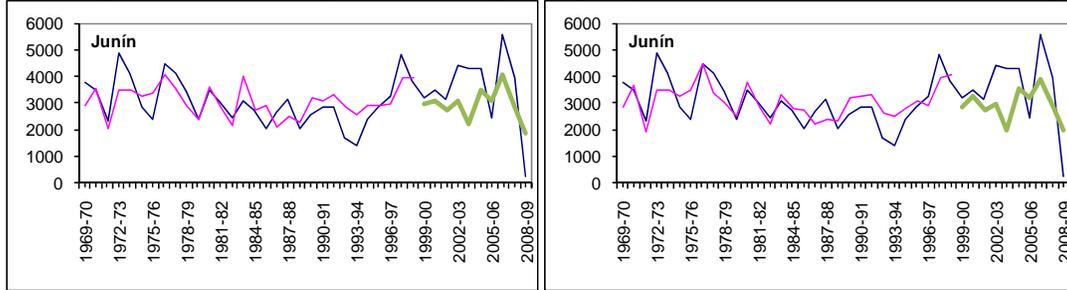


Figura 2: Rendimiento del maíz en la localidad de Junín (línea azul), reconstrucción del rendimiento con el modelo de regresión (línea roja) y pronóstico del rendimiento (línea verde). (Izquierda: utilizando el primer modelo de regresión, Derecha: con el segundo modelo de regresión).

En el gráfico de la izquierda (derecha) se empleó el primer (segundo) modelo. Si comparamos el comportamiento de ambos modelos se puede ver como a comienzo del registro representan en forma similar al rendimiento original, sin poder representar las mayores variabilidades. En las campañas de mitad del registro se presentan las mayores diferencias entre los modelos. Pero en ambos casos se observa como el pronóstico no ajusta al rendimiento original principalmente en los años 2002-2004. Este comportamiento se observa también en las demás estaciones analizadas.

Conclusiones:

Cuatro estaciones fueron seleccionadas ya que presentan condiciones climáticas similares y son representativas de la producción del maíz de la Argentina. En el análisis descriptivo de las condiciones climáticas de la floración los parámetros son similares en las cuatro estaciones, con un valor medio de 29,5°C durante esta etapa y una precipitación promedio acumulada mensual de 113 milímetros. El ajuste del rendimiento propio de cada localidad mediante modelos teóricos de regresión que incluyen a las temperaturas máximas y las precipitaciones mensuales en la floración alcanzaron resultados significativos. Así como también el empleo de los mismos para el pronóstico teórico principalmente en Rosario y Junín.

Agradecimientos:

Este trabajo fue realizado con apoyo de los proyectos de investigación UBA X-228, CONICET PIP 112-200801-00762 y FONCyT PICT 2008-1820.

Referencias:

- Hoffmann, J. 1975. Atlas Climático de América del Sur. Organización Meteorológica Mundial (OMM), UNESCO.
- Magrin, G., Trabaos, M. and Rodríguez, G. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change*. 72 (1-2): 229-249.
- Tannura, M. A., S. H. Irwin, and D. L. Good. "Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt." Marketing and Outlook Research Report 2008-01, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, February 2008.
- Thompson, L. 1969. Weather and Technology in the Production of Corn in the U. S. Corn Belt. *Agronomy Journal* 61:453-456.