

CAMBIO CLIMÁTICO Y EFECTOS SOBRE LAS ÁREAS POTENCIALES PARA MAÍZ EN JALISCO, MÉXICO

CLIMATIC CHANGE AND EFFECTS ON POTENTIAL AREAS FOR MAIZE IN JALISCO, MEXICO

José Ariel Ruiz Corral¹, José Luis Ramírez Díaz², Francisco Javier Flores Mendoza³ y José de Jesús Sánchez González³

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el impacto del cambio climático durante el período 1947-1996, sobre las áreas potenciales para la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Jalisco, México. Se realizó un análisis retrospectivo comparando información climática de los períodos 1947-1971 y 1972-1996 en términos de la variación de la estación de crecimiento (EC) y su capacidad térmica (CT) en grados-día de desarrollo (GDD) con respecto a las áreas potenciales para maíz y considerando cuatro ciclos biológicos: intermedio-tardío, intermedio, intermedio-precoc y precoc. Mediante el contraste de la CT de la EC y el requerimiento térmico (RT) de los cuatro tipos de maíces se delimitaron las áreas potenciales para maíz, pero para calcular su superficie fue necesario desarrollar matrices de datos georreferenciados sobre dichas variables e integrarlas al sistema de información geográfica IDRISI, para generar mapas estatales. Los resultados mostraron que las áreas potenciales para el cultivo de maíz se modificaron dado que la superficie apta para maíces de ciclo intermedio-tardío y precoc se redujo 24 y 49%, respectivamente, mientras que la superficie apta para maíz de ciclo intermedio e intermedio-precoc se incrementó en 44 y 73%. Las variaciones climáticas

durante 1972-1996 impactaron negativamente sobre el agroclima regional y la superficie potencial para la producción de maíz en el estado de Jalisco, la cual se redujo en 319,950 ha.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., capacidad térmica, zonificación de cultivos, estación de crecimiento.

SUMMARY

The objective of this study was to quantify the impact of the climatic change during the period 1947-1996, on the potential areas for maize (*Zea mays* L.) in Jalisco, México. A retrospective analysis was performed comparing climatic data from the periods 1947-1971 and 1972-1996 in terms of the changes in the growing season (EC) and its thermal capacity (CT) with growing-degree days (GDD) units, and determining the effects of these changes on the potential areas for the cultivation of maize of four maturity cycles: late-intermediate, intermediate, early-intermediate and early cultivars. The potential areas were determined through a process that compared CT from EC against the thermal requirement (RT) from maize cultivars. To have this it was necessary to develop matrices of geo-referenced data about such variables and to integrate them to the information system IDRISI, through which was possible to generate state images (maps) and area calculations for maize potential zones. The results showed that the potential areas for maize cultivation were modified since the area suitable for late-intermediate and early maizes decreased 24 and 49%, respectively, while the surface appropriate for intermediate and early-intermediate maizes increased 44 and 73%, respectively. It was concluded that the climatic changes that took place during 1972-1996 had a negative impact

1 Universidad de Guadalajara-INIFAP. Programa Agroclimatología y Potencial Productivo. Apdo. Postal 6-163 Guadalajara, Jal. Tel. y Fax: 01(3)641-3575 Y 01(3) 641-3598

2 Campo Experimental Centro de Jalisco-INIFAP. Apdo. Postal 10, C.P. 45640 Tlajomulco, Jal. Tel. y Fax: 01(377) 2-41-76

3 Universidad de Guadalajara-CUCBA. Predio las Agujas s/n, Zapopán, Jal. México. Tel. y Fax. 01(3) 682-0213

on the regional agroclimate and the potential area for maize cultivation in Jalisco, which was reduced by 319,950 ha.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., thermal capacity, crop zonation, growing season.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias actuales de variación del clima en términos generales apuntan hacia un calentamiento global (IPCC, 1992) y se prevee que este fenómeno reduzca la estación de crecimiento (EC) y la superficie potencial para cultivos de temporal en regiones tropicales y subtropicales, debido a un aumento de las tasas de evapotranspiración y a una disminución del nivel de humedad del suelo (EPA, 1998), así como a una disminución y/o distribución más deficiente de la precipitación durante el ciclo de cultivo (Williams y Balling, 1996).

Una reducción en la EC afecta los dos principales componentes de la producción agrícola: la superficie potencial de cosecha y el rendimiento por unidad de superficie del cultivo (Hubbard y Flores-Mendoza, 1995); ya que al acortarse la EC, el agricultor se ve obligado a utilizar genotipos más precoces, los cuales normalmente tienen rendimiento menor que los genotipos más tardíos (Biscoe y Gallagher, 1977).

Una de las estrategias establecidas por la investigación para prevenir los efectos de las variaciones climáticas de la EC sobre la superficie potencial y la productividad agrícola, ha sido caracterizar este período en cuanto a su duración, fecha de inicio, fecha de terminación y capacidad térmica, asumiendo que una vez logrado este objetivo, será posible seleccionar los cultivares más

adecuados y con mayores probabilidades de éxito (Ruiz, 1988; Alcalá, 1994).

En Jalisco, más del 90% de la superficie agrícola se cultiva bajo condiciones de temporal, siendo el maíz (*Zea mays* L.) el cultivo más importante (SAGAR, 1997). Dentro de este contexto, la superficie potencial y la productividad del maíz dependen en gran medida de las características de la EC; de aquí la importancia de caracterizar este período y estudiar los impactos agrícolas de sus variaciones en espacio y tiempo. Existen antecedentes que han descrito las disponibilidades de la EC para el estado de Jalisco (Villalpando y García, 1993); así como para ciertas regiones específicas (Flores, 1994; Alcalá, 1994); y recientemente, Ruiz *et al.* (2000) hicieron un análisis comparativo entre los períodos 1947-1971 y 1972-1996 con respecto a la duración, fecha de inicio, fecha de terminación y capacidad térmica de la estación de crecimiento y concluyeron que para el estado de Jalisco, el período de crecimiento se redujo en promedio seis días producto de un retraso de dos días en la fecha de inicio y de un adelanto de cuatro días en la fecha de terminación de la EC. También se concluyó que la capacidad térmica (CT) se redujo en promedio 79 grados-día de desarrollo (GDD) y que en suma esto probablemente se reflejó en la disminución de la superficie potencial y de la productividad del maíz en Jalisco. Estos antecedentes motivaron la realización del presente trabajo, cuyo objetivo fue determinar el impacto del cambio climático durante el período 1947-1996, sobre la superficie potencial para maíz en Jalisco, cuyo conocimiento permitirá reforzar la planeación agrícola de temporal con base en las nuevas condiciones climatológicas y el potencial agroclimático para el cultivo del maíz en el estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y datos climatológicos

El área de estudio del presente trabajo estuvo constituida por las zonas agrícolas temporales del estado (Figura 1), cuya imagen digital fue utilizada durante el desarrollo de este estudio y fue tomada de la base de datos del medio físico del estado de Jalisco (INIFAP, 1998).

Se utilizó información climatológica de 42 estaciones meteorológicas de Jalisco, expresada en estación de crecimiento y su capacidad térmica (esto es, el total de grados-día de desarrollo acumulados en la EC, GDDA) para los periodos 1947-1971 (A) y 1972-1996 (B), reportada por Ruiz *et al.* (2000). Los GDD se definen como un parámetro empírico que cuantifica la contribución de la temperatura al crecimiento y desarrollo diario de un cultivo; esto quiere decir que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica o su ciclo de desarrollo cuando haya recibido cierta cantidad de calor,

independientemente del tiempo requerido para ello (Hodges y Doraiswamy, 1979; Villalpando *et al.*, 1994).

Análisis de datos

Se determinó la superficie potencial para maíz bajo temporal para los periodos A y B utilizando el método que establece que una región es apta para producir cierto cultivo, siempre y cuando posea una EC donde se acumule una cantidad de GDD igual o superior a la cantidad de GDD que el cultivo requiere para completar su ciclo biológico (Neild y Sceley, 1977); esto es, el período siembra-madurez fisiológica para el caso del maíz (Hanway, 1982). A la cantidad de GDD que requiere un cultivo para su desarrollo también se le llama requerimiento térmico (RT) o tiempo termal (Monteith, 1977; Summerfield *et al.*, 1989) y puede ser referido por etapa fenológica o para todo el ciclo de desarrollo (Del Pozo *et al.*, 1987).

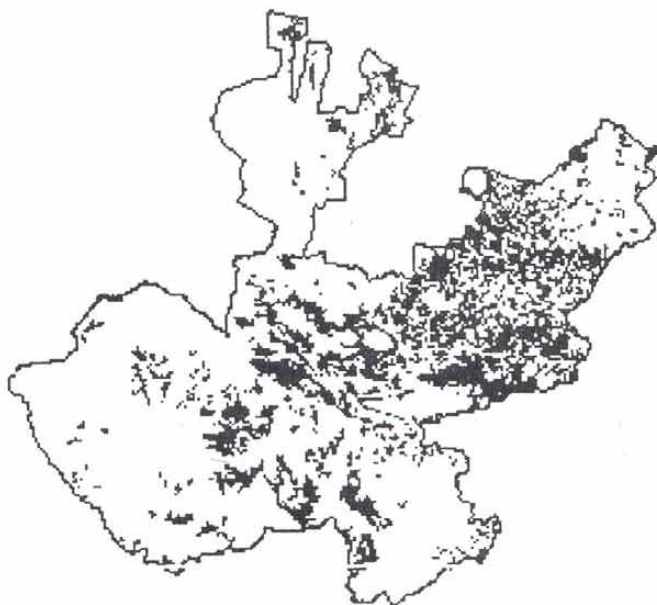


Figura 1. Áreas agrícolas de temporal en Jalisco

De esta forma, fue necesario caracterizar tanto el RT para maíz, como la CT de la EC en el estado de Jalisco en A y B. Para el caso de la caracterización del RT del maíz, se consideraron cuatro ciclos biológicos con posibilidades de producción en el estado: intermedio-tardío, intermedio, intermedio-precocoz y precocoz. Se tomó como genotipos representativos H-311, HV-313, H-220 y VS-201. Para cada genotipo, el RT se determinó sumando la cantidad de GDD diarios desde la fecha de siembra hasta la fecha de madurez fisiológica en 17 ambientes de cultivo, correspondientes principalmente a la región de Los Altos de Jalisco y la zona Sur de Zacatecas. Esta información tuvo su origen en estudios fenológicos realizados entre 1981 y 1987 en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP, 1993) y se seleccionaron tomando en cuenta la mayor homogeneidad posible entre sí, con respecto a manejo del cultivo, fecha de siembra y niveles de precipitación. Los GDD diarios se calcularon con el método residual, el cual ha sido reportado como un procedimiento eficiente para describir el desarrollo del maíz (Cross y Zuber, 1972; Cutforth y Shaykewich, 1989; Derieux y Bonhomme, 1990) y tiene la expresión matemática siguiente:

$$\text{GDD} = T - T_b,$$

donde:

T = temperatura media diaria y

T_b = temperatura base o umbral mínima de desarrollo.

Se utilizó una T_b de 10°C (Cross y Zuber, 1972; Shaw, 1975; Cutforth y Shaykewich, 1989).

Una vez obtenidos los RT siembramadurez fisiológica en los 17 ambientes, se calculó la media de estos valores para determinar un RT promedio por genotipo.

Para caracterizar la CT de la EC, se utilizaron imágenes de CT de la EC generadas y reportadas por Ruiz *et al.* (2000) para los períodos A y B en el estado de Jalisco, a partir de información de 42 estaciones meteorológicas. Tales imágenes están estructuradas para manejarse en sistemas de información geográfica (SIG) y poseen un formato de celdas, cuyo tamaño es de 900 x 900 m.

Estas imágenes fueron trabajadas en el programa IDRISI 4.1 (Eastman, 1993) y primeramente se les sobrepuso la imagen de áreas agrícolas temporales del estado (INIFAP, 1998) para obtener dos nuevas imágenes, pero ahora representativas de la CT de la EC en las áreas agrícolas de temporal. Posteriormente, estas nuevas imágenes se reclasificaron en función de los RT promedio de los cuatro genotipos. A partir de esta reclasificación se obtuvieron las áreas potenciales para genotipos intermedio-tardíos, intermedios, precocoz-intermedios y precoces de maíz, pero también se obtuvieron las áreas no potenciales para esta especie; es decir en las que la CT de la EC representa una cantidad de GDDA inferior al RT de un maíz precocoz.

Finalmente con IDRISI 4.1 (Eastman, 1993) se calcularon las superficies potenciales para maíz de los cuatro ciclos biológicos y se realizó una comparación entre los períodos A y B para evaluar el efecto de cambios climáticos sobre la superficie potencial para maíz.

Cuadro 1. Requerimiento térmico para el período siembra-madurez fisiológica en cuatro genotipos de maíz en diferentes ambientes.

Localidad	Año	Requerimiento térmico (GDDA)			
		VS-201	H-220	HV-313	H-311
Tepatitlán, Jalisco	1987			1161	1186
Tepatitlán, Jalisco	1987			1111	1140
Tepatitlán, Jalisco	1987			1042	1052
Tepatitlán, Jalisco	1986			1113	1132
Tepatitlán, Jalisco	1985			1082	1110
San Pedro, Zacatecas	1986	1058	1208	1285	1370
San Isidro, Zacatecas	1986	1050	1192	1295	1406
San Isidro, Zacatecas	1986	1080	1199	1309	1412
Guadalajarita, Zacatecas	1985	1175	1346	1406	1486
Guadalajarita, Zacatecas	1985	1160	1276	1340	1418
Tayahua, Zacatecas	1985	1109	1248		1487
Tlachichila, Zacatecas	1984	802	965	1060	1102
Tayahua, Zacatecas	1984	804	1115	1232	1275
Guadalajarita, Zacatecas	1984	1131	1328	1419	1462
San Pedro, Zacatecas	1984	1100	1200		1365
Mesa Gallos, Zacatecas	1983	869	1056		
Moyahua, Zacatecas	1983	1122	1254		1377
Tepatitlán, Jalisco	1983				1071
Tlachichila, Zacatecas	1983	859	996		
Mesa Gallos, Zacatecas	1981	1001	1227		
San Pedro, Zacatecas	1987	895	983		
Huanusco, Zacatecas	1987	885	1028		
Jalpa, Zacatecas	1987	901	1032		
Intervalo de valores		802-1175	965-1346	1042-1419	1052-1487
RT promedio (GDDA)		1000	1156	1220	1285

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de requerimientos térmicos de genotipos de maíz

En el Cuadro 1 se describen los resultados obtenidos de la caracterización del requerimiento térmico del período siembra-madurez fisiológica en diversos ambientes. Los datos muestran una variación del RT entre ambientes, como lo muestran los intervalos que

se incluyen al final del cuadro. Esta variación se explica porque además de la temperatura, existen otros factores ambientales que controlan la fenología del cultivo, principalmente nivel de fertilidad del suelo, sequía, fecha de siembra (fotoperíodo), salinidad y densidad de siembra (Robertson, 1983); lo cual indica que lo deseable sería caracterizar regionalmente el RT de los genotipos; sin embargo, esta labor representa un gran esfuerzo y generalmente no se

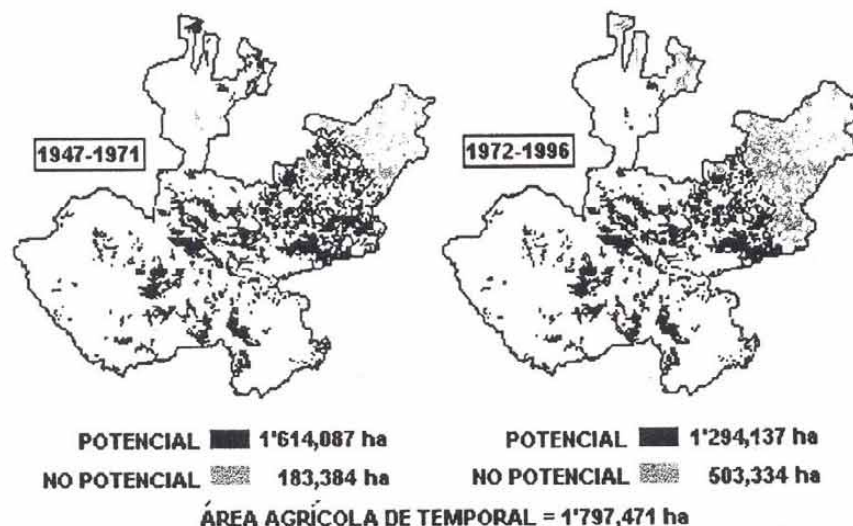


Figura 2. Superficie potencial y no potencial para el cultivo de maíz de temporal en el estado de Jalisco, para dos períodos de tiempo.

realiza cuando el área de estudio es extensa. Por tal motivo, se optó por caracterizar el RT de los genotipos con base en el cálculo de la media aritmética de los valores de RT de los diferentes ambientes.

Áreas potenciales para el cultivo del maíz

Al conjugar los requerimientos térmicos de los diferentes ciclos de madurez de maíz con la capacidad térmica de la estación de crecimiento (Ruiz *et al.*, 2000) en las zonas temporaleras del estado, se obtuvieron las áreas potenciales para la producción de maíz (Figura 2). Se destaca en primer término, que la mayor parte de la superficie agrícola de temporal (Figura 1) resultó ser potencial para la producción de maíz, tanto para el período A como el B, por lo que se confirma que Jalisco continúa siendo una región apro-

piada para este cultivo. Sin embargo, un segundo aspecto que destaca es la diferencia que existe entre los escenarios de 1947-1971 y 1972-1996, con respecto a la superficie potencial para maíz, en donde existe una disminución de 19,950 ha en el panorama actual, registrándose ésta principalmente en las regiones Noreste y Norte del estado, que tradicionalmente han sido consideradas las zonas agrícolas más vulnerables de Jalisco (Figura 2), caracterizadas por una eficiencia agroclimática de baja a muy baja para el cultivo del maíz (Nuño, 1988), y en donde la EC sólo permite la producción de maíces precoces (Flores, 1994). Los informes del INIFAP (1993) coinciden con esta aseveración, ya que clasifica a estas regiones como áreas de mediana a baja productividad. Lo anterior permite deducir que los cambios climáticos y más específicamente los cam-

bios agroclimáticos operados durante 1972-1996, se reflejaron negativamente en la superficie apta para el cultivo del maíz bajo condiciones de temporal.

En la Figura 3 se describe la distribución geográfica de las áreas potenciales para maíz de los cuatro ciclos biológicos estudiados. Los mapas contenidos en esta figura son superficialmente excluyentes; es decir, en cada uno se considera sólo un ciclo biológico a la vez, por lo que sus áreas no se superponen. Cabe señalar que las áreas que son potenciales para genotipos intermedio-tardíos, lo pueden ser también para genotipos intermedios, intermedio-precoces y precoces, siempre que se siembren en fechas tardías para no cosechar cuando aún se está dentro de la época de lluvias, lo cual puede causar pudriciones de grano. De igual forma, cabe esta consideración para las áreas potenciales para genotipos intermedios con relación a los de ciclo intermedio-precoc y precoc, y así sucesivamente. Sin embargo, la utilización de fechas de siembra tardías implica una subutilización del agroclima, por lo que en este estudio se ha procurado un enfoque de utilización óptima del recurso, de tal manera que se ha supuesto que las áreas potenciales para los cuatro ciclos de madurez no se traslapan.

De esta forma, la Figura 3 muestra que la distribución de áreas potenciales para el cultivo de maíces intermedio-tardíos (Figura 3a) se redujo 24% al variar de 1'018,899 ha en 1947-1971 a 771,849 ha en 1972-1996. Las áreas más afectadas se localizaron al sur de la región Noreste, alrededores de la Ciénega de Chapala y Sur del estado, en áreas cercanas a la Sierra de Tapalpa. Esta variación tiene gran importancia, si se considera que los genotipos intermedio-tardíos son los más rendidores en el estado, por lo que la reducción de la superficie apta para su cultivo representa un impacto directo sobre el

potencial productivo de maíz del estado. Nuño (1988) considera a estas regiones con una eficiencia agroclimática de media a alta para la producción de maíz, mientras que Villalpando y García (1993), consignaron en estas áreas una EC apropiada para el cultivo de genotipos de ciclo intermedio-tardío, lo cual coincide con el panorama de áreas potenciales para maíz durante 1947-1971 (Figura 3a), pero no concuerda con la situación actual (1972-1996), ya que para estas regiones del estado no existe potencial para maíces intermedio-tardíos, pero sí lo hay para maíces de mayor precocidad (Figuras 3b y 3c).

Con respecto al maíz de ciclo intermedio (Figura 3b), la superficie potencial se incrementó en 44%, sobre todo a partir de áreas que dejaron de ser aptas para maíces de ciclo intermedio-tardío, las cuales se distribuyeron principalmente en la Ciénega de Chapala y regiones Altos-Sur y Sur del estado. Estas zonas fueron reportadas por Villalpando y García (1993) con EC apropiada para genotipos desde tipo intermedio hasta intermedio-tardío.

De manera similar, la superficie potencial para maíz de ciclo intermedio-precoc, también se incrementó, pero en este caso, en un 73%, al pasar de 93,474 ha a 161,595 ha. Este incremento también estuvo fundamentado en áreas que dejaron de ser aptas para genotipos intermedio-tardíos y tuvo lugar principalmente en la región Sur del estado y la región Altos-Sur, en zonas que según Nuño (1988) registran una eficiencia agroclimática para la producción de maíz entre media y alta.

En el caso de la superficie potencial para el cultivo de maíces precoces, ésta se redujo en 49% al pasar de 388,233 ha en 1947-71 a 196,749 ha en 1972-96 (Figura 3d). Esta reducción, tuvo lugar principalmente en las

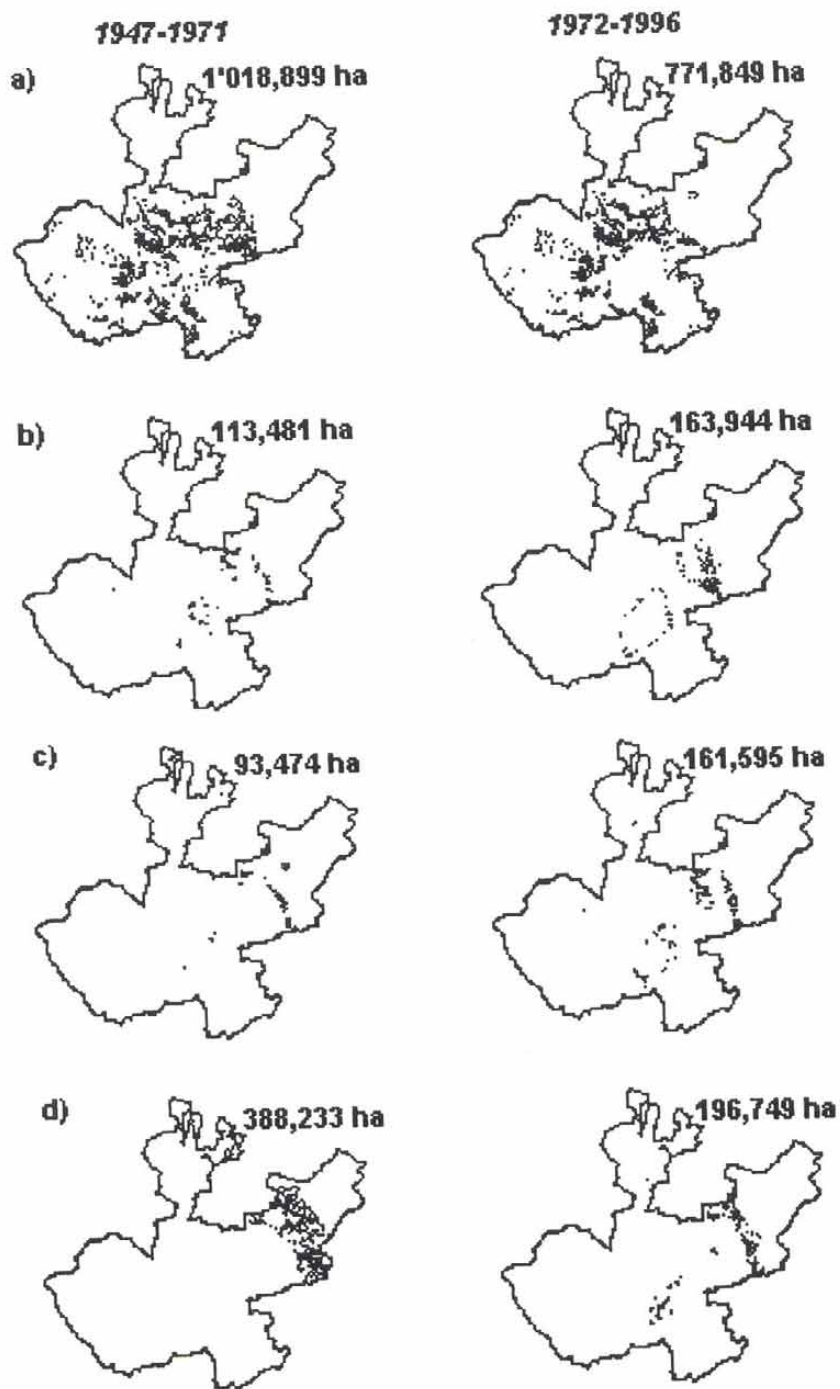


Figura 3. Superficie potencial para el cultivo de maíz en dos intervalos de tiempo y cuatro ciclos de madurez: a) intermedio – tardío, b) intermedio; c) intermedio-precocoz, d) precocoz.

regiones Altos Centro, Altos Sur y Norte del estado. La mayor parte de esta superficie fue consignada previamente como áreas donde el maíz presenta un potencial de mediana productividad (INIFAP, 1993), por la presencia de algunas limitantes agroclimáticas. Sin embargo, dicho reporte presenta una actualización de datos climáticos hasta el año de 1980, por lo que difícilmente mantiene una vigencia en la actualidad. Por esta razón, es posible deducir que las variaciones climáticas presentadas durante 1972-1996 probablemente acentuaron dichas limitantes agroclimáticas, dando como resultado un panorama actual (1972-1996), donde el maíz ya no es una opción viable de cultivo en las regiones mencionadas. Cabe mencionar que esta reducción en la superficie potencial para maíces precoces constituye la mayor parte de la superficie agrícola que dejó de ser apta para el maíz y que se describe en la Figura 2.

En la Figura 3, también se pueden identificar variaciones bruscas en el potencial para producir maíz. Tal es el caso de la región Sur, en donde se detectaron zonas que en 1947-71 tenían aptitud para el cultivo de maíces de ciclo intermedio-tardío y en 1972-96 presentaron aptitud para maíces de ciclo intermedio-precoc; este tipo de variación implica una fuerte reducción del potencial productivo del maíz en esas áreas. Otro aspecto que se debe mencionar, es la presencia de zonas en las que no se detectaron variaciones considerables en el potencial para el cultivo del maíz, principalmente aquéllas distribuidas en la porción Centro-Oeste del estado, las cuales son señaladas también por otros autores como las áreas más aptas para la producción de maíz bajo temporal (Nuño, 1988; Villalpando y García, 1993; Ruiz *et al.*, 2000).

De acuerdo con este análisis, se puede deducir que la superficie potencial para maíz en el estado sigue siendo mayoritariamente

apta para genotipos de ciclo intermedio-tardío, pero con una tendencia a disminuir a costa de un incremento de la superficie apta para maíces de ciclo intermedio e intermedio-precoc. Por lo anterior y con base en los resultados encontrados, es muy importante que los programas de mejoramiento genético de maíz en el futuro, incrementen sus esfuerzos al desarrollo de variedades mejoradas con mayor precocidad, buscando que tengan un alto índice de cosecha, para compensar la reducción del ciclo con la producción de grano, ya que de otra forma se incrementaría el déficit actual de maíz que se tiene en México. También es importante, para las áreas en donde el maíz deje de ser una opción de cultivo, que los investigadores definan cultivos potenciales y que quienes toman decisiones elaboren programas de desarrollo agropecuario acordes al nuevo patrón de cultivos. Por último, no deben descartarse las opciones de optimización de las prácticas de manejo del cultivo y la manipulación del microclima de la parcela de producción, para tratar de prolongar la estación de crecimiento.

CONCLUSIONES

Las variaciones climáticas operadas durante el período 1972-1996 han repercutido en una reducción de 319,950 ha de la superficie potencial para el cultivo del maíz.

Tales variaciones han impactado también negativamente sobre el potencial productivo del maíz en el estado, ya que en la actualidad existen menos hectáreas potenciales para genotipos de ciclo intermedio-tardíos, considerados hasta hoy, los más productivos en el estado.

Como consecuencia se establece la necesidad de incrementar el nivel de precocidad de los genotipos de siembra, pero sin sacrificar un alto índice de cosecha para compensar la

reducción del ciclo con la producción de grano.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado parcialmente por el CONACYT mediante el proyecto clave: R-29161-B.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá G., J. 1994. Evaluación de un procedimiento para el cálculo de la estación de crecimiento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 57 p.
- Biscoe, P.V. and J.N. Gallagher. 1977. Weather, dry matter production and yield. *In*: Landsberg, J.J. and C.V. Cutting (eds.). Environmental effects on crop physiology. Academic Press. London, England. 388 p.
- Cross, H.Z. and M.S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64:351-355.
- Cutforth, H.W. and C.F. Shaykewich. 1989. Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperature and to accumulated thermal units in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69:121-132.
- Del Pozo A., H., J. García H., R. Novoa, and S. Villaseca. 1987. Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Exp. Agric.* 23:21-30.
- Derieux, M. and R. Bonhomme. 1990. Heat units requirements of maize inbred lines for pollen shedding and silking: Results of the European FAO Network. *Maydica* 35:41-46.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI Ver. 4.1. Technical reference. Clark university-Graduate School of Geography. Worcester, Mass. U.S.A. 229 p.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1998. Global warming impacts: Implications for international agriculture. United States Environmental Protection Agency. The EPA Global Warming Site. USA. 18 p.
- Flores L., H.E. 1994. Análisis agroclimático del Noreste de Jalisco, México, para el manejo en la producción de maíz de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 155 p.
- Hanway, J.H. 1982. How a corn plant develops. Special report num. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames, Iowa, USA. 21 p.
- Hodges, T. and P.C. Doraiswamy. 1979. Crop phenology literature review for corn, soybean, wheat, barley, sorghum, rice, cotton and sunflower. AGRISTARS, Tech. Report. Lockheed Electronics Co., NAS-9-15800. Houston, Texas, USA. 43 p.
- Hubbard, K.G. and F.J. Flores-Mendoza. 1995. Relating United States crop land use to natural resources and climate change. *Journal of Climate* 8(2):329-335.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). 1993. Determinación del potencial productivo de especies vegetales en Jalisco. Informe Final de Proyecto. Documento de circulación interna. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. 45 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). 1998. Proyecto: Caracterización de la variación geográfica de los recursos clima-suelo en Jalisco. Informe final. Documento de circulación interna. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. 83 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. Scientific assessment of climate change. WMO-UNEP. Geneva, Switzerland. 24 p.
- Monteith, J.L. 1977. Climate. *In*: T. Alvim and T.T. Kozlowski (eds.). Ecophysiology of tropical crops. Academic Press. New York, USA. pp. 1-25.
- Neild, R.E. and M.W. Seeley. 1977. Growing degree days predictions for corn and sorghum de-

- velopment and some applications to crop production in Nebraska. *Neb. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. Num. 280*. Nebraska, USA. 12 p.
- Nuño R., R. 1988. Determinación de zonas de eficiencia agroclimática para el maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 68 p.
- Robertson, G.W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. World Meteorological Organization. Technical Note No. 180. Geneva, Switzerland. 99 p.
- Ruiz C., J.A. 1988. Determinación de la estación de crecimiento y precocidad requerida para el maíz en el Sur de Zacatecas. *In: Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Cd. Juárez, Chihuahua, México. pp. 133.
- Ruiz C., J.A., F.J. Flores M., J.L. Ramírez D. y J.J. Sánchez G. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento en el estado de Jalisco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:169-182.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 1997. Estadísticas agrícolas anuales. Delegación de la SAGAR en el Estado de Jalisco. Subdelegación de Agricultura. Guadalajara, Jalisco, México. 47 p.
- Shaw, R.H. 1975. Growing degree units for corn in the North Central region. North Central Regional Research Publication No. 229. Iowa State Univ. USA. IWRBBR (581):793-808.
- Summerfield, R.J., E.H. Roberts, and R.J. Lawn. 1989. Photo-thermal regulation of flowering in grain legumes crops. *Proc. of the Inter. Congress of Plant Physiology and Biochemistry*. New Delhi, India. 35 p.
- Villalpando I., J.F. y E. García. 1993. Agroclimatología del Estado de Jalisco. Anexo cartográfico. Univ. de Guadalajara. CUCBA-LBLP. Guadalajara, Jalisco, México. 40 p.
- Villalpando I., J.F., B.C. Biswas, R. Cáceres M., A. Coulibaly, Z. Gat, R. Gommès, C. Jacquart, B.S. Lomoton, K.B. Perry, E.S. Ulanova, and A. Ussher. 1994. Practical Use of Agrometeorological Data and Information for Planning and Operational Activities in Agriculture. CagM Report No. 60. WMO/TD-No. 629. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 113 p.
- Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. Interactions of Desertification and Climate. WMO-UNEP. Ed. Arnold. London, Great Britain. 270 p.