Rev. Fitotec. Mex. Vol. 23. 169-182. 2000

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[1], José Luis Ramírez Díaz[2], Francisco Javier Flores Mendoza[3] y José de Jesús Sánchez González[3]

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 temporalera de Jalisco.

[1] INIFAP-UDG. Apdo. Postal 6-163, Guadalajara, Jal. Tel. y Fax: 01(3) 413-575 y 01(3) 641-3598.
[2] INIFAP. Apdo. Postal No. 10, Tlajomulco, Jal. Tel. y Fax: 01(377) 241-76.
[3] UDG-CUCBA. Predio Las Agujas s/n Zapopan, Jal. Tel. y Fax: 01(3) 682-0213.

Fecha de Recepción: 5 de Julio de 1999.
Fecha de Aprobación: 11 de Abril del 2000.

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.

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, incluídos 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 $P \geq 0.5ETP$, 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 $P \leq 0.33$ 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. Est.	Estación	Municipio	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (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	Totolán	Totolán	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

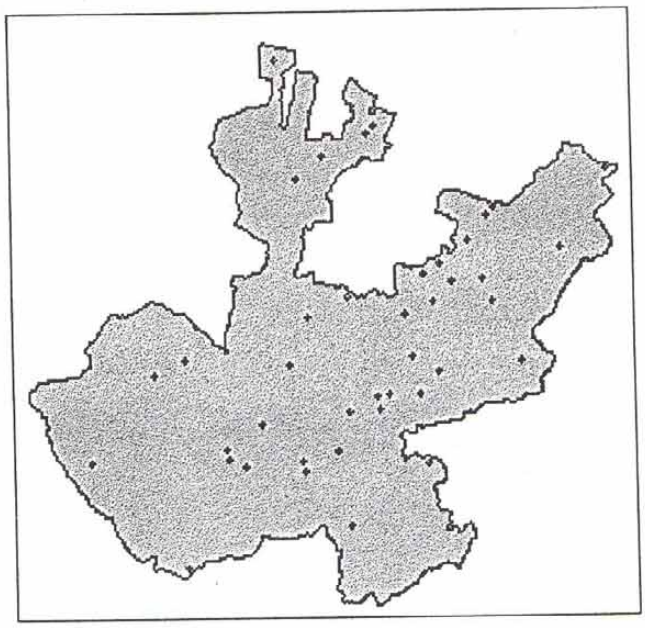


Figura 1. Distribución espacial de estaciones meteorológicas utilizadas.

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 ($P \geq Po$). 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:

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

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. 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.	1947-1971 (A)				1972-1996 (B)				Diferencia (B) – (A)	
Est.	IEC fecha	FEC fecha	DEC días	CT gdda	IEC Fecha	FEC fecha	DEC Días	CT gdda	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
Variación promedio de la FEC = - 4 días
Variación promedio de la DEC = - 6 días
Variación promedio de la CT = - 79 gdda

IEC = Inicio de la EC
FEC = Finalización de la EC
DEC = Duración de la EC
CT = Capacidad térmica

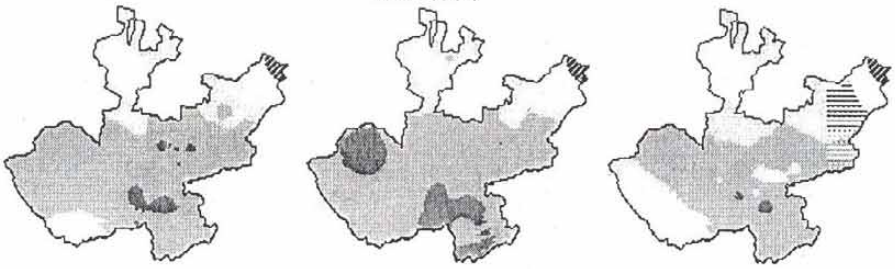
de la región Noreste. Otro aspecto interesante en los mapas de la Figura 2, es la marcada disminución e incluso desaparición de la zona sin estación de crecimiento, la cual se localizaba en la porción Norte de la región Noreste (conocida localmente como Altos–Norte), alrededor de la localidad de Ojuelos 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°C/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.

1947-1971

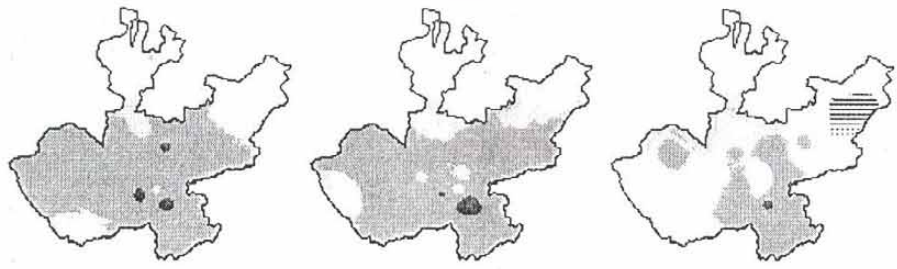


IEC	Sup. (ha)
1-15 Junio	264,566
16-30 Junio	5'213,808
1-15 Julio	1'770,336
Después 15 Julio	679,995
Sin EC	92,178

FEC	Sup. (ha)
Antes 1 Octubre	324,162
1-15 Octubre	1'568,808
16-31 Octubre	4'883,247
Después 31 Oct.	1'152,468
Sin EC	92,178

DEC (Días)	Sup. (ha)
> 150	59,049
120 - 150	2'974,968
90 - 120	3'973,293
< 90	921,375
Sin EC	92,178

1972-1996



IEC	Sup. (ha)
1-15 Junio	96,876
16-30 Junio	5'206,518
1-15 Julio	2'350,782
Después 15 Julio	366,687
Sin EC	000

FEC	Sup. (ha)
Antes 1 Octubre	162,405
1-15 Octubre	2'694,303
16-31 Octubre	5'054,643
Después 31 Oct.	109,512
Sin EC	000

DEC (Días)	Sup. (ha)
> 150	19,602
120 - 150	2'027,187
90 - 120	4'496,472
< 90	1'477,602
Sin EC	000

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-19th 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 Gobal 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 Noreste 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, Méx. 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.

Villapando 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.