



Revista Fitotecnia Mexicana

ISSN: 0187-7380

revfitotecniamex@gmail.com

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

México

Ruiz Corral, José Ariel; Ramírez Díaz, José Luis; Flores Mendoza, Francisco Javier; Sánchez González, José de Jesús

Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México

Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 23, núm. 2, julio-diciembre, 2000, pp. 169-181

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61023201>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO SOBRE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO DE MAÍZ EN JALISCO, MÉXICO

CLIMATIC CHANGE AND ITS IMPACT ON THE CORN GROWING SEASON IN JALISCO, MEXICO

José Ariel Ruiz Corral<sup>1</sup>, José Luis Ramírez Díaz<sup>2</sup>, Francisco Javier Flores Mendoza<sup>3</sup> y José de Jesús Sánchez González<sup>3</sup>

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue cuantificar los cambios en la estación de crecimiento (EC) y la capacidad térmica (CT) de la EC, durante el período 1947-1996, como base para la valoración posterior de cambios en la superficie potencial para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en el estado de Jalisco. Se estimó el inicio (IEC), duración (DEC) y finalización (FEC) de la EC, a partir de registros diarios y mensuales de 42 estaciones meteorológicas para dos períodos de tiempo (1947-1971 y 1972-1996), utilizando el método de la FAO y valores de precipitación al 75% de probabilidad de ocurrencia. Se cuantificó la CT en grados-día de desarrollo acumulados (GDDA) durante la EC. Para ello se utilizaron temperaturas máximas y mínimas diarias y una temperatura base de 10°C. Con estas estimaciones se realizaron interpolaciones geográficas para generar mapas estatales de IEC, FEC, DEC y CT, utilizando el sistema de información geográfica IDRISI 4.1. Los resultados mostraron una reducción promedio de 6 días en la DEC producto de un retraso promedio de 2 días en el IEC y de un adelanto promedio de 4 días en la FEC. Esta reducción de la DEC estuvo asociada con una disminución de la precipitación probabilística de los meses de junio, septiembre y octubre. La CT de la EC también disminuyó en promedio 79 GDDA. Se concluye que tanto EC como CT presentan actualmente una tendencia de disminución, por lo que el panorama agroclimático actual es menos favorable para la agricultura temporal de Jalisco.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Zea mays* L., capacidad térmica, distribución espacial, sistemas de información geográfica.

SUMMARY

The objective of this study was to quantify the changes in growing season (GS) and the thermal capacity (TC) of GS, during the period 1947-1996 in Jalisco, Mexico. Using daily and monthly climatic data from 42 weather stations, the commencement (GSC), finalization (GSF) and duration (GSD) of growing season were estimated for the periods 1947-1971 and 1972-1996 using FAO methodology and values of precipitation at 75%. TC was calculated in growing degree days accumulated (GDDA) during GS. GDDA were estimated using maximum and minimum daily temperatures and considering a base temperature of 10°C. Based on these calculations, geographical interpolations were carried out in order to generate state maps of GSC, GSF, GSD, and TC. The interpolations were developed with GIS IDRISI 4.1. The results showed that GSD had an average reduction of six days; since GSC was delayed two days and GSF was registered four days earlier. Reduction of GSD was associated with a decrement of probabilistic precipitation of June, September, and October. Reduction of GSD yielded a diminished TC by 79 GDDA in average. It is concluded that GS and CT have a decreasing tendency, so by these years the agroclimatic conditions are less favourable for the rainfed agriculture in Jalisco, Mexico.

ADDITIONAL INDEX WORDS

*Zea mays* L., thermal capacity, spatial distribution, geographical information systems.

<sup>1</sup> INIFAP-UDG. Apdo. Postal 6-163, Guadalajara, Jal. Tel. y Fax: 01(3) 413-575 y 01(3) 641-3598.

<sup>2</sup> INIFAP. Apdo. Postal No. 10, Tlajomulco, Jal. Tel. y Fax: 01(377) 241-76.

<sup>3</sup> UDG-CUCBA. Predio Las Agujas s/n Zapopan, Jal. Tel. y Fax: 01(3) 682-0213.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el cambio climático se ha convertido en una de las grandes preocupaciones a nivel mundial, por el impacto potencial que representa en la distribución y productividad de los ecosistemas, incluidos los agroecosistemas (Cohen y Pastor, 1991). De estos últimos, los sistemas de temporal se consideran más sensibles a las variaciones climáticas (Carter y Konijn, 1988), ya que dependen únicamente del agua de lluvia para la producción de cosechas; las variaciones interanuales de la cantidad y distribución de la lluvia tienen un efecto significativo sobre su producción y provocan generalmente considerables fluctuaciones en los rendimientos por unidad de área, tanto entre años como entre regiones (Thompson, 1986; Cooter, 1990).

De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, citada por Brinkmann (1979) y Neild *et al.* (1979), la estación de crecimiento (EC) es considerada como un parámetro que enlaza el clima con la agricultura, por lo que puede ser utilizada para medir indirectamente el impacto de los cambios climáticos sobre las actividades agropecuarias. La EC puede alterarse por variaciones en los patrones diarios, mensuales o estacionales de temperatura y precipitación; también la presencia de valores climáticos extremos, tales como heladas, exceso de calor, inundaciones o sequía pueden interrumpir bruscamente el período de crecimiento (Williams y Balling, 1996). Los efectos de los cambios climáticos en la EC se han relacionado bajo dos enfoques opuestos: el primero establece que el calentamiento disminuye la EC, incrementa las tasas de evapotranspiración, reduce la disponibilidad de humedad en el suelo y estimula un desarrollo más acelerado de los cultivos, con una consecuente baja en el rendimiento. El segundo enfoque señala que el calentamiento tiene efectos benéficos como: el incremento de la EC, donde el principal factor restrictivo son las bajas temperaturas (Williams y Balling, 1996; EPA, 1998).

En México existen antecedentes que documentan el incremento de gases efecto invernadero y el sobrecalentamiento atmosférico (INE, 1988). También existen estudios sobre la implementación de modelos de circulación general atmosférica para la construcción de escenarios climáticos futuros (CONAE, 1992), los cuales ratifican una tendencia de calentamiento en el país. Con respecto a la cuantificación de cambios climáticos a escala regional y estatal, se han informado tendencias de calentamiento que oscilan entre 0.3 y 0.6°C (temperatura media anual) en zonas rurales del estado de Aguascalientes (Lemus y Gay, 1988), y niveles de calentamiento entre 1.5 y 2.0°C en centros urbanos con altas tasas de crecimiento, como la ciudad de México (Jáuregui, 1992) y la ciudad de Guadalajara (Ruiz y Gómez, 1994).

Bradley *et al.* (1987) consignan que las regiones localizadas entre los 5 y 35° de latitud Norte registraron entre 1920 y 1985 una tendencia de disminución de las lluvias. En contraparte, Salinas *et al.* (1998) señalan una tendencia de reducción de la cubierta árida del 30% durante el período 1950-1990 en el noroeste de México (Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur).

Para el estado de Jalisco, México y con relación al período 1947-1996, Ruiz (1998) reportó la existencia tanto de tendencias de calentamiento como de enfriamiento, del orden de 0.1 a 1.0°C; las cuales sólo mostraron ser significativas para regiones ubicadas arriba de los 19°45' de latitud Norte. En relación con el régimen de precipitación, el mismo autor encontró que la precipitación anual tuvo una disminución de 33.22 mm

como promedio estatal, esta variación no fue estadísticamente significativa en cuanto al total de lluvia acumulada en el año, pero sí en cuanto a su régimen de distribución estacional.

Con base en esta información, es evidente que la mayor parte de los estudios se han enfocado principalmente a documentar la existencia de cambios o variaciones climáticas, pero muy poco a cuantificar el impacto que tienen dichos fenómenos en el agroclima y la producción agrícola. Lo anterior motivó la presente investigación, con los siguientes objetivos :

1. Cuantificar los cambios operados en la estación de crecimiento y su capacidad térmica del período 1947-1971 al período 1972-1996, como base para la valoración posterior de cambios en la superficie potencial para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), en el estado de Jalisco.
2. Caracterizar la distribución espacial de dichos cambios.
3. Determinar el estado actual de estos parámetros en el estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos climatológicos

Se utilizó información diaria y mensual de temperatura y precipitación del período 1947-1996 correspondiente a 42 estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del estado de Jalisco y que representan aproximadamente la gama de la variación ambiental reportada por Medina *et al.* (1998). Las estaciones se seleccionaron con base en la duración de la serie climática ( $>50$  años) y la veracidad de la información, que fue probada y reportada por Ruiz (1998). Las estaciones consideradas se indican en el Cuadro 1 y

su distribución espacial se muestra en la Figura 1.

### Análisis de datos

La EC se cuantificó por disponibilidad de humedad en dos sub-períodos: 1947-1971 y 1972-1996 (que en lo sucesivo se denominarán como A y B, respectivamente), lo cual constituye una técnica sencilla para identificar tendencias en las series de datos climáticos (Williams y Balling, 1996). Se utilizaron solamente dos sub-períodos debido a que la serie de datos de las estaciones era corta ( $<50$  años) (Bootsma, 1994) y a que uno de los objetivos del trabajo fue caracterizar la situación actual de los recursos EC y capacidad térmica (CT), lo cual no podría haberse hecho con series de datos menores que 20-30 años (Organización Meteorológica Mundial, citada por Villalpando y García, 1993).

El cálculo de la EC se hizo con el método de la FAO, el cual determina el inicio de la EC, cuando al empezar la estación de lluvias la  $P \geq 0.5 \text{ ETP}$ , donde  $P$  es precipitación y ETP la evapotranspiración potencial (FAO, 1978) y la finalización de la estación de crecimiento EC (FEC) se define cuando la humedad del suelo no es suficiente para cubrir la demanda evapotranspirativa del sistema suelo-planta (Chang, 1968); en forma empírica, este momento se puede generalizar cuando  $P \leq 0.33 \text{ ETP}$  (Villalpando y García, 1993). La ETP se estimó mensualmente utilizando el método de Thornthwaite (Martelo, 1997) debido a que en esta investigación sólo se dispuso de datos de temperatura y precipitación. Sin embargo, como se ha demostrado que este método realiza estimaciones desviadas, con respecto a la ETP del método de Penman modificado (el cual normalmente se toma como patrón de comparación), se hizo una corrección a las

Cuadro 1. Localización de 42 estaciones meteorológicas de Jalisco, México.

| No.<br>Est. | Estación            | Municipio                     | Latitud<br>(Norte) | Longitud<br>(Oeste) | Altitud<br>(msnm) |
|-------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1           | Ajojúcar            | Ajojúcar                      | 21.42°             | 102.40°             | 1751              |
| 2           | Atequiza            | Poncitlán                     | 20.40°             | 103.14°             | 1528              |
| 3           | Atoyac              | Atoyac                        | 20.01°             | 103.52°             | 1373              |
| 4           | Bolaños             | Bolaños                       | 21.83°             | 103.78°             | 916               |
| 5           | Calera              | Teocaltiche                   | 20.47°             | 103.15°             | 1905              |
| 6           | Chapala             | Chapala                       | 20.29°             | 103.19°             | 1520              |
| 7           | Cihuatlán           | Cihuatlán                     | 19.23°             | 104.57°             | 20                |
| 8           | Colotlán            | Colotlán                      | 22.12°             | 103.27°             | 1700              |
| 9           | Cuixtla             | Sn.Cristóbal de la Barranca   | 21.05°             | 103.43°             | 806               |
| 10          | Cuquío              | Cuquío                        | 20.93°             | 103.02°             | 1782              |
| 11          | Ejutla              | Ejutla                        | 19.91°             | 104.16°             | 1140              |
| 12          | El Nogal            | Tapalpa                       | 19.87°             | 103.76°             | 1900              |
| 13          | Huejuquilla         | Huejuquilla El Alto           | 22.63°             | 103.90°             | 1700              |
| 14          | Huerta Vieja        | Ixtlahuacán de los Membrillos | 20.42°             | 103.25°             | 1567              |
| 15          | Jalostotitlán       | Jalostotitlán                 | 21.18°             | 102.47°             | 1767              |
| 16          | Jesus María         | Jesús María                   | 20.62°             | 102.22°             | 2129              |
| 17          | Jocotepec           | Jocotepec                     | 20.28°             | 103.43°             | 1537              |
| 18          | La Cuña             | Yahualica                     | 21.00°             | 102.83°             | 1534              |
| 19          | Lagos de Moreno     | Lagos de Moreno               | 21.36°             | 101.93°             | 1871              |
| 20          | La Vega             | Teuchitlán                    | 20.60°             | 103.84°             | 1250              |
| 21          | Mascota             | Mascota                       | 20.53°             | 104.78°             | 1240              |
| 22          | Mexticacán          | Mexticacán                    | 21.26°             | 102.78°             | 1775              |
| 23          | Ojuelos             | Ojuelos                       | 21.87°             | 101.59°             | 2220              |
| 24          | Palo Verde          | Zapotlanejo                   | 20.64°             | 102.95°             | 1739              |
| 25          | Poncitlán           | Poncitlán                     | 20.38°             | 102.93°             | 1530              |
| 26          | Quito               | Tuxpan                        | 19.51°             | 103.41°             | 1060              |
| 27          | Quitupan            | Quitupan                      | 19.93°             | 102.87°             | 1660              |
| 28          | San Bernardo        | Teocaltiche                   | 21.63°             | 102.39°             | 1853              |
| 29          | San Gregorio        | Gomez Farías                  | 20.62°             | 104.57°             | 1845              |
| 30          | San Miguel El Alto  | San Miguel El Alto            | 21.01°             | 102.40°             | 1881              |
| 31          | Sta. Ma. de Angeles | Santa María de los Angeles    | 22.17°             | 103.22°             | 1729              |
| 32          | Santa Rosa          | Amatitán                      | 20.92°             | 103.72°             | 730               |
| 33          | Tacotán             | Unión de Tula                 | 20.03°             | 104.30°             | 1340              |
| 34          | Tapalpa             | Tapalpa                       | 19.95°             | 103.76°             | 2060              |
| 35          | Tecolotlán          | Tecolotlán                    | 20.20°             | 104.04°             | 1200              |
| 36          | Teocaltiche         | Teocaltiche                   | 21.41°             | 102.57°             | 1745              |
| 37          | Tomatlán            | Tomatlán                      | 19.94°             | 105.25°             | 50                |
| 38          | Tototlán            | Tototlán                      | 20.54°             | 102.79°             | 1545              |
| 39          | Unión de Tula       | Unión de Tula                 | 19.96°             | 104.27°             | 1340              |
| 40          | Villa Guerrero      | Villa Guerrero                | 21.98°             | 103.59°             | 1815              |
| 41          | Villa Obregón       | Villa Obregón                 | 21.15°             | 102.69°             | 1886              |
| 42          | Yahualica           | Yahualica                     | 21.19°             | 102.90°             | 1850              |

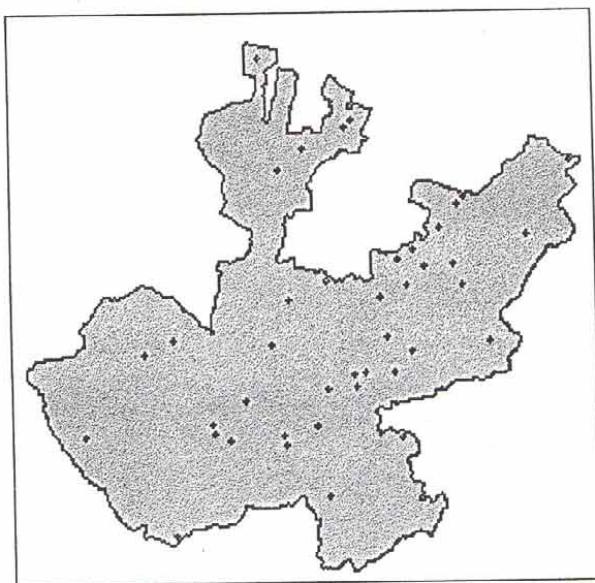


Figura 1. Distribución espacial de estaciones meteorológicas utilizadas.

estimaciones del método Thornthwaite, utilizando una adecuación de la ecuación propuesta por López *et al.* (1989). De esta forma:

$$ETP = 57.5 + 0.99 ETPTh$$

donde ETPTh es la ETP estimada con el método de Thornthwaite (Martelo, 1997) y la constante 57.5 es válida principalmente para los meses del temporal de lluvias (mayo a noviembre).

Para el cálculo de la estación de crecimiento EC se utilizaron valores de precipitación mensual a un 75% de probabilidad ( $P \geq P_0$ ). Previamente, para seleccionar el método de cálculo de probabilidades, con los datos mensuales de precipitación se probó el ajuste de las distribuciones estadísticas Gama Incompleta (2 parámetros), Galton (Log-Normal) y Normal, las cuales han sido ampliamente utilizadas para este propósito (Suzuki, 1980). Para probar el ajuste de las

distribuciones se utilizó el estadístico de Smirnov, descrito y recomendado por Ortiz (1982) y Villalpando (1985); los cálculos se realizaron con el sistema de cómputo SICA 2.0 (Medina y Ruiz, 1992). En la revisión preliminar de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas, se encontró que el período de crecimiento quedaba comprendido entre los meses de mayo y octubre y en algunos casos entre mayo y noviembre, de tal forma que el análisis de probabilidades de lluvia se realizó para los meses comprendidos entre mayo y noviembre. Mediante la prueba de Smirnov se obtuvo que para los meses de mayo y noviembre la distribución que mejor se ajustó a los datos de precipitación fue la Gama Incompleta, mientras que para los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, en términos generales fue la distribución Galton. Con base en estas distribuciones se calculó la precipitación mensual al 75% de probabilidad. Una vez obtenidos los valores de precipita-

ción y ETP mensuales, se calcularon IEC, FEC y DEC para los períodos A y B.

En regiones con invierno definido, es frecuente que la EC se reduzca por la presencia de heladas; sin embargo, en Jalisco no existen estos casos (Villalpando y García, 1993; Flores, 1994), ya que predominan climas subhúmedos y semiáridos, donde las lluvias se retiran antes de que comiencen las heladas otoñales (Medina *et al.*, 1998).

Una vez calculada la EC, se cuantificó su CT, definida como la cantidad de grados día de desarrollo acumulados (GDDA) durante este período. El cálculo de los GDDA se realizó con el método residual, el cual establece:

$$GDDA = \sum_{i=1}^n T - Tb$$

donde:

i = Cada uno de los días de la EC  
 T = Temperatura media diaria (°C)  
 Tb = Temperatura base = 10°C

Con los resultados del cálculo de la EC y su CT, así como las coordenadas geográficas para cada una de las 42 estaciones de estudio, se integraron matrices de datos para alimentar el módulo de interpolación espacial del sistema de cómputo IDRISI 4.1 (Eastman, 1993). Mediante este proceso de interpolación se generaron mapas estatales de IEC, FEC, DEC y CT para los períodos A y B. Finalmente, con las rutinas de reclasificación y cálculo de áreas de IDRISI 4.1, se obtuvieron mapas estatales estratificados y superficies (ha) por estrato para cada parámetro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Probabilidades de lluvia

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del cálculo de la precipitación mensual al 75% de probabilidad; no se incluyen los resultados de los meses de mayo y noviembre por representar cantidades de precipitación poco significativas para la definición de la EC.

Durante el análisis se determinó que los meses que mayormente determinaron el IEC fueron junio y julio y para la FEC fueron septiembre y octubre.

Al comparar los períodos A y B se determinaron variaciones importantes en la cantidad de precipitación (pie del Cuadro 2). Durante los meses de junio, septiembre y octubre el número de casos (registros de las estaciones meteorológicas) en que la precipitación aumentó del período A al B fue de 14, 13 y 5 casos, respectivamente (con dos casos sin cambio); de manera complementaria, en 26, 29 y 37 casos la lluvia disminuyó, lo que indica que en el estado de Jalisco predomina actualmente una tendencia a la baja en estos meses, los cuales generalmente delimitan la estación de crecimiento. En contraparte, para los meses de julio y agosto se observó una tendencia de incremento de la precipitación, ya que en 27 y 26 casos, de 42 posibles, se observó mayor precipitación en el período B que en A. Esto significa que la precipitación en Jalisco tiende a concentrarse cada vez más hacia la parte central del temporal de lluvias (meses de julio y agosto) y menos hacia el inicio (junio) y terminación (octubre) de esta estación. Este fenómeno de distribución errática de la precipitación es coincidente con signos de cambio climático informados con anterioridad, como sequías e inundaciones (Ogallo, 1989) y que repercuten directamente en la duración

Cuadro 2. Precipitación mensual al 75% de probabilidad en dos períodos y frecuencia de incremento y disminución de la precipitación.

| No.<br>Estación                                  | Milímetros de precipitación al 75% de probabilidad |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----------------|------|------|------|------|
|  | 1947 – 1971 (A)                                    |     |     |     |     | 1972 – 1996 (B) |      |      |      |      |
|  | JUN  | JUL | AGO | SEP | OCT | JUN             | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  |
| 1  | 72   | 87  | 97  | 70  | 15  | 45              | 114  | 120  | 62   | 11   |
| 2  | 145  | 200 | 134 | 109 | 9   | 114             | 182  | 148  | 113  | 15   |
| 3  | 92   | 114 | 97  | 72  | 29  | 67              | 130  | 106  | 59   | 18   |
| 4  | 55   | 97  | 82  | 55  | 14  | 70              | 130  | 125  | 71   | 11   |
| 5  | 58   | 76  | 86  | 67  | 13  | 60              | 110  | 109  | 52   | 14   |
| 6  | 81   | 151 | 111 | 90  | 20  | 120             | 214  | 161  | 135  | 16   |
| 7  | 42   | 86  | 130 | 152 | 39  | 42              | 104  | 140  | 113  | 35   |
| 8  | 72   | 142 | 115 | 67  | 25  | 38              | 91   | 108  | 50   | 10   |
| 9  | 101  | 183 | 92  | 93  | 34  | 102             | 196  | 184  | 102  | 13   |
| 10   | 95   | 187 | 158 | 122 | 22  | 97              | 170  | 144  | 99   | 14   |
| 11   | 102  | 135 | 166 | 132 | 33  | 106             | 160  | 136  | 129  | 29   |
| 12   | 105  | 107 | 107 | 83  | 53  | 112             | 132  | 81   | 72   | 32   |
| 13   | 58   | 130 | 145 | 69  | 22  | 40              | 105  | 117  | 52   | 7    |
| 14   | 108  | 171 | 123 | 88  | 20  | 113             | 205  | 156  | 121  | 24   |
| 15   | 95   | 126 | 134 | 74  | 14  | 53              | 158  | 130  | 63   | 15   |
| 16   | 100  | 164 | 130 | 104 | 33  | 68              | 162  | 141  | 92   | 30   |
| 17   | 97   | 144 | 82  | 75  | 15  | 94              | 176  | 128  | 58   | 12   |
| 18   | 112  | 159 | 145 | 89  | 16  | 99              | 202  | 168  | 87   | 11   |
| 19   | 68   | 78  | 80  | 51  | 21  | 39              | 105  | 95   | 74   | 12   |
| 20   | 136  | 194 | 148 | 122 | 38  | 152             | 206  | 146  | 109  | 14   |
| 21   | 134  | 231 | 181 | 133 | 66  | 117             | 192  | 184  | 130  | 28   |
| 22   | 65   | 87  | 99  | 76  | 11  | 77              | 162  | 134  | 72   | 18   |
| 23   | 46   | 41  | 62  | 44  | 17  | 40              | 80   | 63   | 34   | 8    |
| 24   | 142  | 167 | 160 | 96  | 22  | 84              | 133  | 144  | 86   | 12   |
| 25   | 102  | 161 | 135 | 80  | 17  | 111             | 169  | 133  | 89   | 12   |
| 26   | 114  | 170 | 153 | 137 | 35  | 101             | 138  | 119  | 126  | 26   |
| 27   | 112  | 156 | 126 | 101 | 34  | 119             | 160  | 111  | 86   | 22   |
| 28   | 65   | 76  | 100 | 60  | 14  | 35              | 82   | 98   | 62   | 12   |
| 29   | 170  | 252 | 235 | 188 | 93  | 155             | 223  | 225  | 197  | 76   |
| 30   | 66   | 129 | 126 | 83  | 28  | 66              | 159  | 127  | 74   | 15   |
| 31   | 58   | 111 | 108 | 64  | 18  | 55              | 102  | 118  | 65   | 12   |
| 32   | 108  | 203 | 188 | 117 | 29  | 90              | 221  | 196  | 102  | 17   |
| 33   | 118  | 161 | 121 | 102 | 42  | 98              | 146  | 120  | 85   | 19   |
| 34   | 142  | 110 | 113 | 102 | 66  | 132             | 141  | 97   | 92   | 45   |
| 35   | 132  | 135 | 82  | 72  | 39  | 131             | 144  | 119  | 78   | 23   |
| 36   | 73   | 116 | 99  | 68  | 18  | 44              | 110  | 110  | 54   | 9    |
| 37   | 42   | 139 | 144 | 182 | 40  | 35              | 111  | 150  | 111  | 26   |
| 38   | 125  | 172 | 150 | 89  | 26  | 79              | 193  | 149  | 92   | 14   |
| 39   | 94   | 179 | 160 | 92  | 41  | 93              | 142  | 148  | 99   | 16   |
| 40   | 58   | 173 | 144 | 74  | 17  | 76              | 157  | 151  | 61   | 15   |
| 41   | 57   | 128 | 82  | 41  | 8   | 67              | 143  | 124  | 63   | 4    |
| 42   | 90   | 142 | 113 | 80  | 15  | 77              | 178  | 118  | 73   | 12   |
| No. de casos con incremento de la precipitación  |  |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|  |  |     |     |     |     | 14              | 27   | 26   | 13   | 5    |
| Frecuencia de incremento de la precipitación     |  |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|  |  |     |     |     |     | 0.33            | 0.64 | 0.62 | 0.31 | 0.12 |
| No. de casos con disminución de la precipitación |  |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|  |  |     |     |     |     | 26              | 15   | 16   | 29   | 37   |
| Frecuencia de disminución de la precipitación    |  |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|  |  |     |     |     |     | 0.65            | 0.36 | 0.38 | 0.69 | 0.88 |
| Variación promedio de precipitación (mm)         |  |     |     |     |     |                 |      |      |      |      |
|  |  |     |     |     |     | -9.4            | 8.8  | 8.0  | -5.3 | -9.4 |

Frecuencia = n/42, donde n=número de estaciones con incremento o disminución de la precipitación al pasar de 1947-1971 a 1972-1996.

de la estación de crecimiento regional (Williams y Balling, 1996). El incremento de la precipitación durante los meses de julio y agosto puede estar influyendo en un aumento del nivel erosivo de la precipitación en el estado, ya que como lo señaló Sánchez (1988), la precipitación de los meses más lluviosos del año está correlacionada positiva y significativamente con los niveles de erosividad de la precipitación. Este incremento de la cantidad e intensidad de la precipitación en los meses más lluviosos, es de acuerdo con Clark *et al.* (1988) una característica concordante con los cambios climáticos asociados a latitudes bajas y que como lo señala la FAO (1994) puede tener importantes efectos en el incremento de la producción de sedimentos y erosión hídrica en países de América Latina.

#### Estación de crecimiento

El impacto que las variaciones de la precipitación probable tuvieron sobre la estación de crecimiento se presenta en el Cuadro 3, donde la DEC se redujo en 32 casos, en nueve se incrementó y una estación se mantuvo sin cambios. En promedio la DEC se redujo seis días, dos en la fecha de inicio de la estación de crecimiento y cuatro en la fecha de terminación del período de crecimiento. Esto señala que los cambios que han ocurrido en los patrones climáticos del estado, principalmente en la precipitación y temperatura (Ruiz, 1998), han impactado negativamente en la estación de crecimiento. Es importante destacar las estaciones donde hubo reducción de la DEC de hasta dos semanas o más (Cuadro 3); como serían los casos de: Atoyac, El Nogal, Huejuquilla, Jalostotitlán, Jesús María, Mascota, Palo Verde, Tacotán, Teocaltiche, Tomatlán y Tototlán; reducción que podría estar significando el cambio de variedades de siembra o incluso de patrones de cultivo. El valor más extremo de reducción en la DEC fue

Colotlán, donde de 101 días se pasó a 75 días. Esto representa un impacto negativo sobre las potencialidades agrícolas de bajo riesgo en esta región. Otro dato que sobresale en la información del Cuadro 3 es que en 20 de las 42 estaciones analizadas, la DEC se redujo en 6 o más días; en estos casos es muy posible que los niveles potenciales de rendimiento de los cultivos tradicionales como el maíz estén siendo afectados por una culminación deficiente de la etapa de llenado de grano.

#### Distribución espacial de la estación de crecimiento

Con respecto a la distribución espacial de los parámetros de la estación de crecimiento, en la Figura 2 se pueden apreciar diferencias tanto en el IEC como en la FEC y la DEC. Por ejemplo, las áreas con el IEC más temprano, esto es, entre el 1 y 15 de junio, se redujeron aproximadamente en un 63%. Los cambios de mayor impacto se dieron en la FEC, ya que las áreas con FEC después del 31 de octubre se redujeron considerablemente, tanto la que se ubica al Sur como la que se localiza al Oeste del estado; esta última incluso desapareció en los últimos 25 años. Otro cambio que puede identificarse tanto en la región Costa como en la región Centro, es el incremento de las áreas con FEC entre el 1 y 15 de octubre, ocupando áreas que antes (1947-1971) correspondían a una FEC entre el 16 y 31 de octubre. Con relación a la DEC, los contrastes más notorios en el mapa de la Figura 2 demuestran tendencias desfavorables para el estado de Jalisco, ya que los dos estratos con mayor DEC, esto es  $>150$  días y 120 a 150 días, disminuyeron su superficie en un 67 y un 32%, respectivamente; mientras que los estratos más desfavorables, esto es 60-90 y 90-120 días, incrementaron su superficie en un 13 y un 60%. Las zonas más impactadas fueron la Centro, Costa, Oeste y porción Sur

Cuadro 3. Estación de crecimiento (EC) y su capacidad térmica (CT) en los períodos 1947-1971 y 1972-1996 en 42 localidades de Jalisco, México.

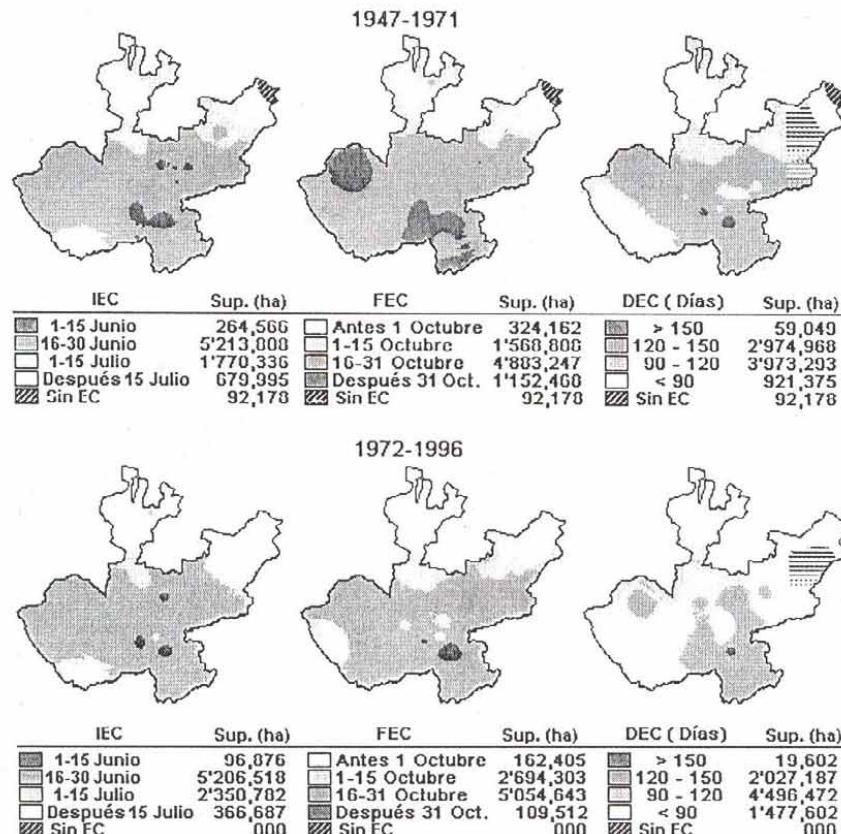
| No.<br>Est.                  | 1947-1971 (A) |              |             |            | 1972-1996 (B) |                             |             |            | Diferencia       |      |
|------------------------------|---------------|--------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------|-------------|------------|------------------|------|
|                              | IEC<br>fecha  | FEC<br>fecha | DEC<br>días | CT<br>gdda | IEC<br>Fecha  | FEC<br>fecha                | DEC<br>Días | CT<br>gdda | (B) - (A)<br>DEC | CT   |
| 1                            | Jul 04        | Oct 14       | 102         | 1050       | Jul 13        | Oct 11                      | 90          | 889        | -12              | -161 |
| 2                            | Jun 15        | Oct 19       | 126         | 1464       | Jun 21        | Oct 21                      | 122         | 1442       | -4               | -22  |
| 3                            | Jun 26        | Oct 19       | 115         | 1294       | Jul 05        | Oct 09                      | 96          | 1155       | -19              | -139 |
| 4                            | Jul 25        | Sep 24       | 61          | 891        | Jul 16        | Oct 05                      | 81          | 1306       | 20               | 415  |
| 5                            | Jul 24        | Oct 13       | 81          | 796        | Jul 07        | Oct 08                      | 93          | 843        | 12               | 47   |
| 6                            | Jun 28        | Oct 20       | 114         | 1261       | Jun 18        | Oct 24                      | 128         | 1355       | 14               | 94   |
| 7                            | Jul 25        | Oct 22       | 89          | 1600       | Jul 20        | Oct 16                      | 88          | 1616       | -1               | 16   |
| 8                            | Jul 05        | Oct 14       | 101         | 1160       | Jul 21        | Oct 04                      | 75          | 839        | -26              | -321 |
| 9                            | Jun 28        | Oct 17       | 111         | 1834       | Jun 27        | Oct 15                      | 111         | 1766       | 0                | -68  |
| 10                           | Jun 22        | Oct 24       | 124         | 1210       | Jun 23        | Oct 20                      | 119         | 1154       | -5               | -56  |
| 11                           | Jun 26        | Oct 25       | 121         | 1692       | Jun 26        | Oct 24                      | 120         | 1736       | -1               | 44   |
| 12                           | Jun 16        | Nov 10       | 147         | 1158       | Jun 16        | Oct 26                      | 132         | 1007       | -15              | -151 |
| 13                           | Jul 08        | Oct 15       | 99          | 1216       | Jul 16        | Oct 04                      | 80          | 819        | -19              | -397 |
| 14                           | Jun 20        | Oct 20       | 122         | 1328       | Jun 21        | Oct 24                      | 125         | 1375       | 3                | 47   |
| 15                           | Jun 25        | Oct 16       | 113         | 1182       | Jul 06        | Oct 13                      | 99          | 950        | -14              | -232 |
| 16                           | Jun 18        | Oct 28       | 132         | 1003       | Jul 01        | Oct 26                      | 117         | 900        | -15              | -103 |
| 17                           | Jun 22        | Oct 16       | 116         | 1164       | Jun 23        | Oct 10                      | 109         | 1082       | -7               | -82  |
| 18                           | Jun 22        | Oct 18       | 118         | 1440       | Jun 22        | Oct 16                      | 113         | 1387       | -5               | -53  |
| 19                           | Jul 10        | Oct 08       | 90          | 841        | Jul 14        | Oct 16                      | 94          | 858        | 4                | 17   |
| 20                           | Jun 19        | Oct 27       | 130         | 1791       | Jun 18        | Oct 18                      | 122         | 1696       | -8               | -95  |
| 21                           | Jun 18        | Nov 09       | 144         | 1872       | Jun 21        | Oct 24                      | 125         | 1650       | -19              | -222 |
| 22                           | Jul 10        | Oct 16       | 98          | 938        | Jun 29        | Oct 17                      | 110         | 1038       | 12               | 100  |
| 23                           | -----         | -----        | 0           | 0          | Jul 19        | Ago 30                      | 42          | 326        | 42               | 326  |
| 24                           | Jun 14        | Oct 22       | 130         | 1276       | Jun 27        | Oct 18                      | 113         | 1123       | -17              | -153 |
| 25                           | Jun 22        | Oct 17       | 117         | 1340       | Jun 20        | Oct 18                      | 120         | 1298       | 3                | -42  |
| 26                           | Jun 22        | Oct 27       | 127         | 1695       | Jun 25        | Oct 23                      | 120         | 1632       | -7               | -63  |
| 27                           | Jun 18        | Oct 27       | 131         | 1386       | Jun 18        | Oct 20                      | 124         | 1362       | -7               | -24  |
| 28                           | Jul 21        | Oct 10       | 81          | 837        | Jul 24        | Oct 11                      | 79          | 771        | -2               | -66  |
| 29                           | Jun 09        | Nov 19       | 163         | 1130       | Jun 11        | Nov 17                      | 159         | 1147       | -4               | 17   |
| 30                           | Jul 03        | Oct 23       | 112         | 1025       | Jul 02        | Oct 17                      | 107         | 942        | -5               | -83  |
| 31                           | Jul 12        | Oct 12       | 92          | 1058       | Jul 14        | Oct 12                      | 90          | 950        | -2               | -108 |
| 32                           | Jul 05        | Oct 17       | 104         | 1782       | Jul 07        | Oct 13                      | 98          | 1700       | -6               | -82  |
| 33                           | Jun 21        | Oct 28       | 129         | 1574       | Jun 26        | Oct 17                      | 113         | 1364       | -16              | -210 |
| 34                           | Jun 10        | Nov 14       | 157         | 1380       | Jun 12        | Nov 05                      | 146         | 1028       | -11              | -352 |
| 35                           | Jun 21        | Oct 18       | 119         | 1738       | Jun 20        | Oct 14                      | 116         | 1646       | -3               | -92  |
| 36                           | Jul 03        | Oct 14       | 103         | 1066       | Jul 13        | Oct 07                      | 86          | 837        | -17              | -229 |
| 37                           | Jul 25        | Oct 24       | 91          | 1691       | Jul 27        | Oct 12                      | 77          | 1457       | -14              | -234 |
| 38                           | Jun 18        | Oct 21       | 125         | 1351       | Jun 29        | Oct 18                      | 111         | 1238       | -14              | -113 |
| 39                           | Jun 26        | Oct 16       | 122         | 1515       | Jun 27        | Oct 18                      | 113         | 1420       | -9               | -95  |
| 40                           | Jul 04        | Oct 17       | 105         | 1033       | Jun 30        | Oct 12                      | 104         | 1019       | -1               | -14  |
| 41                           | Jul 07        | Sep 28       | 83          | 868        | Jul 04        | Oct 10                      | 98          | 1029       | 15               | 161  |
| 42                           | Jun 24        | Oct 18       | 116         | 1043       | Jun 28        | Oct 16                      | 110         | 904        | -6               | -139 |
| Variación promedio del IEC   |               | = - 2 días   |             |            |               | IEC = Inicio de la EC       |             |            |                  |      |
| Variación promedio de la FEC |               | = - 4 días   |             |            |               | FEC = Finalización de la EC |             |            |                  |      |
| Variación promedio de la DEC |               | = - 6 días   |             |            |               | DEC = Duración de la EC     |             |            |                  |      |
| Variación promedio de la CT  |               | = - 79 gdda  |             |            |               | CT = Capacidad térmica      |             |            |                  |      |

de la región Noreste. Otro aspecto interesante en los mapas de la Figura 2, es la marcada disminución e incluso desaparición de la zona sin estación de crecimiento, la cual se localizaba en la porción Norte de la región Noreste (conocida localmente como Altos-Norte), alrededor de la localidad de Ojuelos principalmente, ya que para el período 1972-1996, la DEC para dicha estación fue de 42 días, lo cual no corresponde a los valores informados por Villapando y García (1993) y Flores (1994), quienes basados en series climáticas actualizadas hasta mediados de los años 1980's, reportaron a esta localidad con una DEC de cero días. Sin embargo, estos resultados son consistentes con las tendencias climáticas consignadas por Ruiz (1998) en las que se especifica que esta zona ha experimentado un incremento de la precipitación y disminución de la temperatura anuales, factores que seguramente se han conjugado para la aparición de un período de crecimiento. Como se indicó al final del Cuadro 3, las variaciones en los parámetros de la EC se reflejaron en la capacidad térmica de la EC, ya que los GDDA disminuyeron en promedio 79 unidades. No obstante, este valor promedio no refleja el verdadero impacto que se registró en ciertas localidades, donde las diferencias de CT entre los períodos A y B fueron considerables. Tal es el caso de estaciones como Colotlán, Huejuquilla, Tapalpa y Mascota, en donde se cuantificaron algunos de los mayores decrementos en la CT de la EC. Estos decrementos, como se puede observar en el Cuadro 3, guardan una estrecha relación con decrementos en la DEC; sin embargo, en el caso de las primeras tres localidades, también tienen relación con una tendencia de enfriamiento identificada por Ruiz (1998); no así para la localidad de Mascota, en la que las tendencias de cambio climático durante los últimos 50 años se relacionan con un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación (Ruiz, 1998).

Dentro de las nueve estaciones en las que se detectó un incremento de la DEC durante el período 1972-1996 (Cuadro 3), las localidades que presentaron un mayor incremento de la CT fueron Bolaños, Ojuelos, Villa Obregón y Mexticacán con 415, 326, 161 y 100 GDDA, respectivamente. Todos estos incrementos en GDDA obedecen principalmente al aumento de la DEC por incremento de la precipitación y no a un incremento de temperatura, ya que mientras las tres primeras estaciones han registrado una tendencia de enfriamiento durante 1947-1996, Villa Obregón es una localidad sin cambio térmico significativo (Ruiz, 1998). Otro caso de incremento de la CT, es la localidad de Calera, sin embargo, este aumento no fue tan considerable, ya que aun cuando la DEC se prolongó 12 días, la CT únicamente aumentó en 47 GDDA. Esto puede deberse a que Calera es una de las localidades en las que se ha registrado una de las mayores tasas de enfriamiento en todo el estado,  $-0.20^{\circ}\text{C}/\text{década}$  entre 1947 y 1996 (Ruiz, 1998). Cabe señalar que las diferencias de pérdida o ganancia de GDDA entre estaciones se deben tanto a la magnitud del cambio en la DEC como a la diferente tasa de acumulación diaria de GDDA que tienen las estaciones dependiendo de su régimen térmico, normalmente gobernado por la latitud y altitud de la localidad.

## CONCLUSIONES

La duración de la estación de crecimiento se redujo en promedio 6 días y la capacidad térmica de la estación de crecimiento disminuyó 79 GDDA, durante el período 1972-1996, en comparación con el período 1947-1971. Actualmente la fecha de inicio de la estación de crecimiento presenta en promedio estatal un retraso de dos días y la fecha de finalización un adelanto de cuatro días.



Los cambios operados en la estación de crecimiento se distribuyen espacialmente con diferente intensidad, por lo que estos cambios presentan un carácter regional.

La situación actual revela la existencia de la siguiente tendencia: a) incremento de la superficie con menor duración de estación de crecimiento y, b) disminución de la superficie con mayor duración de la estación de crecimiento.

#### AGRADECIMIENTOS

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

#### BIBLIOGRAFÍA

- Bootsma, A. 1994. Long term (100 yr) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change* 26:65-88.
- Bradley, R.S., H.F. Díaz, J.K. Eischeid, P.D. Jones, P.M. Kelly, and C.M. Goodess. 1987. Precipitations fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19<sup>th</sup> Century. *Science* 237:171-175.
- Brinkmann, W.A.R. 1979. Growing season length as an indicator of climatic variations? *Climatic Change* 2:127-138.
- Carter, T.R. and N.T. Konijn. 1988. The choice of first order impact models for semi-arid regions. In: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Volume II: Assessment in semi-arid regions*. M.L. Parry, T.R.

- Carter and T. Konijn (eds.). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. pp. 61-83.
- Chang, J.H. 1968. Climate and Agriculture. An Ecological Survey. Aldine Publishing Co. Chicago, U.S.A. 304 p.
- Clark, W.C., G.T. Goodman, J. Jaeger, M. Oppenheimer, and G.M. Goodwell. 1988. Developing policies for responding to climatic change. WCIP-1. WMO/TD-No. 225. Geneva, Switzerland. 105 p.
- Cohen, Y. and J. Pastor. 1991. The responses of a forest model to serial correlations of global warming. *Ecology* 72:1161-1165.
- CONAE. 1992. Reporte Anual. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía-SEMIP. México, D.F. 115 p.
- Cooter, E.J. 1990. The impact of climate change on continuous corn production in the southern U.S.A. *Climatic Change*, 16:53-82.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI Ver. 4.1. Technical reference. Clark University-Graduate School of Geography. Worcester, Ma., USA. 229 p.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1998. Global warming impacts: Implications for international agriculture. The EPA Global Warming Site. <http://www.epa.gov>. Environmental Protection Agency. USA. 2 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1978. Agroecological zones project. World soil resources. Report Num. 48 Vol. 1: Africa. Geneva, Switzerland. 158 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1994. Erosión de suelos en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile. pp. 8-11.
- Flores L., H. 1994. Análisis agroclimático del Noroeste de Jalisco, para el manejo en la producción de maíz de temporal. Tesis de maestría en Ciencias. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 155 p.
- INE. 1988. Inventario preliminar de gases efecto invernadero para México. Instituto Nacional de Ecología/SEDESOL. México, D.F. 121 p.
- Jáuregui, E. 1992. Aspects of monitoring local/regional climate change in a tropical region. *Atmósfera* 5:69-78.
- Lemus, L. and C. Gay. 1988. Temperature, precipitation variations and local effects in Aguascalientes during 1921-1985. *Atmósfera* 1:39-44.
- López E., J., L. Tijerina y L. Aceves. 1989. Determinación de la evapotranspiración potencial en el área de influencia de Montecillo haciendo uso de variables climáticas. Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología. UACH. Chapingo, México. pp 345-354.
- Martelo, M.T. 1997. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto). Técnicas agrometeorológicas en la agricultura operativa de América Latina. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. pp 1-20.
- Medina G., G. y J.A. Ruiz C. 1992. SICA 2.0: Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas. Guía de documentación y manual del usuario. Tema didáctico No. 3. INIFAP. Calera, Zacatecas. 126 p.
- Medina G., G., J.A. Ruiz C. y R.A. Martínez P. 1998. Los Climas de México: Una Estratificación Ambiental Basada en el Componente Climático. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. 103 p.
- Neild, R.E., H.N. Richman, and M.W. Seeley. 1979. Impacts of different types of temperature change on the growing season for maize. *Agricultural Meteorology* 20:367-374.
- Ogallo, L.J. 1989. The spatial and temporal patterns of the East African seasonal rainfall derived from principal components analysis. *International Journal of Climatology* 9:145-167.
- Ortiz S., C.A. Agrometeorología. 1982. UACH. Chapingo, México. 221 p.

- Ruiz C., J.A. y R. Gómez M. 1994. Variabilidad del régimen de temperatura en Guadalajara. Horizonte 343:13-18.
- Ruiz C., J.A. 1998. Cambio climático y su impacto sobre algunos parámetros agroclimáticos y potencialidades agrícolas del estado de Jalisco. Tesis de Doctorado. Postgrado Interinstitucional de Ciencias Agrícolas y Forestales. Centro Univ. de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Univ. de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 89 p.
- Salinas Z., C.A., D. Lluch B., S. Hernández V., and D.B. Lluch C. 1998. La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. Atmósfera 11:29-44.
- Sánchez V., A. 1988. Isoyetas del estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 34 p.
- Suzuki, E. 1980. A summarized review of theoretical distributions fitted to climatic factors and Markov chain models of weather sequences, with some examples. In: Statistical climatology, Developments in Atmosphere Science, 13. S. Ikeda *et al.* (eds.). Elsevier Scientific Publishing Co. New York, USA. pp. 1-20.
- Thompson, L.M. 1986. Climatic change, weather variability and corn production. Agron J. 78:649-653.
- Villalpando I., J.F. 1985. Métodos de Análisis en Agroclimatología. Documento de circulación interna. INIA. C.E. Zapopan. Zapopan, Jalisco. 151 p.
- Villalpando I., J.F. y E. García. 1993. Agroclimatología de Jalisco. Anexo cartográfico. Univ. de Guadalajara-LBLP. Guadalajara, Jalisco. 40 p.
- Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. Interactions of Desertification and Climate. WMO-UNEP. Ed. Arnold. London, Great Britain. 270 p.