

# Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México

Rebeca Granados Ramírez\*

Teresa Reyna Trujillo\*

Jesús Soria Ruíz\*\*

Yolanda Fernández Ordóñez\*\*\*

Recibido: 9 de septiembre de 2003

Aceptado en versión final: 15 de julio de 2004

**Resumen.** Actualmente en la agricultura de temporal están implícitos el riesgo y la incertidumbre; constantemente los agricultores temporales obtienen los menores rendimientos por unidad de superficie y los mayores índices de siniestralidad. Las principales causas de siniestro son impugnables al ambiente, principalmente por los cambios climáticos paulatinos que se han presentado. Conocer el comportamiento y la distribución actual de los elementos del clima en tiempo y espacio, es de vital importancia para adecuar técnicas agrícolas que se ajusten a estos cambios. Este trabajo consistió en integrar un conjunto de indicadores térmicos y pluviales que influyen directamente en la actividad agrícola. Los indicadores fueron aplicados en la región norte de Guanajuato, para obtener una regionalización potencial climática y sugerir la introducción de cultivos alternativos como: amaranto, sorgo y girasol forrajero.

**Palabras clave:** Cambios climáticos, agricultura de temporal, siniestralidad.

## Agroclimatic aptitude in the Mesa Central of Guanajuato, Mexico

**Abstract.** Nowadays, non-irrigation agriculture involves risks and uncertainty. Farmers of non irrigated fields consistently get lower yields per surface unit along with the highest loss indices. Losses are chiefly caused by the environment, largely as a result of the steady climatic changes that have taken place over the latest years. It is overly important to determine the current behavior of the elements of climate, as well as their spatial and temporal distribution, in order to adapt farming techniques tailored to these changes. This work consisted in integrating a set of thermal and pluvial indicators which directly influence agricultural activities. The methodology was applied to Guanajuato's northern region. This represents a data base from which it is possible to suggest the introduction of alternative crops: amaranth, sorghum and forager sunflower.

**Key words:** Climatic changes, non-irrigation agriculture, losses.

---

\*Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F. E-mail: rebeca@igiris.igeograf.unam.mx; treyna@igiris.igeograf.unam.mx

\*\*Campo Experimental Valle de Toluca, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuaria (INIFAP), Vial Adolfo López Mateos, Km. 4.5 Carretera Toluca Zitácuaro, 51350, Zinacantepec, Estado de México. E-mail: jsoriar@yahoo.com

\*\*\*Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Km. 35.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, Estado de México. E-mail: yfermand@colpos.mx

## INTRODUCCIÓN

En México, los procesos productivos agropecuarios y forestales, así como los de desarrollo urbano, tienen estrecha relación con los cambios del clima (Magaña y Morales, 1999). Las fluctuaciones climáticas que se han venido registrando en diversas regiones de la Tierra, también afectan a nuestro país y son objeto de estudio y preocupación, debido, principalmente, a su impacto en la producción de alimentos. Hoy día los agricultores presencian anomalías climáticas más intensas que las experimentadas años atrás; así, por ejemplo, algunos estudios prospectivos sobre el clima han estimado que la producción de café podría disminuir en un 30% para 2020 y hasta en un 70% para el 2050 (Gay y Conde, 2004).

Los ciclos vegetativos y los rendimientos cuantitativos y cualitativos de las plantas cultivadas están vinculados con numerosos elementos del entorno, pero son la temperatura y la precipitación los que, por sus efectos directos, acusan las más estrechas relaciones con los cultivos (De Fina y Ravelo, 1973). Margalef (1981) señala que es importante el clima, ya que forma los patrones lógicos de la estructura y función de un ecosistema.

Las variaciones de los ciclos estacionales del clima, con respecto a la normal, se traducen en pérdidas de cultivo (Jiménez *et al.*, 2004). Por tanto, es necesario desarrollar e instrumentar métodos adecuados para caracterizar el clima y su impacto sobre la producción agropecuaria (Medina, 1995). Tamariz *et al.* (2004) consideran que la falta de planeación en muchos programas agrícolas no cubren los objetivos planteados, ya que carecen de la información básica sobre suelos, clima y

demás factores que pueden afectar los rendimientos de los diversos cultivos que se introducen.

Este trabajo tiene como objetivo analizar y evaluar el comportamiento de algunos índices, que tienen como principales variables la temperatura y la lluvia. Los resultados se relacionan con los requerimientos climáticos de algunos cultivos que tienen la posibilidad de prosperar ante éstos.

La temperatura ayuda a que la vegetación llegue a su óptimo crecimiento, también establece límites para su buen desarrollo. Las altas temperaturas que sobrepasan los límites de tolerancia pueden producir escaldamientos o lesiones a los cultivos, otros mueren al ser expuestos a temperaturas bajas. El frío reduce la circulación del agua hacia la raíz y ésta puede llegar a secarse, bastan sólo dos o tres días para que se arruinen cosechas enteras (Larcher, 1995).

En el campo temporalero la principal fuente de agua utilizable es la lluvia, el suministro oportuno, cantidad y distribución en diferentes fases de crecimiento es importante para determinar el éxito o fracaso de la agricultura en una región. Coras (2004) manifiesta que el exceso de agua sobre la superficie a consecuencia de lluvias de alta intensidad es perjudicial para los cultivos en diversas fases fenológicas; contrariamente, las condiciones de mínima precipitación (sequía), les ocasionan marchitamiento y hasta la muerte.

De acuerdo con Coll-Hurtado (1982) los siniestros meteorológicos más desfavorables para la agricultura en México, son las heladas, granizadas y los vientos fuertes. Varios investigadores coincidieron en señalar que la sequía es el segundo problema en importancia que afecta la producción de temporal (SAGARPA, 2003).

Los índices de siniestralidad en el ciclo primavera-verano (P-V) de 1990 a 2000 se concentraron entre 20 y 30% (FIRA, 2001). El granizo es un tipo de precipitación que afecta flores, frutos, hojas y tejidos corticales. Los daños dependen del tamaño de los gránulos, de la duración de la granizada y de la violencia de la caída. Las granizadas se presentan en la época veraniega, no existe un mes en especial y los daños pueden ser reducidos o graves, según la fase fenológica en que se encuentre el cultivo (Cotton y Pielke, 1995).

### **Evidencias del cambio climático**

El aumento gradual de la temperatura del aire en las capas bajas de la atmósfera, ocasionado por la creciente producción de los llamados gases de invernadero (Jáuregui, 1994) y las posibles relaciones del fenómeno El Niño con prolongadas sequías, son temas que adquieren cada vez mayor relevancia (Hunt y Elliott, 2002). México, por ser un país en desarrollo, se encuentra en una situación de mayor vulnerabilidad a una variación del clima, dada la dependencia de grandes áreas de cultivo a lluvias de temporal (Livermann, 1992).

Las variaciones climáticas globales han ocurrido de manera constante a lo largo de la historia de la Tierra, sin embargo, en las últimas décadas, la acción del hombre ha rebasado la capacidad de cambio de los procesos naturales, transformando la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera, con velocidades superiores (Ortega, 1994).

Las fluctuaciones en los elementos del clima (temperatura y precipitación) que se han presentado en los últimos años, han sido objeto de diversos estudios, ya sea para su monitoreo, ocurrencia, frecuencia, duración,

prevención, predicción, impactos y la necesidad de estudio y manejo para ayudar a mitigar sus efectos adversos (Hunt y Elliott, 2002).

Particularmente en México, en el avance de siembras y cosechas de noviembre de 2002, el maíz y el frijol reportaron extensas áreas siniestradas. De maíz se sembraron 7 329 205 ha, de las cuales 990 380 fueron siniestradas; en frijol, de las 1 875 161 ha sembradas se perdieron 153 983. Los estados con mayores pérdidas fueron Zacatecas, Guanajuato, Durango, Puebla, Oaxaca, Jalisco, Chiapas y Guerrero (SAGARPA, 2003).

### **Indicadores agroclimáticos**

Son las expresiones cuantitativas que establecen la relación entre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos con los elementos climáticos (temperatura, precipitación, humedad relativa, etc.) y que proporcionan tanto exigencias como relaciones de las plantas con dichos elementos (Reyna *et al.*, 1997).

Los indicadores agroclimáticos son diversos, pueden proceder de un solo elemento del clima como las horas frío, constante térmica, etc., derivados de la temperatura o sequía, porcentaje de lluvia invernal o la precipitación total anual, provenientes de la precipitación. Existen también indicadores que combinan ambos elementos del clima: por ejemplo P/T, evapotranspiración y otros. Muchos indicadores han sido propuestos y aplicados en forma individual o en conjunto en diversas investigaciones agroclimáticas, entre ellas las de Mosiño y García (1966), Reyna (1970), Ruíz (1985), Villalpando (1985), Reyna y Granados (1987), Villalpando y García (1993), Medina (1995).

## METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se implementó lo siguiente:

- Recopilación y captura de los registros diarios de temperatura máxima y mínima, precipitación, presencia de granizadas y heladas de 39 estaciones climáticas. Gran parte de la información fue proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de Celaya, Gto., cuyos archivos magnéticos cubrían, aproximadamente, hasta 1996. El resto de los datos se capturó, a partir de las tarjetas convencionales de registro, en una hoja de cálculo electrónica; esta última proporcionada por el Departamento de Cálculo Hidrométrico y Climatológico dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CNA), Gerencia Estatal de Guanajuato.

- Aplicación de pruebas estadísticas por estación para validar la confiabilidad de las bases de datos, las cuales consistieron en realizar gráficas históricas sobre las que se sobrepusieron los valores de la media, mediana y desviación estándar.
- Obtención de los siguientes indicadores agroclimáticos.

### A. Condiciones térmicas ( °C)

$$\text{-Temperatura media anual} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n} \right) \left[ \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right]$$

$$\text{-Temperatura máxima} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n} \right) (T_{max})$$

$$\text{-Temperatura mínima} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n} \right) (T_{min})$$

### B. Condiciones de humedad

$$\text{-Precipitación total anual} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{n} \right) [pp.mesi] \quad i = \text{meses de enero a diciembre}$$

-Sequía relativa =

$$\frac{\text{Área del polígono}}{\Sigma \text{ Precipitación mayo-octubre}} \times 100$$

∴ Área del polígono

$$A_{1,2,3} = (1/2) Y_1 - Y_2 + (1/2) Y_3$$

$$A_{1,2,3,4} = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4$$

$$A_{1,2,3,4,5} = (3/4) Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 + (3/4) Y_5$$

$$A_{1,2,3,4,5,6} = 2Y_1 - Y_2 - Y_3 - Y_4 - Y_5 + 2Y_6$$

$$\text{-Intensidad de la sequía relativa} = \frac{\Sigma \text{ sequía relativa de cada año}}{\text{Número de años}} (\%)$$

C. Riesgos Meteorológicos. Se calculó la frecuencia de los más importantes para la agricultura: heladas y granizadas.

- Se sintetizaron algunas características físicas prevalientes de la zona en estudio, igualmente los requerimientos termopluviométricos de los cultivos: amaranto, sorgo y girasol y que, según varios autores, son los óptimos para su buen desarrollo y obtención de altos rendimientos; con ellos se construyó una matriz (Cuadro 1).

- Procesada la información y utilizando el sistema de información geográfica *The Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS) V.1.3* (Palacio y Luna, 1993), se cartografió la distribución espacial de cada uno de los indicadores pluviométricos y se obtuvo el mapa de la regionalización potencial, resul-

Cuadro 1. Categorización climática en la Mesa Central de Guanajuato, México

Latitud	Altitud msnm	Temperatura media °C	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Precipitación media mm	% de Sequía relativa	Granizadas	Heladas
20°37' - 21°50' N	1 000-3 050	12 - 22	26-28	10-14	400-800	10-15	0-3	20-30

Requerimientos ecológicos para el desarrollo de cultivos seleccionados

Latitud	Altitud	Temperatura media °C	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C	Precipitación media mm	% de Sequía relativa	Fases mayormente dañadas por las granizadas y heladas	Categorización MA=Mediana- mente apta A=Apta

AMARANTO

		24-26	26	14	1200-1400	Resistente 10-15%	Germinación	MA
23 °N - 23 °S	0 - 2 800	18-24	26	14	800-1 200	Resistente 10-15%	Floración	A
		16-18	26	14	600-800	Resistente 10-15%	Germinación	MA

SORGO

		28-30	40	16	600-800	Hasta 15%	Germinación	MA
45°N-35°S	0-1 900	26-28	37	16	400-600	Hasta 15%	Germinación	A
		24-26	35	12	300-400	Hasta 15%	Floración	MA

GIRASOL

		22-30	30	13	600-800	Hasta 15%	Germinación	MA
45°N- 35°S	1 700- 1 900	18-22	30	13	500-600	Hasta 15%	Germinación	A
		13-18	30	13	300-500	Hasta 15%	Floración	MA

Fuentes: Viorel (1977); Flores (1987); Reyna y Flores (1987); Fao (1994); Reyna (1996); SAGAR (1996); Keyna *et al.* (1997); Suárez y Cervantes (1997); Arias y Miranda (2004) y Taboada (2004).

tado de la sobreposición de los mismos, así como de los requerimientos climáticos propios de los cultivos seleccionados.

- De esta manera se compararon, discriminaron y categorizaron diversas zonas. Cuando las condiciones pluviotérmicas reales se encontraron dentro de los rangos señalados, la zona se catalogó como Área Apta (A). Contrariamente si las condiciones de temperatura y precipitación eran superiores o inferiores a las señalados como óptimas, las zonas se categorizaron como Medianamente Aptas (MA). Aunado a estas características, en algunas áreas se sumaron como factores limitantes, el relieve montañoso y los suelos poco desarrollados, dando como resultado zonas No Aptas (Na) para la actividad agrícola.

## **ÁREA EN ESTUDIO**

La región Mesa Central de Guanajuato, es la porción norte de la entidad guanajuatense, el área se extiende desde los 20° 37' a los 21° 50' N, tiene límites convencionales al norte con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, y límites físicos como el Sistema Volcánico Transversal al sur, las sierras Madre Oriental y Occidental al oriente y poniente, respectivamente (Figura 1a). Se caracteriza por contar con amplias llanuras interrumpidas por sierras dispersas, en su mayoría, de naturaleza volcánica; asimismo, cuenta con una superficie de 13 794.09 km<sup>2</sup>.

## **RESULTADOS**

### **Condiciones termoplumiométricas y sinietros meteorológicos**

La latitud, al igual que la altitud, son factores

que determinan las condiciones de temperatura. En el área en estudio, la altitud tiene mayor influencia en el comportamiento de la temperatura, ya que existen elevaciones que van desde los 1 000 hasta los 3 050 msnm. Se diferenciaron dos zonas térmicas: la semicálida entre 18 y 22° C, que ocupa una pequeña superficie en el noreste y la templada con temperaturas entre 12 y 18° C ubicada en la porción central (Figura 1b). Los valores más altos de temperaturas máximas promedio en el período analizado fluctuaron entre los 24 y 34° C (Figura 1c), las temperaturas mínimas promedio marcan los límites más fríos que pueden soportar los cultivos, éstas oscilaron de 10 a 16° C (Figura 1d).

El análisis realizado de las temperaturas máximas y mínimas extremas fue de suma importancia para determinar cuánto han fluctuado éstas en la región. Aunque los valores de estas variables son excepcionales, se consideraron de gran utilidad para pronosticar sus efectos en los cultivos. Mayo registró los valores más altos de todos los meses analizados. Las estaciones que mostraron las más altas temperaturas máximas extremas fueron: Minas de Maguey y San Miguel de Allende con 44.5 y 49.0° C, respectivamente.

La mayor extensión de la región registró precipitaciones de 400 a 600 mm y hasta 800 mm en las zonas montañosas (Figura 1e). Éstas se concentraron de mayo a octubre, el análisis en el tiempo mostró que en algunos años durante el verano se registraron algunas disminuciones (sequía relativa), mismas que al ser cuantificadas dieron intensidades de 0 a 15% casi en toda la región, con excepción de tres pequeñas porciones: al norte de San Felipe, este de Villa Victoria y sureste de San Miguel de Allende, donde las sequías

fueron mayores a 15% (Figura 1f).

Es importante señalar que para los cultivos la intensidad de la sequía es significativa, pero también el mes en que se presenta. En el área en estudio el déficit de precipitación se registró con mayor frecuencia en julio y agosto, época en la cual los cultivos tradicionales generalmente se encuentran en las primeras fases de desarrollo.

Respecto a la distribución de las granizadas, ésta sigue en términos generales la topografía del lugar, acentuándose el número (> 3 días) en las principales sierras de la Mesa Central, y a medida que disminuye la altitud el número se reduce, así en las inmediaciones de la Sierra de Guanajuato se presentaron en promedio de dos a tres días, en las zonas agrícolas centrales de uno a dos días y en los Llanos de Ojuelos de cero a un día (Figura 1g). Las granizadas se presentan en general en la época de lluvias (mayo-octubre) y no existe un mes en especial en que éstas sean más frecuentes y los daños pueden ser de mínimos a graves según la fase fenológica en que se encuentre el cultivo.

En las zonas agrícolas de la Mesa Central se tienen registros de que las primeras heladas tempranas se han presentado del 15 al 30 de octubre y que las últimas o tardías, en la segunda quincena de abril, registrándose más de 30 días con heladas (Figura 1h). Los meses libres de heladas en general son siete, período que no representa riesgo alguno para los ciclos de los cultivos de temporal.

Los principales cultivos de temporal en la Mesa Central de Guanajuato son maíz y frijol, secundariamente avena forrajera, cebada y trigo. Los dos primeros son los más importantes por la superficie sembrada que ocupan, a la vez que constituyen el alimento

básico para la población local y estatal. En términos generales, la siembra de ambos productos básicos se realiza al principio del temporal (inicio de lluvias) aproximadamente a finales del mes de mayo, es decir, que la germinación se da cuando la época de lluvias está totalmente establecida. Durante 1996, específicamente, se registró un adelanto en el patrón de lluvia y las plántulas de maíz y frijol se vieron afectadas por las heladas tardías, en tanto que en 1997 hubo un atraso en el patrón y fueron las heladas tempranas las que provocaron daños a los cultivos con las consecuentes pérdidas de la cosecha (Granados y Reyna, 2000).

Con las condiciones actuales de temperatura y reducida precipitación se están obteniendo bajos rendimientos (menos de 500 kg/ha y menos de 300 kg/ha) en maíz y frijol respectivamente. Debido a ello, en los últimos años se han dejado de sembrar importantes superficies agrícolas temporales, ante lo cual, se propone introducir cultivos alternativos que en otras localidades han prosperado ante condiciones similares, tales como: amaranto *Amaranthus spp*, sorgo *Sorghum vulgare* y girasol *Helianthus annuus*, para que ocupen áreas no aprovechadas y, a la vez, que puedan contribuir a la alimentación humana y animal.

### Requerimientos termopluiométricos del amaranto, sorgo y girasol forrajeros

**Amaranto.** Planta herbácea que produce gran cantidad de grano comestible tipo cereal. Presenta amplia adaptación latitudinal y altitudinal, las condiciones termopluiométricas óptimas son de 16 a 24° C y de 800 a 1 200 mm, en la zona en estudio los valores que se tienen son inferiores a los recomendados, detectando que en las localidades

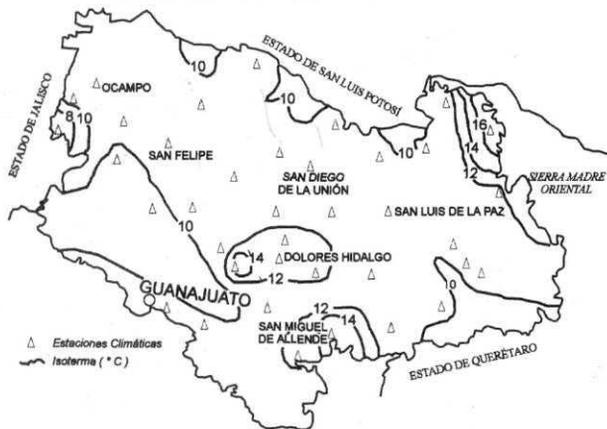
a) LOCALIZACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO



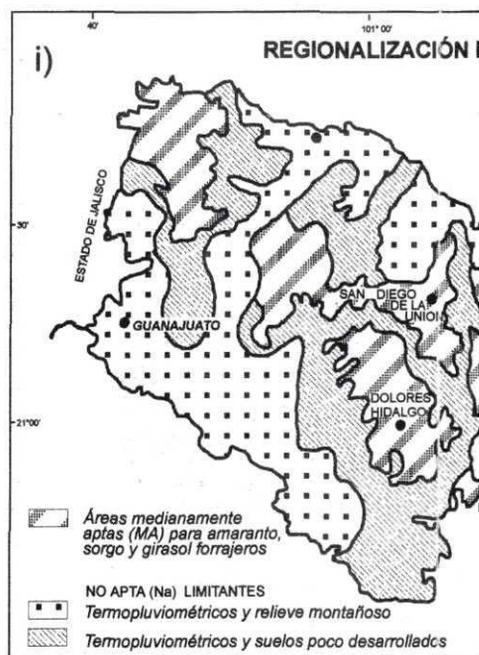
b) TEMPERATURA MEDIA



d) TEMPERATURA MINIMA PROMEDIO



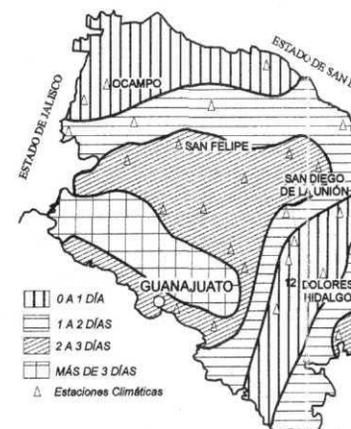
i) REGIONALIZACIÓN



f) INTENSIDAD DE LA SEQUIA RELATIVA



g) FRECUENCIA DE...



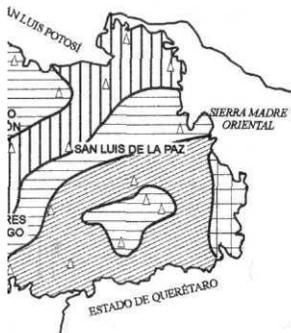
**EDIA ANUAL**



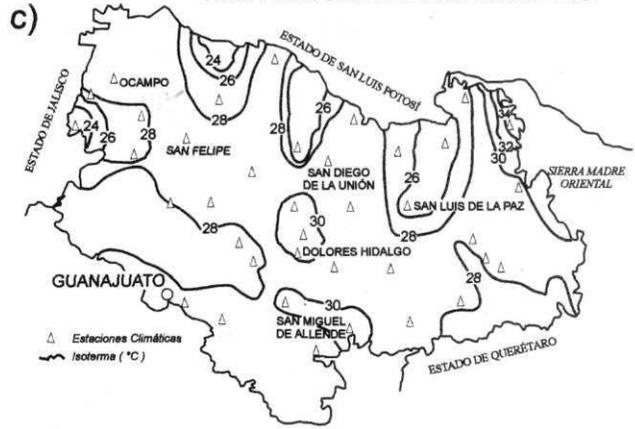
**PRECIPITACIÓN POTENCIAL**



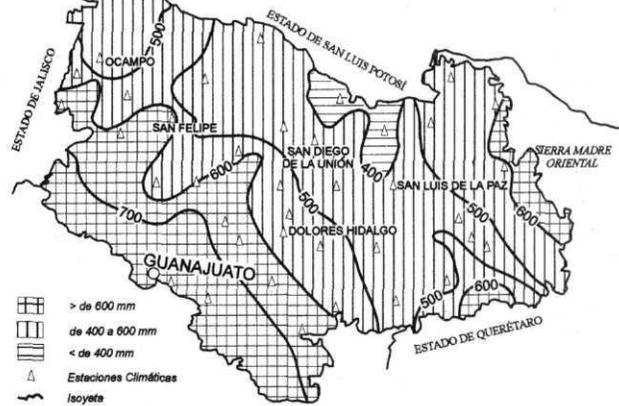
**FRANIZADAS EN VERANO**



**TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO**



e) **PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL**



h) **FRECUENCIA DE HELADAS**



FORMÓ: REBECA GRANADOS RAMÍREZ  
 DIGITIZÓ: CIRO JAVIER ORTA HERNÁNDEZ

agrícolas del noroeste, este y sureste de Guanajuato los índices termopluiométricos mantienen esta condición, caracterizándose por ello como Medianamente aptas (**MA**; Figura 1i y Cuadro 1). La superficie restante presenta condiciones termopluiométricas por debajo de las requeridas por el amaranto y, aunado a éstas, el relieve montañoso y los suelos poco desarrollados dieron lugar a clasificarlo como región No apta (**Na**).

**Sorgo forrajero.** En cuanto a condiciones latitudinales, las áreas agrícolas de la Mesa Central de Guanajuato se encuentran en la amplia zona general de adaptación propuesta para su cultivo (Cuadro 1), en tanto que, por las necesidades térmicas, éstas se encuentran por debajo de los valores marcados como óptimos (26° C). Sin embargo, en algunas regiones temporales los híbridos BJ-102T y BJ-103T, además de adaptarse a condiciones templadas, son capaces de tolerar sequías y precipitaciones por abajo de los 400 mm.

Las condiciones medias de temperatura y precipitación del área, indican que, en general, las zonas agrícolas de temporal en esta región guanajuatense son Medianamente aptas (**MA**) para albergar específicamente a este cultivo.

Al resto de la región se le clasificó como No apta (**Na**), siendo limitantes además de las condiciones termopluiométricas, la topografía (zonas montañosas con altitudes superiores de 2 500 msnm con pendientes pronunciadas) y suelos poco desarrollados.

**Girasol.** Este es un cultivo económicamente importante, debido a que se puede utilizar casi toda la planta. Por sus características altitudinales, temperatura y precipitación (Cuadro 1) que requieren las variedades e híbridos del mismo (*Peredovik*, híbrido IS-891,

IS-893, IS-8944 y IS-241) se adaptan mejor a condiciones templadas y se usan principalmente para la obtención de follaje. Se concluyó que las zonas de temporal ubicadas en la porción noroeste donde se localiza una pequeña porción de la subprovincia Llanos de Ojuelos, cercana a las poblaciones de Ocampo y San Felipe, así como en la parte central en lo que propiamente es la subprovincia de Llanos y Sierras del Norte de Guanajuato, llanuras de Allende y Dolores Hidalgo, son Medianamente aptas (**MA**) para introducir este cultivo.

El relieve montañoso, los suelos poco desarrollados, condiciones termopluiométricas por debajo de las requeridas que se tienen en la porción sureste y este donde se ubican las Sierras de Guanajuato y Sierra Madre Oriental no son propicias para su desarrollo, resultando, por tanto, No aptas (**Na**) para este fitorecurso.

## CONCLUSIONES

Los indicadores climáticos analizados permitieron la delimitación de áreas potenciales para los cultivos: amaranto, sorgo y girasol. Se realizaron los mapas agroclimáticos: comportamiento de la temperatura, precipitación y riesgos meteorológicos. Además, los requerimientos termopluiométricos de los mismos permitieron señalar su eficiencia ante estas condiciones.

Desde el punto de vista pluviotérmico, las zonas del noroeste, este y sureste de la Mesa Central de Guanajuato son Medianamente aptas (**MA**) para el amaranto; la temperatura máxima parece no tener peso relevante como limitante, debido a que se presentan en su mayoría temperaturas máximas promedio de hasta 26° C, mismas que son tolerables para el cultivo. En tanto que, para el sorgo forra-

jero, las áreas Medianamente aptas (MA) se localizan en las zonas agrícolas centrales de la región guanajuatense y las del girasol forrajero en las áreas templadas del noroeste, porción central de los Llanuras de Allende y Dolores Hidalgo.

En las zonas restantes de la región, los indicadores termoplumiométricos son inferiores a los requeridos como óptimos para los tres cultivos y, por tanto, junto con otras limitantes como el relieve montañoso y los suelos poco desarrollados, se categorizaron como No aptas (Na).

La frecuencia de granizadas tampoco representa una gran limitante, ya que en las zonas agrícolas centrales, en promedio, se recibieron de dos a tres granizadas. Aunque la frecuencia de heladas es alta (hasta más de 30) éstas se presentan en la época invernal y sus efectos directos, salvo en algunos años, no llegan a afectar la producción de los cultivos temporales.

Dentro de los fenómenos atmosféricos que a futuro debieran considerarse para la propuesta de superficies sembradas con los cultivos aquí estudiados están: a) la sequía intraestival, ya que ésta, según los datos históricos, no es muy intensa en la región, pero con los cambios producidos por el calentamiento global puede traducirse en disminución de los rendimientos; b) insolación en el caso específico del girasol, que requiere mayor cantidad de horas sol para completar eficientemente las actividades fotosintéticas y de transpiración.

Como las zonas agrícolas de la región Mesa Central carecen de tradición en el cultivo, manejo y consumo del amaranto, del girasol y del sorgo; sería recomendable introducirlos poco a poco y fomentar el hábito de su consumo. El amaranto para balancear la

dieta humana; el sorgo y el girasol para complementar la alimentación animal.

#### REFERENCIAS

Arias, A. D. M. y V. Miranda H. (2004), "Girasol (*Helianthus annuus* L. variedad macrocarpus [DC] CKLL)", en Taboada, M. y R. Oliver (comps.), *Cultivos alternativos en México*, AGT Editores, México, pp. 61-85.

Coll-Hurtado, A. (1982), *¿Es México un país agrícola? Un análisis geográfico*, Siglo XXI Eds., México.

Cotton, R. W. y A. Pielke (1995), *Human impacts on weather and climate*, University Press Cambridge, G.B.

Coras M., P. M. (2004), "Probabilidad de lluvias máximas, con fines de drenaje superficial. Edo. de Tabasco", *Memorias 1er Congreso Nacional de Fenología Agrícola y Modelos de Simulación Aplicados a la Agricultura*, 26 al 28 de mayo, Chapingo, México [CD-ROM].

De Fina, A. L. y C. Ravelo (1973), *Climatología y fenología agrícola*, Ed. Universitaria de Buenos Aires, Argentina.

FAO (1994), Ecocrop I. *The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database*, Versión 1, AGLS, Roma.

FIRA (2001), "El frijol en México. Competitividad y oportunidad de desarrollo", Fideicomisos Instituidos en relación con la Agricultura en el Banco de México, *Boletín informativo* núm. 316, vol. XXXIII, México.

Flores, E. M. (1987), *Comportamiento y distribución de la temperatura y la precipitación durante la época estival y su influencia en la agricultura de temporal del estado de Michoacán*, tesis de Maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

- Gay, C. y C. Conde (2004), "El cambio climático y el café", *Boletín informativo El Faro*, junio 3 de 2004, UNAM, México, pp. 8-9.
- Granados R., R y T. Reyna T. (2000), "Condiciones atmosféricas, comportamiento de la distribución pluviométrica y sus efectos en la agricultura durante 1996 y 1997 en la Mesa Central de Guanajuato, México", *RA'E GA. O Espago Geográfico Em Análise*, núm. 4, año IV, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba-Paraná-Brasil, pp. 23-36.
- Hunt, B. G. y T. Elliott T. (2002), *Mexican megadrought. Climate Dynamics*, 20:1-12.
- Jáuregui, E. (1994), "El cambio global del clima y posibles efectos en las necesidades de enfriamiento de locales en México", *Memorias del Primer Taller de Estudios de País: México, México ante el Cambio Climático*, Cuernavaca, Mor., 18 al 22 de abril, México, pp. 61-67.
- Jiménez, L. J., T. Morales A., T. Reyna T., V. Hernández M., S. Orozco F. y J. Ledesma G. (2004), "Dinámica de la sequía intra-estival en el estado de Tlaxcala, México", *III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, 28 abril- 1 mayo, Puerto Vallarta, Jalisco, México [CD-ROM].
- Larcher, W. (1995), *Physiological Plant Ecology*, Springer, Germany.
- Livermann, D. (1992), "The regional impact of global warming in México", in Schmandt, J. y J. Clarkson (eds.), *The Regions and Global Warming*, Oxford Univ. Press.
- Magaña, V. y C. Morales (1999), "El clima y la sociedad", en Magaña, V. O. (ed.), *Los impactos de El Niño en México*, SEP-CONACyT, México, pp. 1-21.
- Medina, B. M. P. (1995), *Metodología para obtener índices agroclimáticos*, tesis de Licenciatura en Geografía, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.
- Margalef, R. (1981), *Ecología*, Planeta. Barcelona, España.
- Mosiño, P. y E. García (1966), "Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana", *Conferencia Regional Latinoamericana*, Unión Geográfica Internacional, tomo III, pp. 500-515.
- Ortega, R. J. (1994), "Cambio Global: la paleoclimatología y los modelos climáticos", *Memorias del Primer Taller de Estudios del País: México ante el Cambio Climático*, Cuernavaca, Mor., México, 18 a 22 abril, INE, U.S. Contry Studies Program, CIC. y CCA, pp. 167-173.
- Palacio, J. L. y L. Luna González (1993), *Sistemas de Información Geográfica, introducción al manejo del Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS)*, Versión 1.3, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Reyna T., T. (1970), *Relaciones entre la sequía intraestival y algunos cultivos de México*, Serie Cuadernos, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Reyna T., T. y M. Flores (1987), "Zonas climáticas potenciales útiles para el cultivo del amaranto (*Amaranthus*) en el estado de Guanajuato", *Memorias del Coloquio Nacional del Amaranto*, Querétaro, Qro., Gobierno del Estado de Querétaro, IDEAS, México, pp. 30-42.
- Reyna T., T. y R. Granados (1987), "Estimación climática en Querétaro para la planeación del cultivo del amaranto (*Amaranthus spp*)", *Memorias del Coloquio Nacional del Amaranto*, Gobierno del Estado de Querétaro, IDEAS, México, pp. 42-52.
- Reyna T., T. (1996), "Redescubrimiento del *Amaranthus* y sus nuevos usos en México", en *Taller Cuba-México. Potencialidades y usos del amaranto*, Universidad de La Habana, Cuba-UNAM, pp. 1-15.
- Reyna T., T., J. M. Fernández, T. López y A. L. Hernández (1997), "Zonificación pluviométrica para el cultivo del *Amaranthus spp* en la provincia de Pinal del Río e Isla de la Juventud, Cuba",

- Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm 35, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 135-154.
- Ruíz, J. (1985), "Metodología para la investigación de los efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos", en *Memoria de la I Reunión Nacional de Agroclimatología*, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, pp. 52-60.
- SAGAR (1996), *Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en el estado de Guanajuato*, INIFAP, Centro de Investigación del Centro Campo Experimental Bajío, Guanajuato, México.
- Suárez, R. G. y J. M. Cervantes, S. (1997), "Estudio morfológico y evaluación de rendimientos en *A. cruentus* bajo condiciones de riego y temporal en Querétaro", *Memorias del Coloquio Nacional del Amaranto*, Gobierno del Estado de Querétaro, IDEAS, México, pp. 3-17.
- Taboada, S. M. (2004), "Amaranto *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus hypocondricus* L.", en Taboada, M. y R. Oliver (comps.), *Cultivos alternativos en México*, AGT Editores S.A., México, pp. 13-29.
- Tamariz, J. V., J. Ruíz, C. y A. Montalvo C. (2004), "Zonificación agroecológica del noroeste de la Sierra Norte de Puebla, México", *III Seminario Latinoamericano de Geografía Física*, 28 abril-1 mayo, Puerto Vallarta, Jalisco, México [CD-ROM].
- Viorel, V. A. (1977), *El girasol*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Villalpando, I. F. (1985), *Metodología de la investigación en agroclimatología*, Curso de Orientación para Aspirantes a Investigadores del INIFAP, SARH, INIFAP, México.
- Villalpando, I. F. y E. García (1993), *Agroclimatología del estado de jalisco*, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Lab. Bosque la Primavera, Jalisco, México.

#### DIRECCIÓN DE CONSULTA EN INTERNET

SAGARPA (2003), <http://www.siea.sagarpa.gob.mx> .